



BMKG

Volume I, Maret 2009

MEGASAINS

Buletin Meteorologi, Klimatologi, Kualitas Udara dan Geofisika



Diterbitkan Oleh :
Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang
Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jl. Raya Bukittinggi - Medan Km. 17, Palupuh, Kab. Agam, Sumatera Barat
<http://gawkototabang.wordpress.com/>

MEGASAINS

Buletin Meteorologi, Klimatologi, Kualitas Udara dan Geofisika

Volume I, Maret 2009

Diterbitkan Oleh :

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang
Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika
Jl. Raya Bukittinggi-Medan Km.17, Kab. Agam, Sumatera Barat
Telp. : +62 752 7446089, +62 752 7014157
Fax.: +62 752 7446449
email : inagaw_bktb@asiamail.com
<http://gawkototabang.wordpress.com/>

PENANGGUNG JAWAB

Drs. Herizal, M.Si.

REDAKTUR

Edison Kurniawan, M.Si.
Sugeng Nugroho, S.Si.
Dra. Nurhayati, M.Sc.
Dr. Hamdi Rivai

REDAKTUR PELAKSANA

Carles Siregar, ST.
Agusta Kurniawan, M.Si.
Alberth C. Nahas, S.Si.
Firda Amalia Maslakah, S.Si.
Yosfi Andri

EDITOR

Asep Firman Ilahi

SEKRETARIAT

Irwin. A
Darmadi
Budi Setiawan

Gambar Sampul :
Awan di Danau Singkarak, Sumbar

MEGASAINS

Buletin MKKuG GAW Bukit Kototabang

Buletin Megasains ini diterbitkan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang sebagai media penerangan karya ilmiah yang bersumber dari kegiatan penelitian berbasis ilmu-ilmu meteorologi, klimatologi, kualitas udara dan geofisika (MKKuG).

Dewan redaksi membuka kesempatan bagi para pakar ataupun praktisi untuk dapat mengirimkan karya ilmiah, terutama yang berkaitan dengan ilmu-ilmu MKKuG.

Isi naskah harus asli dan belum pernah dipublikasikan, diketik menggunakan aplikasi MS Word dengan ketentuan panjang naskah antara 5 hingga 15 halaman ukuran A4; batas kiri 4 cm, batas kanan 3.17 cm, batas atas dan bawah 2.54 cm; satu kolom; judul ditulis menggunakan font Arial 12 pts, rata tengah, spasi tunggal, huruf kapital, dan cetak tebal; isi ditulis menggunakan font Arial 10 pts, rata kiri-kanan, dan spasi tunggal; tulisan disertai dengan abstrak 1 alinea, ditulis dengan font Arial 10 pts, cetak miring, spasi tunggal dan disertai minimal 3 kata kunci.

Redaksi berhak untuk mengubah isi naskah sepanjang tidak mengubah substansinya.

Isi naskah adalah sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Pemilihan naskah yang laik cetak adalah sepenuhnya hak redaksi

Naskah dikirimkan ke Alamat Redaksi:

PO BOX 11 Bukittinggi 26100
email: inagaw_bktb@asiamail.com;
edison_k@lycos.com

Dari Redaksi

Berkat rahmat dan karunia Allah SWT, saat ini Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang telah mampu untuk menerbitkan secara perdana buletin Megasains Volume I Maret 2009. Buletin ini mencakup beberapa penelitian ilmiah yang berkaitan dengan ilmu-ilmu Meteorologi, Klimatologi, Kualitas Udara dan Geofisika (MKKuG) dan direncanakan secara berkala terbit setiap 3 bulan sekali.

Di dalam penerbitan kali ini, buletin Megasains memuat delapan tulisan yang sebagian besar mencakup unsur kualitas udara. Hal ini cukup beralasan mengingat berdasarkan tugas pokok dan fungsi dari SPAG adalah memantau unsur kualitas udara yang berdampak terhadap pemanasan global. Namun pada beberapa naskah lainnya, redaksi juga memasukkan penelitian di bidang hidrologi, sains atmosfer dan lingkungan yang tentunya diharapkan akan semakin menambah wawasan berfikir kita.

Untuk ke depannya, redaksi berharap buletin Megasains dapat memberikan kontribusi yang besar terhadap kajian-kajian yang berbasis MKKuG. Semoga dengan penerbitan perdana ini, buletin Megasains dapat menatap jauh ke depan untuk saling bersinergi secara paralel terhadap semangat BMKG guna meningkatkan kualitas pelayanan bagi publik.

Redaksi berharap semoga Allah SWT akan memberikan kekuatan dan kemudahan bagi kesinambungan penerbitan buletin Megasains berikutnya.

Bukit Kototabang, Maret 2009

Daftar Isi

| | halaman |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Susunan Redaksi | ii |
| Redaksional | iii |
| Daftar Isi | iv |
| Distribusi Global <i>Persistent Organic Pollutants</i> (POPs) (<i>Alberth Christian Nahas, Budi Setiawan, Herizal</i>) | 1-11 |
| Kajian Suseptibilitas Magnetik Sebagai Informasi Perubahan Lingkungan Pada Sedimen di Pulau Siberut, Mentawai, Sumatera Barat, Indonesia (<i>Hamdi, Satria Bijaksana, dan Wahyu S. Hantoro</i>) | 12-17 |
| Menaksir Sensitivitas Sub Sub DAS Sumani Dalam Merespon Fluktuasi Jumlah Curah Hujan Akibat Perubahan Iklim Global (<i>Sugeng Nugroho, Yuzirwan Rasyid, Edison Kurniawan, dan Alberth C. Nahas</i>) | 18-27 |
| Menilai Kualitas Udara Bukit Kototabang Berdasarkan Data Aerosol PM ₁₀ (<i>Herizal dan Yosfi Andri</i>) | 28-37 |
| Studi Pendahuluan Korelasi Eddy Pada Konsentrasi CO ₂ Terhadap Kecepatan Angin Vertikal (<i>Edison Kurniawan dan Sugeng Nugroho</i>) | 38-46 |
| Pengaruh Radiasi Matahari, Nitrogen Dioksida dan Metana Pada Ozon Troposferik di Bukit Kototabang (<i>Firda Amalia Maslakah dan Budi Setiawan</i>) | 47-56 |
| Komparasi Radiasi Matahari Global Antara Hasil Pengukuran Dengan Hasil Perhitungannya Periode Januari-Juli 2008 di Stasiun GAW Bukit Kototabang (<i>Agusta Kurniawan dan Yosfi Andri</i>) | 57-68 |
| Validitas TEI Model 49PS#52307-291 Ozon Calibrator di SPAG Bukit Kototabang (<i>Asep Firman Ilahi</i>) | 69-79 |

DISTRIBUSI GLOBAL *Persistent Organic Pollutants* (POPs)

Alberth Christian Nahas, Budi Setiawan, & Herizal

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat

Abstract

Persistent Organic Pollutants (POPs) become one of the major problems for the environment in the last years. Their properties that can resist in the atmosphere for several years and easy moving over the long area make this problem become more serious. Concentration of POPs in the atmosphere was measured by using passive air sampling method with PUF disk sampler deployment. The data was collected from the result of measurement in 53 sites which are classified into 5 categories: background, agricultural, rural, urban, and polar. The study showed that POPs was found in all type of sampling site across the world, even in the polar region where there is small chance of using any kind of POPs that could trigger the emission on that area. The study also showed that agricultural areas emitted more POPs in term of concentration compare to the other kind of areas. Latest result of POPs measurement in Bukit Kototabang showed the decreasing of concentration for most of compounds measured. However, more research on this area have to be conducted because it is still difficult to observe the trend of POPs distribution due to their independence from meteorological impacts since no pattern found on POPs' emission observed in Bukit Kototabang and the period of measurement is relatively too short.

Keywords : *Persistent Organic Pollutants, Global Distribution, Bukit Kototabang.*

1. PENDAHULUAN

Persistent Organic Pollutants (POPs) merupakan senyawa organik yang relatif dapat bertahan lama di lingkungan karena sulitnya senyawa-senyawa ini terdegradasi baik melalui proses kimia, biologi, dan fotolisis. Senyawa ini sukar larut di dalam air tetapi cenderung larut dalam lemak. Oleh karena sifatnya ini, POPs cenderung bersifat akumulatif dan selalu terdapat di lingkungan. Selain itu, senyawa ini juga bersifat semi volatil sehingga dapat berada dalam fase uap ataupun terserap di dalam partikel debu, sehingga POPs dapat menempuh jarak yang jauh di udara (*long-range transport*) sebelum akhirnya terdeposisi di bumi (Ritter *et al.*, 2007).

Pada tahun 2001, *United Nations Environment Programme* (UNEP) melalui sebuah konvensi yang dilaksanakan di Stockholm, Swedia, melahirkan suatu persetujuan mengenai pengendalian emisi POPs yang berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan (Anonim, 2005). Awalnya, ada 12 senyawa kimia yang diklasifikasikan sebagai POPs berdasarkan sifatnya yang resisten di lingkungan, bioakumulasi di dalam makhluk hidup, dan memiliki toksisitas yang tinggi (Rodan *et al.*, 1999). Dari 12 senyawa tersebut, sembilan diantaranya merupakan senyawa yang terkandung dalam pestisida, yaitu aldrin, chlordane, DDT, dieldrin, endrin, heptachlor, hexachlorobenzene, mirex, dan toxaphene. Satu senyawa merupakan hasil dari industri kimia, yaitu polychlorinated biphenyls (PCB), sedangkan dua senyawa, yaitu polychlorinated dibenzo-p-dioxins dan polychlorinated dibenzofurans merupakan hasil samping dari industri kimia (Anonim,

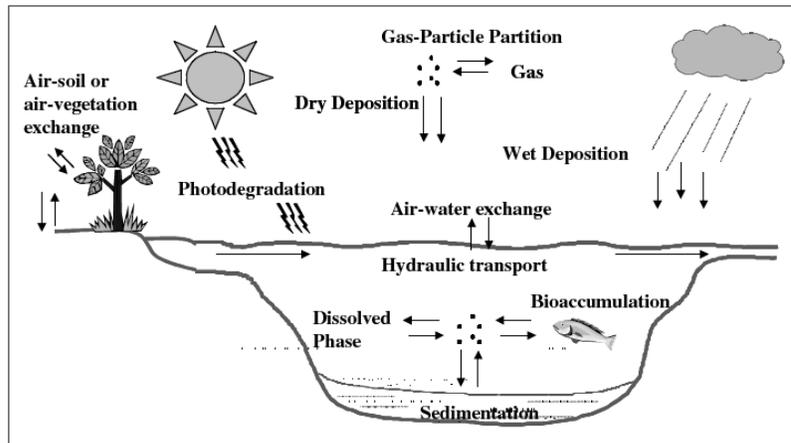
2005 dan Ritter *et al.*, 2007). Penelitian lebih lanjut mengarah pada senyawa polybrominated diphenyls ethers (PBDEs) yang juga memiliki kemiripan sifat dengan POPs (de Wit, 2002), dan juga beberapa golongan senyawa hidrokarbon polisiklik aromatik, serta tributylIn (Anonim, 2009).

Keberadaan POPs di alam, baik yang terkandung di daratan, perairan, dan atmosfer, sudah menjadi perhatian para peneliti. Hal ini terkait dengan sifat POPs yang dapat bertahan lama di lingkungan dan juga tingkat toksisitasnya yang tinggi, sehingga keberadaan POPs menjadi masalah yang pelik, baik bagi lingkungan maupun makhluk hidup. Penelitian yang dilakukan Simonich dan Hites (1995) pada lebih dari 200 sampel kulit kayu yang dikumpulkan dari 90 lokasi di seluruh dunia menunjukkan konsentrasi POPs yang cukup tinggi di hampir semua jenis lokasi pengambilan sampel, baik di negara-negara industri maju maupun di negara berkembang. Bahkan, meskipun beberapa senyawa seperti DDT dan γ -HCH sudah dilarang penggunaannya di banyak negara (Semeena & Lammel, 2005), namun konsentrasi yang terukur masih cukup signifikan. Sementara itu, ancaman senyawa POPs bagi makhluk hidup adalah sifat bioakumulatifnya di dalam jaringan lemak sehingga konsentrasi senyawa ini dapat bertambah melalui proses rantai makanan (Pozo *et al.*, 2006). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Lee *et al.* (2006) memperlihatkan adanya hubungan yang erat antara tingginya konsentrasi POPs pada penderita penyakit diabetes.

Selain toksistasnya, POPs juga menjadi bahaya bagi lingkungan karena kemampuannya untuk menempuh jarak yang jauh. Hal ini disebabkan karena POPs bersifat semi volatil sehingga mudah terbawa oleh aliran massa udara. Ditambah dengan resistensinya di lingkungan sehingga POPs dapat terdeteksi di hampir semua tempat di bumi. *Fate and Transport Ocean Model* (FANTOM) memperlihatkan ada empat cara POPs dapat berpindah tempat, yaitu:

1. Perpindahan melalui arus laut. Di dalam air laut, POPs berpindah mengikuti proses adveksi dan difusi turbulen.
2. Pertukaran udara-laut yang dapat terjadi melalui 3 mekanisme: pertukaran gas yang bersifat reversibel, deposisi partikel kering, dan deposisi basah.
3. Distribusi fasa. POPs baik yang terlarut maupun tergabung dalam partikel dalam air, akan mengikuti arus laut. Gaya berat dan gravitasi akan membuat senyawa-senyawa ini terendap di dasar sedimen. Penyebaran kembali POPs dapat terjadi karena disturbansi lapisan sedimen oleh aktivitas biologi atau proses erosi.
4. Degradasi permukaan air laut (Ilyina *et al.*, 2006).

Terdistribusinya konsentrasi POPs hingga ke daerah yang bukan sumbernya dipengaruhi oleh kemampuan POPs menempuh jarak yang jauh di atmosfer sebagai akibat tingkat volatilitasnya. Senyawa POPs yang bersifat semi volatil menyebabkannya dapat berpindah baik dalam bentuk gas ataupun dalam bentuk partikelnya. POPs yang lebih volatil, yaitu golongan organoklorida, cenderung berpindah dalam bentuk gas sehingga penyebarannya lebih terbatas ke daerah yang tidak terlalu jauh dari sumber emisinya, sementara POPs yang kurang volatil seperti golongan senyawa hidrokarbon poliaromatik mengalami perpindahan sebagai partikel yang bergerak bersamaan dengan aliran massa udara (Fernández & Grimalt, 2003).

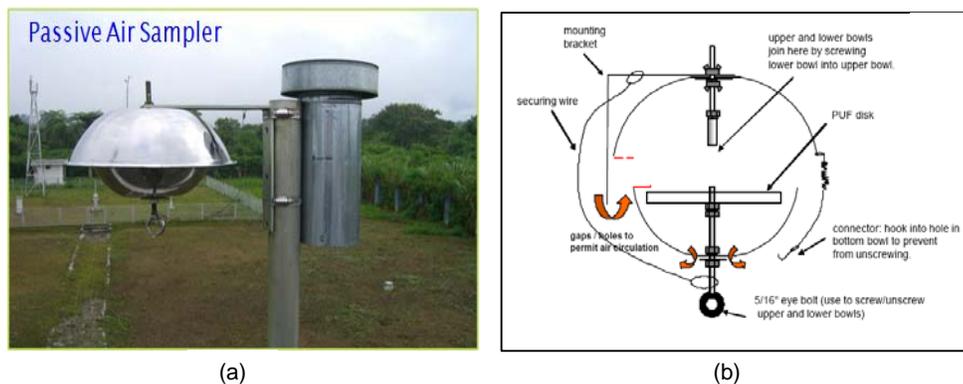


Gambar 1. Skema proses perpindahan POPs di daratan, perairan, dan udara (Fernández & Grimalt, 2003).

Pengukuran konsentrasi POPs di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang telah dilakukan sejak bulan Maret 2005. Pengukuran ini dilakukan melalui kerjasama SPAG Bukit Kototabang melalui Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dengan Environment Canada sebagai bagian dari jaringan pasif sampling udara secara global (*Global Air Passive Sampling Network*). Sebagai stasiun referensi udara bersih di Indonesia dan digolongkan dalam kategori *background area* pada pengukuran konsentrasi POPs, menarik untuk dilihat bagaimana distribusi senyawa POPs baik secara global maupun spesifik di SPAG Bukit Kototabang.

2. METODE

Pengambilan sampel POPs dilakukan dengan metode *passive air sampler* menggunakan piringan PUF (Polyurethane Foam) yang berdimensi diameter 14 cm; tebal 1,35 cm; luas permukaan 365 cm²; berat 4,4 g; volume 207 cm³; kerapatan 0,0213 g cm⁻³. Piringan PUF diletakkan dalam sangkar dengan dua kubah berbentuk “piring terbang” (Gambar 2). Metode *passive air sampler* merupakan metode sampling udara dimana proses pengumpulan partikel diperoleh dari banyaknya partikel yang tertahan di dalam piringan PUF karena terbawa oleh angin (Harner *et al.*, 2006).



Gambar 2. (a) Piringan PUF yang terpasang di SPAG Bukit Kototabang (b) Skema bagian dalam sangkar

Periode sampling dilakukan tiap 3 bulan. Piringan PUF yang telah diletakkan selama 3 bulan kemudian dikemas di dalam wadah gelas yang ditutup rapat. Sampel kemudian dikirim ke Environment Canada untuk dianalisis lebih lanjut. Analisis POPs meliputi senyawa-senyawa seperti α -HCH, γ -HCH, heptachlor, heptachlor epoxide, *trans*-

chlordane, *cis*-chlordane, trans-nonachlor, endosulfan I, endosulfan II, endosulfan sulphate, dieldrin, p,p'-DDE, o,p'-DDE, p,p'-DDT, PCBs, aldrin, dan PBDEs. Analisis piringan PUF menggunakan Kromatografi Gas – Spektroskopi Massa (GC-MS) yang lebih lanjut dijelaskan dalam Pozzo *et al.* (2004).

Analisis sampel POPs memakan waktu lebih kurang 18 bulan yang meliputi proses pengumpulan sampel, analisis laboratorium, sampai dengan publikasi data. Data yang digunakan dalam tulisan ini adalah data hasil pengukuran konsentrasi POPs di 53 lokasi (Tabel 1) pada tahun 2005, ditambah dengan data konsentrasi POPs di Bukit Kototabang tahun 2006. Data tersebut diperoleh dari hasil analisis sampel POPs yang dilakukan oleh Environment Canada. Data dari 53 lokasi sampel dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan tipe masing-masing lokasi, yakni *background*, *agricultural*, *rural*, *urban*, dan *polar*. Tipe *background* untuk lokasi yang berada di daerah terpencil dan jauh dari aktivitas manusia. Tipe *agricultural* merupakan daerah pedesaan yang berbasis pertanian. Tipe *rural* merupakan daerah pinggiran kota atau daerah pedesaan yang tidak berbasis pertanian. Tipe *urban* merupakan daerah perkotaan dan perindustrian. Tipe *polar* untuk daerah yang ada di bagian Kutub Utara dan Selatan. Konsentrasi POPs yang diperoleh dari tiap tipe sampling dibandingkan. Khusus untuk konsentrasi POPs di Bukit Kototabang, data yang digunakan adalah data hasil pengukuran tahun 2005 dan 2006 dimana untuk data tahun 2006, terdapat penambahan dua senyawa POPs yang diukur yaitu aldrin dan o,p'-DDE, sedangkan untuk PBDEs tidak dilakukan analisis.

Tabel 1. Lokasi sampling POPs tahun 2005 (dikelompokkan menurut tipe dan urutan garis lintang)

| Lokasi | Negara | Lintang | Bujur | Ketinggian* |
|--------------------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|-------------|
| Background | | | | |
| Bukit Kototabang | Indonesia | 0.20° LS | 100.32° BT | 864.5 |
| Tapanti NP | Kosta Rika | 9.69354° LU | 83.86544° BB | 2830 |
| Darwin | Australia | 12° 22.24' LS | 130° 51.87' BT | |
| Huayna Potosi 5200 m a.s.l, La Paz | Bolivia | 16° 16' 19.7" LS | 68° 08' 10" BB | 5192 |
| Chungara Lake | Chili | 18° 13' LS | 69°10' BB | 4320 |
| La Palma | Kuba | 22.752° LU | 83.535° BB | 47 |
| Indaiatuba (near Campinas) | Brazil | 23° 09' 27.1" LS | 47° 10' 06.6" BB | 624 |
| Kalahari | Afrika Selatan | 25° 52' LS | 22° 54' BT | |
| Telde, Las Palmas | Canary Island, Spanyol | 27° 59' 28.17" LU | 15° 22' 07.64" BB | |
| De Aar | Afrika Selatan | 30° 40' LS | 24° 00' BT | 1287 |
| Tudor Hill | Bermuda | 32° 22' LU | 64° 39' BB | 32 |
| Kumamoto | Jepang | 32° 47' LU | 130° 42' BT | |
| Isola Marettimo | Italia | 37° 58' 7.8" LU | 12° 04' 16" BT | 22 |
| Danum Valley | Malaysia | 4.95° LU | 117.85° BT | 426 |
| Cape Grim | Australia | 40.683° LS | 144.689° BT | 94 |
| Dailian, Liaoning | China | 40.99° LU | 122.05° BT | |
| Dorset, ON | Kanada | 45.220° LU | 78.930° BB | 320 |
| Coyhaique | Chili | 45° 35' LS | 72° 02' BB | |
| Kosetice | Republik Ceska | 49° 35' LU | 15° 05' BT | 534 |
| Whistler, BC | Kanada | 50° 03' 30" LU | 122° 57' 25" BB | 2180 |
| Malin Head | Irlandia | 55.37167° LU | 7.339° BB | 20 |
| Storhøfði | Irlandia | 63.400° LU | 20.283° BB | 118 |
| Snare Rapids, NWT | Kanada | 63° 30' 31" LU | 116° 00' 28" BB | 240 |
| Agricultural | | | | |
| Lilongwe | Malawi | 14° 11' LS | 33° 47' BT | 1148 |
| Delhi, Site C - East Arjun Nagar | India | 28° 40' LU | 77° 14' BT | |
| Delhi, Site D - Bawana | India | 28° 40' LU | 77° 14' BT | |
| Athens, GA | Amerika Serikat | 33° 22' 32" LU | 83° 28' 27" BB | |
| Bahia Blanca | Argentina | 38° 45' LS | 62° 15' BB | |
| Bratt's Lake, SK | Kanada | 50° 12' 03" LU | 104° 42' 37" BB | 595 |
| Rural | | | | |
| Arauca | Kolombia | 7° 00' 46.25" LU | 70° 44' 36.332" BB | 100-120 |
| Accra | Ghana | 8° 00' LU | 2° 00' BB | |
| Veracruz | Meksiko | 19° 12' LU | 96° 08' BB | |
| Mt. Qingcheng, Sichuan | China | 30° 58' LU | 103° 31' BT | |
| Simi Valley, CA | Amerika Serikat | 34° 18' LU | 118° 48' BB | |
| Pohang | Korea Selatan | 36° 0' 45" LU | 129° 19' 13" BT | |
| Pomlewo (near Odańsk) | Polandia | 54° 12' 55" LU | 18° 22' 29" BT | |
| Danki | Russia | 54° 54' 00" LU | 37° 48' 00" BT | 180 |
| Hollola | Finlandia | 61° 3' 16.348" LU | 25° 39' 40.586" BT | |
| Urban | | | | |
| Manila | Filipina | 14° 39' 07" LU | 121° 04' 08" BT | |
| Kuwait City | Kuwait | 29.34° LU | 47.90° BT | |
| Chengdu, Sichuan | China | 30° 40' 12" LU | 104° 4' 11" BT | |
| Seoul | Korea Selatan | 37° 35' 5" LU | 127° 1' 27" BT | |
| Izmir | Turki | 38° 25' 24" LU | 27° 08' 14" BT | |
| Barcelona | Spanyol | 41° 23' LU | 2° 11' BT | |
| Downsview, ON | Kanada | 43° 46' 52" LU | 79° 28' 06" BB | 204 |
| Harbin, Heilong Jiang | China | 45.74° LU | 126.64° BT | |
| Paris | Prancis | 48° 51' 50.22" LU | 2° 21' 29.77" BT | 35-40 |
| Vancouver, BC | Kanada | 49° 13' LU | 123° 07' BB | |
| Polar | | | | |
| St. Lawrence Island, Bering Strait, Alaska | Amerika Serikat | 63° 42' LU | 170° 29' BB | |
| Barrow, Alaska | Amerika Serikat | 71.3200° LU | 156.6° BB | 11 |
| Mario Zucchelli Station, Antarctica | Italia | 74° 41' 42" LS | 164° 07' 23" BT | 15 |
| Ny-Alesund | Norwegia | 78° 54' 26.1" LU | 11° 53' 12.0" BT | 475 |
| Alert, NU | Kanada | 82° 27.008" LU | 63° 30.238" BB | |

* m di atas permukaan laut

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagian besar senyawa yang tergolong dalam POPs merupakan senyawa yang umumnya terkandung dalam pestisida. Walaupun beberapa senyawa tersebut tidak lagi dipergunakan, hasil pengukuran konsentrasi POPs menunjukkan keberadaan senyawa-senyawa tersebut di atmosfer. Tabel 2 menunjukkan konsentrasi POPs pada masing-masing tipe lokasi sampling. Tujuh senyawa pertama ditambah dengan dieldrin merupakan senyawa POPs yang dulu dikenal sebagai pestisida yang sekarang penggunaannya telah dilarang di banyak negara. Seperti yang terlihat pada Tabel 1, α -HCH dan γ -HCH merupakan dua senyawa yang sangat dominan terdapat di atmosfer, mencakup 68,7% dari total konsentrasi ke-delapan senyawa tersebut.

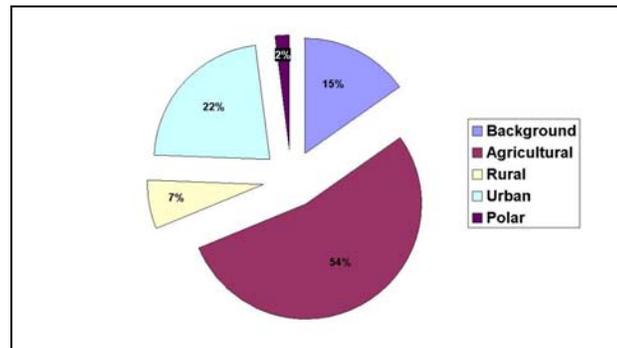
Tabel 2. Konsentrasi senyawa-senyawa *Persistent Organic Pollutants* berdasarkan tipe lokasi sampel diambil periode tahun 2005

| Tipe Lokasi | a-HCH | g-HCH | hept | hepx | TC | CC | TN | Endo I | Endo II | Endo SO4 | dieldrin | ppDDE | ppDDT | PCBs | PBDEs |
|--------------|--------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|---------|----------|----------|--------|-------|--------|-------|
| Background | 1295.5 | 1265.5 | 52.5 | 764.2 | 186.28 | 200.7 | 208.66 | 14191.2 | 2660.3 | 296.2 | 1558.2 | 1331 | 36.3 | 5489 | 72.05 |
| Agricultural | 4373.8 | 12814.7 | 684 | 47.8 | 312 | 451 | 59.8 | 36196 | 6804.2 | 782.2 | 472.2 | 1591.4 | 0 | 17914 | 42.59 |
| Rural | 556.1 | 734.2 | 0 | 311.2 | 227.8 | 141.8 | 100.2 | 12485 | 3617.4 | 236.1 | 405.8 | 1775.1 | 0 | 3056.5 | 54.07 |
| Urban | 985.7 | 2286.7 | 203.5 | 1978.7 | 601.1 | 405.2 | 375.3 | 18544.9 | 3958.7 | 211.3 | 1241.5 | 1279.8 | 321 | 20344 | 63.61 |
| Polar | 395.1 | 66.3 | 2.2 | 111.3 | 9.2 | 17 | 12.9 | 306.3 | 4 | 1.4 | 125 | 30.2 | 0 | 294 | 29.76 |

Sumber: Environment Canada

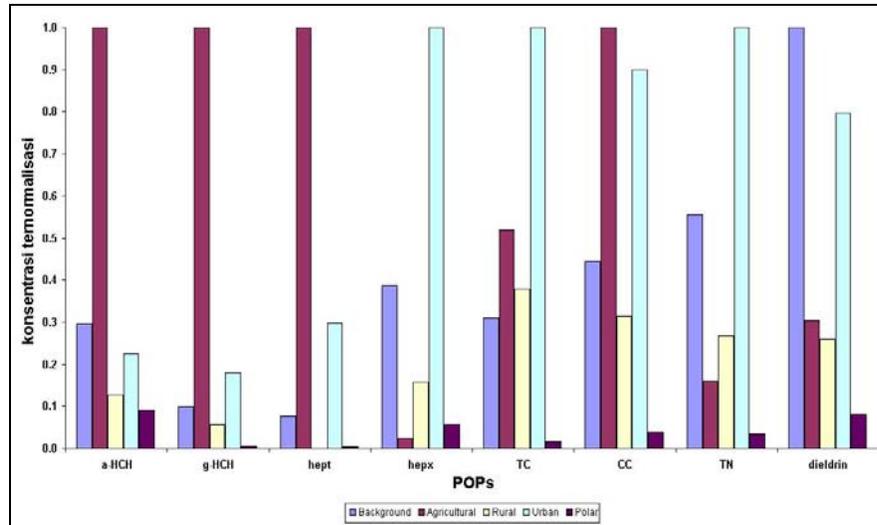
Keterangan : a-HCH = α -HCH; g-HCH = γ -HCH; hept = heptachlor; hepx = heptachlor epoxide; TC = *trans*-chlordane; CC = *cis*-chlordane; TN = *trans*-nonachlor; Endo I = endosulfan I; Endo II = endosulfan II; EndoSO4 = endosulfan sulphate; Semua konsentrasi dalam satuan pg/m^3

Berdasarkan persentasenya, lebih dari separuh emisi delapan senyawa 'bekas' pestisida terdeteksi di daerah *agricultural*. Hal ini tidak mengherankan mengingat penggunaan pestisida lebih banyak dijumpai di daerah pertanian.



Gambar 3. Persentase konsentrasi 8 senyawa eks-pestisida secara global pada tahun 2005

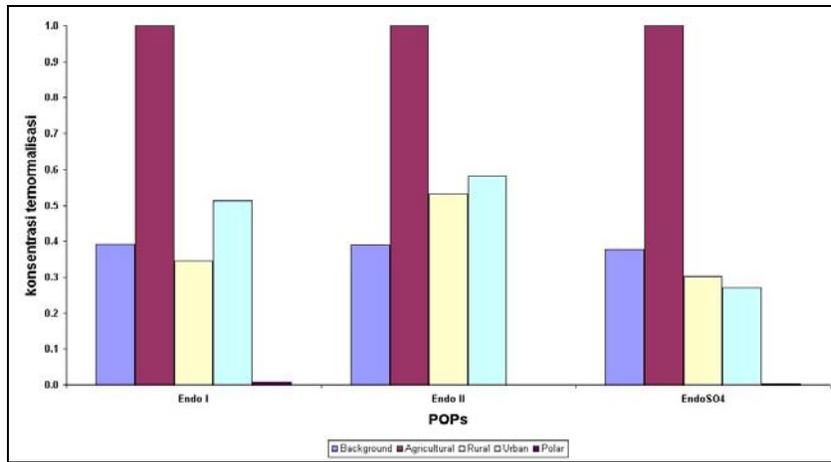
Daerah *urban* memiliki konsentrasi POPs yang cukup signifikan meskipun kebanyakan bukan merupakan daerah pertanian. Lebih spesifik perbandingan konsentrasi kedelapan senyawa tersebut disajikan dalam Gambar 4. Pada grafik tersebut terlihat tiga senyawa yaitu heptachlor epoxide, *trans*-chlordane, dan *trans*-nonachlor lebih banyak ditemukan di daerah *urban*. Hal ini disebabkan senyawa golongan chlordane juga digunakan sebagai pembasmi serangga dan pengendalian hama pada lapangan rumput (Harner *et al.*, 2004). Dari grafik tersebut juga terlihat kelimpahan heptachlor di daerah *agricultural* jauh lebih besar dibandingkan daerah lain, kontras terhadap kelimpahan heptachlor epoxide-nya yang bahkan lebih rendah daripada daerah polar. Hal ini disebabkan perubahan kebanyakan senyawa heptachlor dalam tanah akan diubah menjadi heptachlor epoxide (Bidleman *et al.*, 1998), sehingga dalam paparan waktu yang lama, akan ditemukan lebih banyak ditemukan heptachlor epoxide. Hal yang menarik terlihat pada kelimpahan senyawa dieldrin di atmosfer. Dari Gambar 4 terlihat bahwa kelimpahan relatif dieldrin paling tinggi dijumpai di daerah *background* dan kemudian diikuti *urban*. Fakta bahwa dieldrin pernah digunakan sebagai insektisida menjadikan probabilitas ditemukannya senyawa ini di daerah *agricultural*, tetapi hasil pengukuran menunjukkan bahwa di daerah ini konsentrasinya jauh lebih rendah daripada daerah *background* dan *urban*.



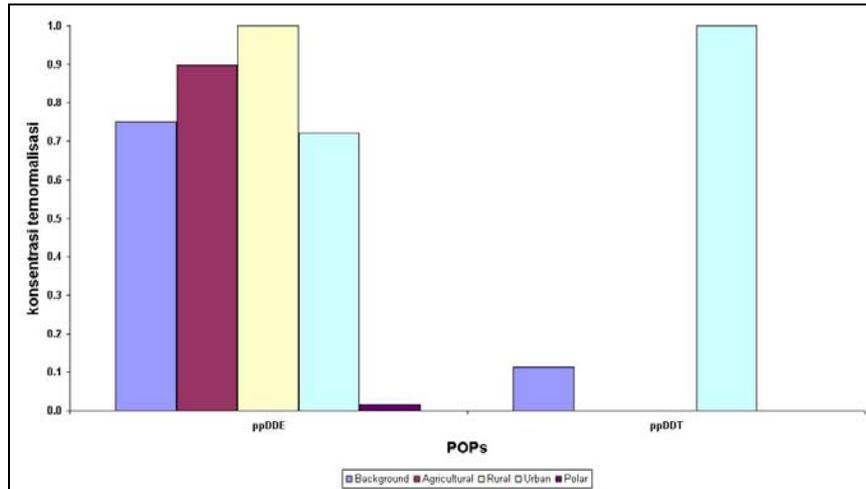
Gambar 4. Kelimpahan relatif delapan senyawa POPs di lima tipe lokasi sampling

Dari Tabel 1 terlihat bahwa konsentrasi POPs tertinggi adalah senyawa-senyawa golongan endosulfan yang mencakup 52,8% dari total konsentrasi POPs. Endosulfan merupakan senyawa yang saat ini tingkat penggunaannya masih cukup tinggi. Beberapa negara seperti India, Selandia Baru, Filipina, dan Amerika Serikat masih menggunakannya, meskipun negara-negara di Eropa melarang keras penggunaan senyawa ini (Anonim, 2009). Gambar 5 memperlihatkan kelimpahan endosulfan di lima tipe sampling pada tahun 2005. Gambar tersebut memperlihatkan kelimpahan relatif endosulfan tertinggi berada di daerah *agricultural* karena penggunaannya yang cukup tinggi.

DDT (1,1,1-trichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)ethane) dulu digunakan sebagai pestisida untuk lahan-lahan pertanian. Saat ini, penggunaan senyawa ini di bidang pertanian sudah dilarang dan hanya digunakan untuk mengendalikan penyebaran nyamuk vektor penyakit malaria di beberapa negara (Ritter *et al.*, 2005). Konsentrasi DDT di atmosfer hasil pengukuran tahun 2005 memperlihatkan bahwa DDT hanya terdeteksi di daerah *urban* dan *background*. Tidak ditemukannya DDT di lokasi lain karena senyawa ini dalam jangka waktu tertentu dapat berubah menjadi DDE (1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)ethylene), senyawa lain yang terbentuk karena proses dehidrohalogenasi DDT. Senyawa ini juga tergolong dalam POPs karena sukar untuk larut dalam air dan memiliki tingkat toksisitas yang cukup tinggi. Hasil pengukuran konsentrasi DDE menunjukkan senyawa ini tersebar di semua lokasi sampling dengan konsentrasi tertinggi dijumpai di daerah *rural*.

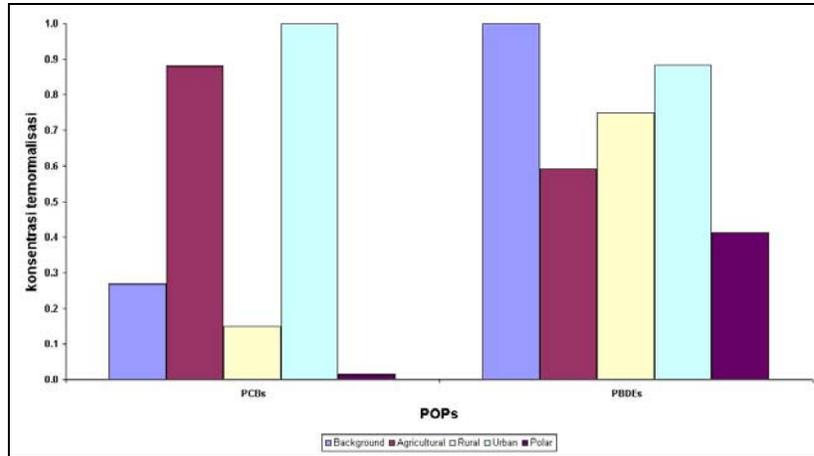


Gambar 5. Kelimpahan relatif senyawa golongan endosulfan di lima tipe lokasi sampling tahun 2005



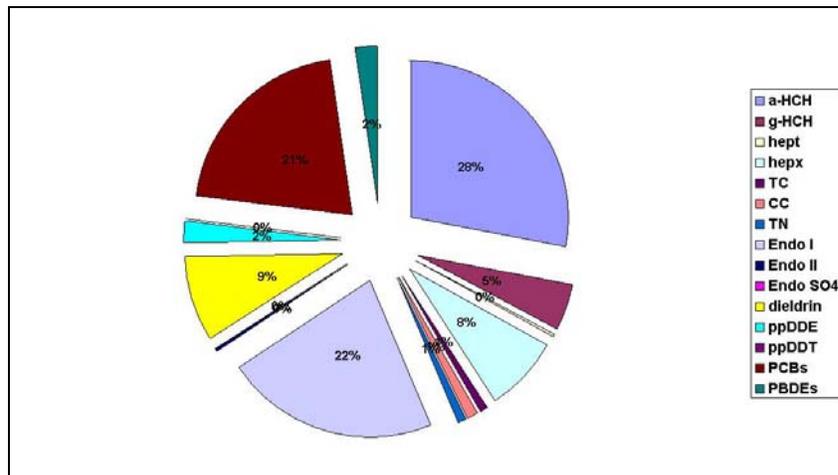
Gambar 6. Kelimpahan relatif DDE dan DDT di lima tipe lokasi sampling tahun 2005

Selain golongan pestisida, POPs yang diukur berasal dari hasil proses industri kimia yang dalam tulisan ini adalah polychlorinated biphenyls (PCBs) dan polibrominated diphenyl ethers (PBDEs). Kelimpahan relatif PCBs dan PBDEs pada tahun 2005 disajikan dalam Grafik 5. Konsentrasi PCBs dan PBDEs mencakup hampir seperempat dari total konsentrasi POPs. Konsentrasi PCBs tertinggi ditemukan di daerah *urban* karena pertumbuhan industri dan penggunaan barang yang mengandung PCB lebih banyak dijumpai di daerah ini. Sementara itu, hasil pengukuran konsentrasi PBDEs memperlihatkan daerah *background* sebagai daerah dengan konsentrasi POPs tertinggi.



Gambar 7. Kelimpahan relatif PCBs dan PBDEs di lima tipe lokasi sampling tahun 2005

Dari berbagai hasil pengukuran konsentrasi POPs dijumpai fakta menarik bahwa keberadaan POPs hampir dijumpai di semua tipe lokasi sampling. Beberapa diantaranya bahkan hampir terdistribusi secara merata, misalnya α -HCH, dieldrin, DDE, dan PBDEs. Hampir semua senyawa POPs terdeteksi di daerah *polar*, daerah dengan aktivitas manusia dan industri yang sangat minim sehingga dapat dikatakan sedikit sekali POPs yang berasal dari sini. Akan tetapi, ternyata beberapa senyawa POPs yang terdeteksi di daerah ini ada dalam jumlah yang relatif signifikan jika mempertimbangkan kondisi lokasinya. Distribusi POPs di daerah *polar* ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Distribusi POPs di daerah *polar* berdasarkan hasil pengukuran tahun 2005

Senyawa dengan konsentrasi tertinggi yang ditemukan di daerah *polar* adalah α -HCH yang mencapai 28% dengan kelimpahan relatif terhadap konsentrasinya mencapai 0,09. Bila dibandingkan dengan tipe lokasi sampling lain untuk senyawa yang sama, maka kelimpahan relatif α -HCH untuk ini cukup signifikan, yaitu *background* (0,30), *urban* (0,23), dan *rural* (0,13). Sementara itu, PBDEs adalah senyawa dengan kelimpahan relatif tertinggi di daerah *polar*, yang mencapai 0,41. Terdeteksinya senyawa-senyawa ini hingga daerah polar dipengaruhi oleh kemampuan POPs melakukan *long range air transport*. POPs yang berasal dari daerah dengan lintang lebih rendah yang cenderung lebih hangat akan menguap dan terbawa bersama dengan aliran massa udara ataupun terserap dalam partikel debu ke daerah dengan lintang

lebih tinggi yang lebih dingin. POPs tersebut kemudian terkondensasi di atmosfer dan kembali jatuh ke permukaan baik sebagai dekomposisi kering maupun dekomposisi basah. Oleh sebab itu, POPs juga dapat dijumpai di daerah *polar* yang lebih dingin daripada sumber emisinya. Kemampuan POPs berpindah dari daerah di lintang rendah ke daerah dengan lintang tinggi disebut dengan efek belalang (Semeena & Lammel, 2005).

SPAG Bukit Kototabang dimasukkan dalam kategori *background area*. Hasil pengukuran konsentrasi POPs pada periode 2005 dan 2006 diperlihatkan oleh Tabel 3.

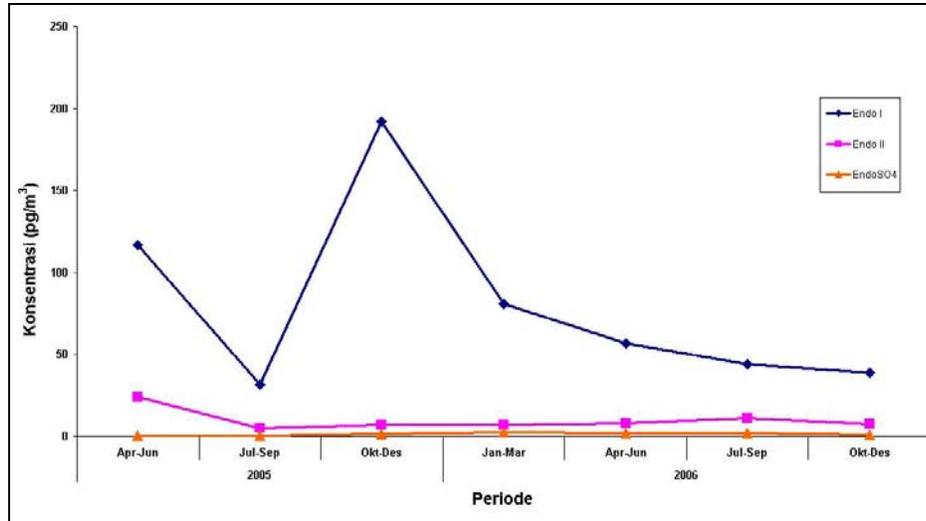
Tabel 3. Konsentrasi POPs di SPAG Bukit Kototabang hasil pengukuran tahun 2005 dan 2006

| Senyawa | Konsentrasi (pg/m ³) | |
|---------------------|----------------------------------|------|
| | 2005 | 2006 |
| a-HCH | 96 | 0.8 |
| g-HCH | 63 | 49.5 |
| hept | 0.3 | 2.4 |
| hepx | 189.2 | 2 |
| TC | 0.4 | 0.4 |
| CC | 1.4 | 0.52 |
| TN | 0.7 | 0.6 |
| Endo I | 341 | 221 |
| Endo II | 36 | 34.2 |
| EndoSO ₄ | 2.5 | 7.8 |
| dieldrin | 32.28 | 4.3 |
| ppDDE | 0.3 | 1.6 |
| opDDE | N/A | 0.8 |
| ppDDT | N/A | 1.2 |
| PCBs | 63.6 | 14.8 |
| PBDEs | 7.13 | N/A |
| aldrin | N/A | 2.4 |

Sumber: Environment Canada, N/A = tidak dilakukan analisis

POPs paling dominan konsentrasinya yang terukur di SPAG Bukit Kototabang adalah endosulfan I. Seperti yang telah diterangkan sebelumnya, golongan endosulfan merupakan POPs yang penggunaannya masih relatif tinggi sehingga sebanding dengan total emisi globalnya, konsentrasi senyawaan endosulfan (endo I, endo II, dan endoSO₄) yang terukur di Bukit Kototabang merupakan yang tertinggi, mencakup 45,5% pada tahun 2005 dan melonjak menjadi 76,4% pada tahun 2006 dari total konsentrasi POPs yang terukur. Daerah di sekitar SPAG Bukit Kototabang sendiri terdapat banyak lahan pertanian dan perkebunan, dan secara umum Indonesia sendiri merupakan negara agraris sehingga potensi emisi endosulfan yang digunakan sebagai pestisida cukup besar, mengingat sampai saat ini, Indonesia masih belum melarang penggunaan senyawa ini di bidang pertanian dan banyaknya kasus keracunan dan penyakit kanker yang disebabkan oleh senyawa ini (Anonim, 2008). Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat total konsentrasi POPs pada tahun 2006 mengalami penurunan dibanding konsentrasi pada tahun sebelumnya, yaitu lebih rendah 58,7%. Penurunan paling drastis terjadi pada senyawa α -HCH dan heptachlor epoxide. Belum diketahui secara pasti apakah penurunan ini terjadi karena emisi secara global belum diketahui karena proses pengumpulan dan analisis data secara global untuk tahun 2006 masih terus dilakukan oleh Environment Canada.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa distribusi POPs dipengaruhi oleh faktor-faktor meteorologi seperti suhu, arah, kecepatan angin, dan tekanan udara. Namun demikian, sulit untuk dipastikan apakah faktor-faktor tersebut juga menentukan besarnya konsentrasi POPs yang terdistribusi. Pengukuran konsentrasi POPs di Bukit Kototabang yang dilakukan dalam periode 3 bulan menunjukkan ketiadaan pola dalam distribusi konsentrasi POPs di Bukit Kototabang.



Gambar 9. Distribusi konsentrasi POPs di Bukit Kototabang berdasarkan hasil pengukuran 3 bulanan

Gambar 9 memperlihatkan distribusi konsentrasi POPs golongan endosulfan yang terukur di Bukit Kototabang tidak menunjukkan suatu tren atau pola tertentu. Walaupun ketiga senyawa tersebut memiliki kemiripan sifat, ternyata pola distribusi diantara ketiga senyawa tersebut tidak sama. Ketiadaan pola juga akan terlihat dari hasil pengukuran konsentrasi POPs lainnya sehingga dapat dikatakan hampir sulit untuk menentukan tren atau kecenderungan emisi POPs pada periode atau siklus tertentu. Namun demikian, masih diperlukan beberapa periode atau tahun lagi untuk dapat menentukan adanya tren atau pola distribusi konsentrasi POPs baik di Bukit Kototabang.

4. KESIMPULAN

Pengukuran konsentrasi POPs di atmosfer pada tahun 2005 dengan memakai metode *passive air sampling* menggunakan piringan PUF pada 53 lokasi sampel yang dikategorikan dalam 5 tipe memperlihatkan bahwa sebagian besar konsentrasi POP terdistribusi di daerah *agricultural*. Hal ini disebabkan karena sebagian besar POPs umumnya digunakan sebagai pestisida untuk lahan pertanian. POPs dengan konsentrasi terbesar adalah golongan endosulfan (endosulfan I, endosulfan II, dan endosulfan sulfat), mengingat intensitas penggunaan senyawa ini sampai sekarang masih cukup besar, sedangkan banyak senyawa lainnya sudah dilarang atau digunakan secara terbatas. Pengukuran di SPAG Bukit Kototabang sendiri juga memperlihatkan senyawa golongan endosulfan merupakan POPs dengan konsentrasi terbesar. Hasil pengukuran juga memperlihatkan adanya efek belalang yang ditunjukkan oleh POPs karena ditemukannya senyawa-senyawa ini di daerah *polar* yang hampir dapat dipastikan bukan merupakan sumber emisi POPs. Konsentrasi POPs di Bukit Kototabang pada tahun 2006 mengalami penurunan hampir 60% dari tahun sebelumnya. Konsentrasi POPs yang turun drastis adalah α -HCH dan heptachlor epoxide. Namun demikian, hasil pengukuran konsentrasi POPs di Bukit Kototabang tidak memperlihatkan suatu tren atau pola distribusi tertentu.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Dr. Tom Harner dan Sum Chi Lee dari Environment Canada atas data konsentrasi POPs di Bukit Kototabang dan 52 lokasi lainnya, serta berbagai informasi, saran dan masukan atas penyajian data konsentrasi POPs.

6. DAFTAR ACUAN

- Anonim. 2005. *Ridding The World of POPs: A Guide to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. United Nations Environment Programme. Geneva.
- Anonim. 2008. *Information for the Consideration of Endosulfan, Provision of Information to the Stockholm Convention Secretariat for Use by the POPs Review Committee (POPRC)*. London, UK.
- Anonim. 2009. Persistent Organic Pollutant. http://en.wikipedia.org/Persistent_organic_pollutant. Diakses tanggal 13 Januari 2009.
- Anonim. 2009. *Endosulfan*. <http://en.wikipedia.org/Endosulfan>. Diakses tanggal 13 Januari 2009.
- de Wit, C. A. 2002. An Overview of Brominated Flame Retardants in The Environment. *Chemosphere* 46(5): 583-624.
- Fernández P. & J.O. Grimalt. 2003. On The Global Distribution of Persistent Organic Pollutants. *Chimia* 57: 514-521.
- Harner, T., K. Pozo, T. Gouin, A. Macdonald, H. Hung, J. Caine, A. Peters. 2006. Global Pilot Study for Persistent Organic Pollutants (POPs) Using PUF Disk Passive Air Sampler. *Environmental Pollution* 144: 445-452.
- Ilyina, T., T. Pohlmann, G. Lammel, J. Sündermann. 2006. A Fate and Transport Ocean Model for Persistent Organic Pollutants and Its Application to The North Sea. *Journal of Marine Systems* 63: 1-19.
- Lee, H.D., I. Lee, K. Song, M. Steffes, W. Toscano, B.A. Baker, D.R. Jacobs, Jr. 2006. A Strong Dose-Response Relation Between Serum Concentrations of Persistent Organic Pollutants and Diabetes. *Diabetes Care* 29: 1638-1644.
- Pozzo K., T. Harner, F. Wania, D.C.G. Muir, K.C. Jones, L.A. Barrie. 2006. Toward a Global Network for Persistent Organic Pollutants in Air: Result from the GAPS Study. *Environ. Sci. Technology* 40: 4867-4873.
- Ritter, L., K.R. Solomon, J. Forget. 2007. *Persistent Organic Pollutants: An Assessment Report on DDT, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane, Heptachlor, Hexachlorobenzene, Mirex, Toxaphene, Polychlorinated Biphenyls, Dioxins, and Furans*. Canadian Network of Toxicologi Centres.
- Rodan, B.D., D.W. Pennington, N. Eckley, R.S. Boethling. 1999. Screening for Persistent Organic Pollutants: Technique to Provide a Scientific Basis for POPs Criteria in International Negotiations. *Environ. Sci. Technology* 33: 3482-3488.
- Semeena, V.S., Lammel, G., 2005. The Significance of The Grasshopper Effect on The Atmospheric Distribution of Persistent Organic Substances. *Geophys. Res. Lett.* 32.
- Simonich S.L. & R.A. Hitest. 1995. Global Distribution of Persistent Organic Compounds. *Science* 269: 1851-1854.

KAJIAN SUSEPTIBILITAS MAGNETIK SEBAGAI INFORMASI PERUBAHAN LINGKUNGAN PADA SEDIMEN DI PULAU SIBERUT, MENTAWAI, SUMATERA BARAT, INDONESIA

Hamdi¹, Satria Bijaksana², Wahyu S. Hantoro³

¹Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang, Sumatera Barat

²Departemen Fisika, Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat

³GeoTeknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jawa Barat

Abstract

Study of magnetic susceptibility of sediment from Siberut Island, Mentawai Islands, West Sumatera had been done to determine the information of environmental change on the past (paleoenvironmental). Samples were carried out from Simarua Lake (DSR04), Saibi Bay, and Katurai Bay (TKRB05) by using Gravity Core which has 1.5" in diameter and 2 m in length. Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS) was measured using Bartington Susceptibility Meter type MS2. The result showed that the susceptibility of Simarua Lake (DSR04), Saibi Bay (TSB05), and Katurai Bay are around $(3.2-9.4) \times 10^{-6}$ (SI), $(0.46-14.5) \times 10^{-6}$ (SI), and $(1.8-2.8) \times 10^{-6}$ (SI) respectively. Variation of susceptibility value showed the variation of magnetic mineral content on the samples as the result of the difference of sediment transport because of environmental change.

Keywords: Saibi Bay, Katurai Bay, Simarua Lake, magnetic susceptibility

1. PENDAHULUAN

Pulau Siberut merupakan salah satu pulau yang ada pada Kepulauan Mentawai Sumatera Barat. Pulau ini berada di bagian barat pulau Sumatera dan berhadapan langsung dengan Samudera Indonesia. Diantara pulau-pulau yang ada di Kepulauan Mentawai, pulau Siberut memiliki ukuran yang paling besar, letaknya berdekatan dengan garis khatulistiwa dan iklimnya terpengaruh langsung oleh iklim tropis.

Iklim tropis yang memiliki musim panas dan musim kemarau dapat terekam secara alami pada lingkaran tahun pohon (*tree ring*), coral, dan sedimen. Secara umum, telah dikaji perilaku iklim tropis sekitar pulau Siberut pada terumbu karang dan lingkaran tahun pohon (*tree ring*). Pada kesempatan ini, dikembangkan juga pengaruh iklim tropis terhadap sedimen yang ada pada teluk Saibi, teluk Katurai dan Danau Simarua ditinjau dari aspek kemagnetan sedimen tersebut.

Secara kuantitatif, kemagnetan dalam sedimen relatif sedikit, namun mineral-mineral magnetik alami selalu ada pada sedimen. Keberadaan suatu mineral magnetik dan kelimpahannya dapat mencerminkan keadaan lingkungan tersebut (Bijaksana *dkk*, 2001a; Bijaksana *dkk*, 2001b).

Kontribusi mineral magnetik dalam suatu bahan berbanding lurus dengan suseptibilitas bahan tersebut (Schoen, 1996 dan Tarling, 1993). Semua bulir mineral (*mineral grains*) berkontribusi terhadap suseptibilitas total, tetapi pengaruh individunya bergantung kepada suseptibilitas intrinsiknya. Oleh sebab itu, dapat diartikan bahwa suseptibilitas sedimen

bertambah dengan penambahan isi sedimen. Pertambahan sedimen berbeda untuk musim hujan dan musim kemarau.

Dengan demikian terjadinya perubahan iklim dapat mengakibatkan terjadinya fluktuasi jumlah mineral magnetik yang dibawa oleh air ke danau dan teluk dengan asumsi bahwa bertambahnya nilai suseptibilitas sebagai akibat dari bertambahnya jumlah mineral magnetik pada sedimen.

2. METODE

Sampel diambil dari Danau Simarua, Teluk Saibi (TSB05) dan Teluk Katurai (TKRB05) (Gambar 1) menggunakan *Gravity Core* yang mempunyai diameter 1.5" dan panjang 2 meter. *Core* dibagi menjadi dua sama besar. Bagian pertama disimpan agar dapat digunakan untuk analisa lainnya oleh peneliti lain. Lalu bagian yang lain dicuplik menggunakan kontainer sampel dari Teluk Saibi dan Danau Simarua dimasukkan kedalam sample container berbentuk kubus dengan ukuran 22 mm³ (7,18 ml) sedangkan spacemen dari Teluk Katurai dimasukkan ke dalam sample container berupa silinder dengan volume 10 ml atau dengan diameter 2.54 cm (1 inch) dan tinggi 2.2 cm. Arah panah pada kontainer sampel disesuaikan dengan arah *up* dari *core*. Dari *core* teluk Katurai didapat 31 spesimen, danau Simarua 45 specimen dan teluk Saibi 31 specimen. Kemudian sampel dinamai sesuai dengan tempat dan waktu pengambilannya.

Parameter magnetik utama yang diukur adalah suseptibilitas magnetik dan magnetisasi. Selain kedua parameter utama ini, ada sejumlah parameter lain yang diturunkan dari kedua parameter ini termasuk anisotropi magnetik, kurva histeresis, dan peluruhan remanen magnetik.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel sedimen di Pulau Siberut Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat

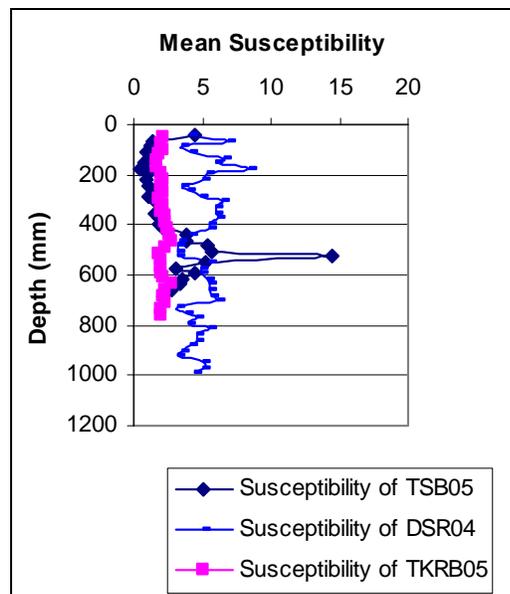
Anisotropi dari suseptibilitas magnetik (AMS) terutama dikontrol oleh arah dari mineral-mineral ferromagnetik, paramagnetik dan diamagnetik yang berada dalam batuan dan sediment. Ferre *dkk*, (2003) menyatakan bahwa penggunaan teknik AMS lebih mudah dan sangat membantu dalam menganalisis *petrofabric* dari bahan-bahan yang mengandung

mineral magnetik *magnetite*. *Anisotropy of magnetic susceptibility, AMS* dari specimen diukur menggunakan *Bartington Susceptibility Meter* tipe MS2 dengan 15 arah pengukuran. Jenis mineral magnetik ditentukan dengan cara memplot kurva IRM dari hasil magnetisasi sedimen dengan *electromagnetic Weiss*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik suatu sampel menunjukkan seberapa besar sampel tersebut merespon medan magnetic yang diberikan kepada sampel. Dari plot data suseptibilitas terhadap kedalaman sampel (Gambar 2) dapat dilihat bahwa sampel Danau Simarua (DSR04) mempunyai nilai suseptibilitas berkisar antara 3.2 sampai dengan 9.4×10^{-6} (SI), sampel Teluk Saibi (TSB05) memiliki nilai suseptibilitas berkisar antara 0.46 sampai dengan 14.5×10^{-6} (SI) sedangkan sampel Teluk Katurai mempunyai nilai berkisar antara 1.8 sampai dengan 2.8×10^{-6} (SI). Sampel dari Danau Simarua terlihat lebih bervariasi dibandingkan dengan sampel yang di Teluk Saibi dan Teluk Katurai tetapi tidak ada yang menunjukkan harga yang ekstrim. Sedangkan sampel Teluk Saibi memiliki harga yang tertinggi yaitu 14.5×10^{-6} (SI) pada kedalaman sekitar 50 cm. Nilai suseptibilitas dari ketiga sampel ini hampir sama dengan nilai suseptibilitas dari Lumpur Sidoarjo (LUSI) yang mengandung mineral magnetik seperti *magnetite*, *hematite*, *greigite* dan *hyrhotite* (Rifai, 2009). Dapat diduga bahwa sampel dari sedimen di pulau Siberut ini mengandung minimal satu jenis mineral magnetik.



Gambar 2. Variasi Suseptibilitas sampel Teluk Saibi, Danau Simarua, dan Teluk Katurai terhadap kedalaman sampel.

Danau Simarua di kelilingi oleh bukit. Adanya variasi nilai suseptibilitas yang terekam pada sedimen di Danau Simarua diduga menggambarkan terjadinya perubahan lingkungan dimana perubahan lingkungan ini berpengaruh terhadap transportasi mineral magnetik dari perbukitan yang ada disekitar danau. Di samping itu, terjadinya perubahan lingkungan juga mengakibatkan terjadinya perubahan karakteristik angin pembawa abu terbang yang mengandung mineral magnetik ke Danau Simarua sehingga akan menimbulkan variasi nilai suseptibilitas magnetiknya.

Nilai suseptibilitas dari sampel Teluk Katurai yang kurang bervariasi diduga terjadi akibat teluk ini merupakan daerah pelintasan penduduk sekitarnya sehingga sering di lewati oleh perahu motor. Dilain pihak, Teluk Katurai memiliki dasar yang dangkal sehingga mudah

terjadi turbulensi pada dasar teluk akibat baling-baling perahu motor tadi. Terjadinya turbulensi ini tentu akan berpengaruh terhadap laju sedimentasi dan sebaran sedimen.

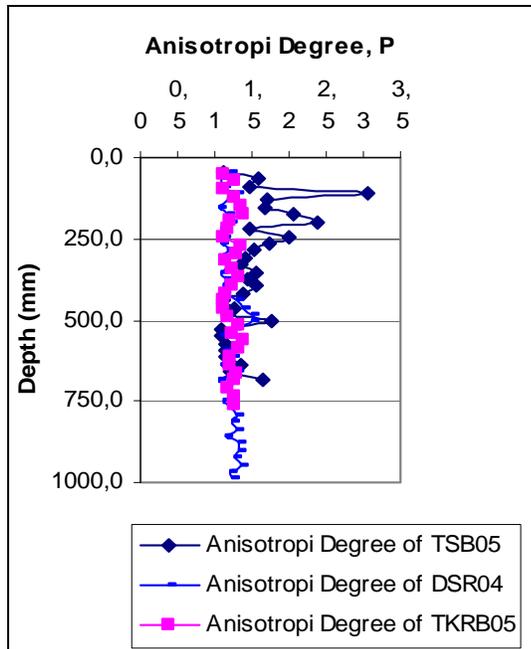
Khusus untuk sampel pada teluk Saibi, pada kedalaman 50 cm tersebut memiliki massa jenis dan suseptibilitas yang lebih besar. Artinya semakin besar massa jenis sampel maka kemungkinan jumlah mineral magnetik pada sampel akan semakin besar pula. Dapat dikatakan bahwa pada kedalaman 50 cm ini kandungan mineral magnetiknya cenderung lebih banyak pula. Hal ini dapat diakibatkan karena pada waktu sedimen ini terbentuk, telah terjadi suatu peristiwa lingkungan yang cukup berarti sehingga dapat memindahkan sedimen yang kaya dengan mineral magnetik (*paleoenvironmental*).

Secara umum, peristiwa lingkungan seperti musim hujan dan musim kemarau dapat berpengaruh terhadap proses transportasi dan karakteristik sedimen. Pada waktu musim hujan, sedimen akan terbawa oleh air. Air hujan yang jatuh di daerah perbukitan akan mengikis dasar bukit dan membawa materialnya ke Danau maupun Teluk. Pada waktu musim kemarau, material sedimen yang berasal dari abu terbang akan terbawa oleh angin langsung jatuh di danau maupun teluk. Material sedimen yang terbawa oleh angin ini adalah memiliki karakteristik berupa ukuran bulir yang lebih halus bila dibandingkan dengan material sedimen yang terbawa oleh air. Kemudian, sedimen yang terbawa oleh angin berjumlah lebih sedikit dari sedimen yang dibawa oleh air sehingga sedimen yang terbawa pada waktu musim hujan memiliki jumlah mineral magnetik lebih banyak dan nilai suseptibilitas yang lebih tinggi.

b. Derajat Anisotropi

Dari plot data anisotropi dan kedalaman sampel (Gambar 3) dapat dilihat bahwa suseptibilitas sampel di Danau Simarua (DSR04) memiliki nilai yang bervariasi antara 1,047 sampai dengan 1,513 % dan tidak terlihat variasi yang menyolok dari derajat anisotropi. Sampel Teluk Saibi (TSB05) memiliki nilai derajat anisotropi berkisar antara 1,007 sampai dengan 2,936 %. Pada kedalaman sekitar 100 mm terdapat harga derajat anisotropi yang tertinggi yaitu 2,936 %. Selanjutnya, untuk sampel Teluk Katurai yang mempunyai nilai berkisar antara 1,104 sampai dengan 1,395 % tidak memiliki variasi yang berarti.

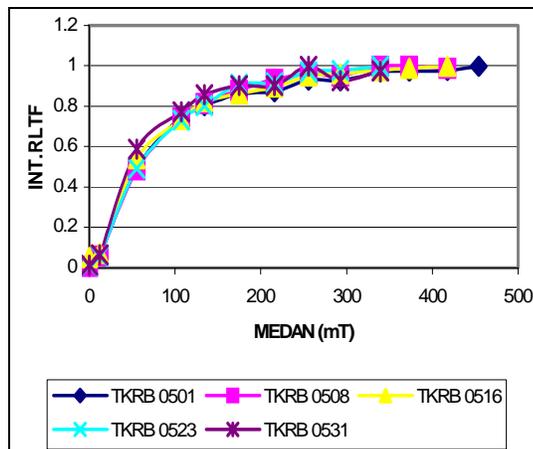
Derajat anisotropi untuk sampel dari Teluk Saibi lebih bervariasi bila dibandingkan dengan dua sampel lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa sampel dari Teluk Saibi tersebar secara alami dan sedimen yang telah terbentuk tidak terganggu lagi oleh aktivitas lain pada permukaan sedimen. Pada saat terjadinya peristiwa sedimentasi, material akan diendapkan pada posisi yang acak. Hal ini akan menimbulkan ketidakmerataan penyebaran material sedimen sehingga mengakibatkan terjadinya anisotropi nilai pada nilai suseptibilitasnya. Semakin tinggi derajat anisotropi dari suatu material maka tingkat penyebarannya juga semakin beragam.



Gambar 3. Variasi Derajat Anistropi, *P* sampel Teluk Saibi, Danau Simarua, dan Teluk Katurai terhadap kedalaman sampel.

c. Jenis mineral magnetik

Gambr 4 menunjukkan kurva saturasi IRM dari sampel Teluk Katurai TKRB05 dimana sampel ini mulai tersaturasi antara 100mT sampai 300mT. Artinya untuk mensaturasi medan magnet remanen diperlukan medan magnet induksi yang lebih besar dari 300 mT. Dari sifat saturasi remanen ini dapat pula dikatakan bahwa sampel yang ada ini dikategorikan sebagai Magnetite. Sampel DSB04 dan TSB05 tidak bisa ditentukan saturasinya karena keterbatasan alat ukur. Alat ukur yang ada hanya digunakan untuk *sampel container* berbentuk silinder, sementara sampel Danau Simarua DSB04 dan Teluk Saibi TSB05 berbentuk kubus.



Gambar 4. Kurva saturasi IRM dari sampel Teluk Katurai.

4. KESIMPULAN

Dari data suseptibilitas magnetik dapat dilihat bahwa pada teluk Saibi terlihat variasi yang lebih baik dimana pada kedalaman sekitar 50 cm harga suseptibilitasnya cukup ekstrim,

sehingga dapat dikatakan bahwa pada kedalaman tersebut telah terbentuk sedimen dengan kandungan mineral magnetik yang lebih tinggi. Dapat diduga bahwa pada masa itu laju sedimentasi cukup tinggi karena diduga hujan turun cukup besar dan terjadi pengikisan pada dataran-dataran sekitar sungai yang menuju ke teluk Saibi tersebut.

Variasi anisotropi yang cukup baik pula dapat menggambarkan arah pembentukan sedimen yang tidak sama dalam setiap arah. Hal ini bisa juga mengindikasikan bahwa saat sedimen terbentuk, gelombang laut juga mengganggu arah laju sedimentasi sehingga sedimen yang dihasilkan memiliki penyebaran yang tidak sama.

Salah satu jenis mineral yang ada pada sedimen Pulau Siberut adalah *magnetite*. Jenis mineral ini menunjukkan telah terjadi proses transportasi mineral namun belum terlihat jelas kontribusi mineral magnetik dari sumber-sumber *anthropogenic* seperti limbah industri dan limbah rumah tangga karena tempat pengambilan sampel ini jauh dari kegiatan penduduk sekitarnya. Untuk mengetahui jenis mineral magnetiknya, selain ditentukan dengan melihat bentuk kurva peluruhan intensitas IRM, juga dilakukan dengan analisa kimia seperti analisa dengan XRD. Untuk mengetahui umur sedimen sebaiknya dilakukan proses *dating*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada Venny Haris, Yessi Darma dan Putri Andania Veronika yang telah membantu dalam pengukuran data penelitian ini dan juga kepada Bapak Prof. Dr. Wahyoe S. Hantoro dari GeoTeknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Jl. Sangkuriang Bandung. Terimakasih yang sebesar-besarnya juga disampaikan kepada Dr. Satria Bijaksana selaku kepala Lab. *PRE-Magnetism* FMIPA Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan *sampel containernya* sehingga penelitian ini dapat berlangsung sebagai mana mestinya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Bijaksana, S., Azis, Y., Priyoutomo, T., 2001a, A combined method for identification and grain size determination of magnetite (Fe_3O_4), *Kontribusi Fisika Indonesia*, 11, 105-108.
- Bijaksana, S., Fitriani, D., Ngkoimani, L. O., 2001b, Variation of Magnetic Parameters in the River Bed during Dry and Rainy Seasons: Case Study of Citarum River in Bandung, Indonesia (disajikan dalam IAGA-IASPEI Joint Scientific Assembly di Hanoi, Vietnam, 19-31 Agustus 2001).
- Dunlop, D. J. and Ozdemir, O., 1997, *Rock magnetism: Fundamentals and frontiers*, Cambridge university press
- Ferre, E. C., Teyssier, T., Jackson, M., Thill, J. W., and Rainey, E. S. G., 2003. Magnetic susceptibility anisotropy,; A new petrofabric tool in migmatites (DOI 10.1029/2002JB001790), *Journal of Geophysical Research B: Geomagnetism and Paleomagnetism/Marine Geology and Geophysics* (EPM), vol. 108, pp. 5.1-5.14
- Rifai, H., S. Bijaksana, U. Fauzi and Bagus E. B. Nurhandoko, *Challenges in the Measurement of LUSI's Physical Properties*, Proceedings of Asian Physics Symposium, Bandung, November 29-30, 2007.
- Schoen, J. H. 1996. Handbook of geophysical exploration, Seismic exploration: vol 18, Physical properties of rocks: fundamentals and principles of petrophysics, Pergamon
- Tarling, D. H., and Hrouda, F., 1993. *The Magnetic Anisotropy of Rock*, Chapman and Hal.

MENAKSIR SENSITIVITAS SUB SUB DAS SUMANI DALAM MERESPON FLUKTUASI JUMLAH CURAH HUJAN AKIBAT PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

Sugeng Nugroho¹, Yuzirwan Rasyid², Edison Kurniawan¹ & Alberth C. Nahas¹

- 1) Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Koto Tabang, Sumatera Barat
- 2) Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Sumatera Barat

Abstract

On the global climate change scenario, rainfall is described vary in the scale of space and time. The parameters of river water quality were determined by the sensitivity of biogeophysic characteristic of watershed area in responding the fluctuation of rainfall occurred as the result of global climate change. Relative sensitivity level of the subs of the watershed Sumani on responding the fluctuation of rainfall occurs as the result of climate change was categorized low, which means the effect of rainfall on the climate change scenario toward water quality parameters is relatively equal with the effect of rainfall on 2005.

Keywords: *Climate Change, Sensitivity, Water Quality.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu indikator baik tidaknya fungsi dari suatu daerah aliran sungai (DAS) adalah parameter-parameter kualitas air sungainya. Kualitas air tersebut berkaitan erat dengan unsur utama penyusun sistem suatu DAS, yaitu topografi, penggunaan lahan, jenis tanah, curah hujan dan kegiatan manusia dalam memanfaatkan sumber daya alam dalam kawasan DAS. Kualitas air sungai pada suatu DAS juga dapat dijadikan indikator kerusakan lingkungan dalam kawasan DAS.

Kualitas air ditentukan oleh kandungan sedimen tersuspensi dan bahan kimia terlarut di dalam air tersebut. Sedimen yang tersuspensi ditentukan oleh sifat sedimen itu sendiri dan keadaan tanah tempat sedimen itu terendapkan. (Arsyad, 2000). Sedimen dapat mengakibatkan polusi dalam dua bentuk, yaitu secara fisik dan secara kimiawi, dengan pengaruh yang ditimbulkan adalah perubahan kandungan dalam sedimen seperti konsentrasi hara, garam-garaman, logam dan patogen serta perubahan rezim temperatur (Kiersch, 2000 dalam Masnang, 2003).

Bahan-bahan yang terkandung pada endapan sedimen secara umum dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat bahaya yang terjadi dan pengelolaan permasalahan yang diakibatkan oleh perubahan curah hujan, limpasan air permukaan dan angkutan endapan ke bagian daerah tangkapan yang lebih rendah. Sedangkan banyaknya endapan sebagai akibat dari interaksi antara faktor kelembatan curah hujan, kurangnya penutup lahan dan kondisi geofisik kawasan DAS (Hardwinarto, dkk, 2001).

Tingginya konsentrasi nitrat pada air permukaan ataupun air tanah pada kawasan DAS, selain disebabkan oleh faktor pengelolaan lahan, juga berhubungan dengan faktor biogeofisik pada kawasan DAS termasuk curah hujan. Hal ini karena nitrat sangat mudah mengalami pencucian dalam tanah dan endapan nitrogen sangat erat hubungannya dengan proses-proses hidrologi (Fedorko *et.al.*, 2005).

Sebagai suatu ekosistem, DAS mempunyai mekanisme masukan (*input*) dan keluaran (*output*). Komponen input dalam ekosistem DAS adalah curah hujan, sedangkan komponen output terdiri debit air dan muatan sedimen. Sedangkan komponen-komponen DAS seperti vegetasi, tanah, dan alur sungai bertindak sebagai prosesor.

Hasil output dari sistem tersebut dapat dijadikan bahan penilaian dan evaluasi proses yang terjadi dan berlangsung didalamnya (Suripin, 2004). Faktor utama yang menyebabkan masuknya sedimen ke dalam badan air adalah terjadinya erosi tanah pada kawasan DAS. Semakin tinggi tingkat erosi maka ada kecenderungan untuk masuknya sedimen ke badan air akan lebih banyak. Sedangkan tingkat erosi yang terjadi akan bervariasi baik secara spasial maupun temporal tergantung dari karakteristik tanah, penggunaan lahan, tutupan lahan, topografi dan curah hujan (Wang dan Cui, 2005).

Dalam skenario perubahan iklim global, curah hujan digambarkan sangat bervariasi dalam skala ruang dan waktu. Bisa jadi curah hujan yang terjadi pada suatu DAS akan tetap, bertambah atau berkurang pada waktu yang akan datang. Kualitas air sungai sangat ditentukan oleh sistem DAS dalam merespon fluktuasi jumlah curah hujan yang akan terjadi tersebut.

Dalam laporan IPCC terdapat beberapa skenario emisi, diantaranya skenario A2 dan B2 (IPCC SRES). Skenario emisi A2 menggambarkan konsep dunia yang lebih heterogen, negara-negara mampu memenuhi kebutuhannya sendiri, peningkatan populasi yang terus menerus, perkembangan ekonomi yang lebih berorientasi regional dan perkembangan teknologi yang lambat dan pendapatan perkapita yang rendah. Sedangkan pada skenario B2, perkembangan ekonomi, sosial dan lingkungan lebih pada skala lokal, dengan laju peningkatan ekonomi ada pada tahap menengah, dan lebih bersahabat kepada lingkungan. (IPCC TAR, 2001)

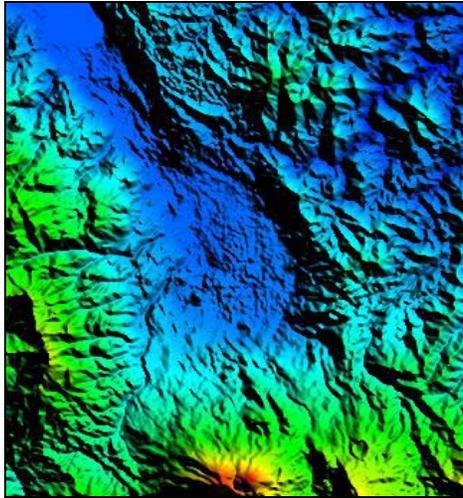
Sub sub DAS Sumani merupakan DAS bagian hulu Sungai Inderagiri, yang merupakan daerah tangkapan air Danau Singkarak. Danau Singkarak mempunyai fungsi strategis bagi kepentingan masyarakat Sumatera Barat karena berfungsi sebagai sumber irigasi, pembangkit tenaga listrik, perikanan, pariwisata, dan kebutuhan air minum.

Makalah ini akan membahas mengenai perubahan kualitas air sungai di sub sub DAS Sumani akibat fluktuasi curah hujan yang disebabkan oleh perubahan iklim global. Perubahan-perubahan yang terjadi diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai sensitivitas faktor lokal (sistem yang ada dalam sub sub DAS Sumani) dalam merespon perubahan iklim global.

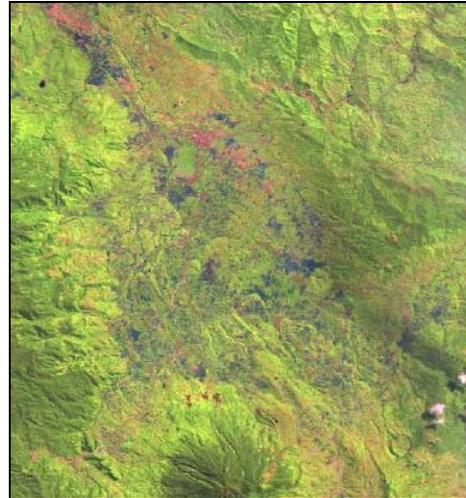
Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk mengetahui perubahan parameter-parameter kualitas air sungai sub sub DAS Sumani akibat fluktuasi curah hujan yang disebabkan oleh perubahan iklim global.

2. METODE

Wilayah penelitian adalah sub sub DAS Sumani, di Kabupaten Solok, Propinsi Sumatera Barat. Sub sub DAS Sumani mempunyai luas 1.242 ha, dengan kondisi topografi yang beragam; lereng pada DAS bagian hulu pada umumnya masuk dalam kelas lereng terjal sedangkan bagian hilir bergelombang hingga datar. Penggunaan lahan pada umumnya adalah hutan, lahan pertanian, kebun campuran, persawahan, daerah terbangun dan semak belukar dengan prosentase yang relatif lebih kecil. Jenis tanah dominan adalah vulkanik karena sub sub DAS Sumani termasuk dalam wilayah lereng gunung api aktif. Sedangkan jumlah curah hujan di DAS bagian hulu berkisar antara 2500 hingga 3000 mm/tahun sedangkan di bagian hilir berkisar antara 1500 hingga 2500 mm/tahun.



Gambar 1. Digital Elevation Model (DEM)
Sumber : SRTM, 2005



Gambar 2. Penggunaan Lahan
Sumber: Citra Landsat TM, 2005

Penelitian dilakukan dengan cara membandingkan kualitas air sungai pada tahun 2005 (*existing condition*) dengan kualitas air sungai pada tahun 2025, 2050, 2075 dan 2100. Hasil perbandingan merupakan gambaran sensitivitas sub DAS Sumani dalam merespon fluktuasi curah hujan pada skenario perubahan iklim. Tahun 2005 dipilih sebagai *existing condition* berkaitan dengan ketersediaan data citra Landsat untuk mengetahui penggunaan lahan di wilayah penelitian.

Data curah hujan pada skenario perubahan iklim yang digunakan dalam penelitian ini adalah model analisis yang dikembangkan oleh *Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CCCma) Couple General Circulation Model* generasi kedua (CGCM2) dengan menggunakan skenario emisi IPCC SRES A2 dan B2. (IPCC TAR 2001). Data curah hujan pada CCCma CGCM2 berupa data grid dengan resolusi $3,75^{\circ} \times 3,75^{\circ}$ (http://www.ipcc-data.org/sres/cgcm2_download.html).

Untuk mendapatkan data curah hujan di wilayah penelitian, maka dilakukan interpolasi menggunakan software ArcView/GIS yang dilengkapi dengan spatial analysis (interpolasi grid) (ESRI, 1996). Data hujan pada skenario perubahan iklim yang digunakan adalah data bulanan pada tahun 2025, 2050, 2075 dan 2100. Sedangkan data observasi sebagai *existing condition* adalah data hasil pengukuran curah hujan dengan alat ARG pada tahun 2005 di wilayah penelitian (pos ARG Sumani) yang juga digunakan untuk menentukan nilai intensitas energi (*storm event*) dari curah hujan (meter-ton/ha-cm). Untuk validasi cara interpolasi, maka dibuat regresi sederhana antara jumlah curah hujan bulanan tahun 2005 hasil observasi dengan jumlah curah hujan bulanan tahun 2005 hasil output model CGCM2 baik skenario A2 ataupun B2.

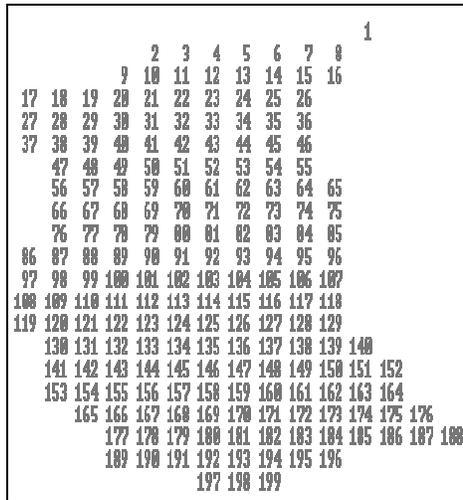
Untuk menaksir parameter-parameter kualitas air sungai digunakan model *Agricultural Non Point Source (AGNPS)* versi 4.03. AGNPS merupakan model penduga erosi skala DAS yang pertama kali dikembangkan oleh Young dkk di *Soil Conservation Research Laboratory, (SCRL), United State Departement of Agricultur-Agricultur Research Service (USDA-ARS), Morris, Minnesota* pada tahun 1987 untuk mengevaluasi alternatif manajemen lahan. Selain laju erosi, output dari model AGNPS adalah jumlah dan laju aliran permukaan, hasil sedimen, laju deposisi sedimen, konsentrasi Nitrogen, Phospor dan COD. (Yagow, 1997).

Input data entry model AGNPS diperoleh dengan melakukan prosesing data DEM dengan menggunakan dengan software ArcView/GIS yang dilengkapi dengan analisa spasial. DEM merupakan suatu data yang bertipe raster yang didalamnya mengandung informasi spasial berupa distribusi elevasi yang dapat secara otomatis mendeliniasi suatu DAS. Selain DEM, sumber lain sebagai input data entry model AGNPS adalah penggunaan lahan. (Matamoros, 2004). Proses selanjutnya yang dilakukan oleh

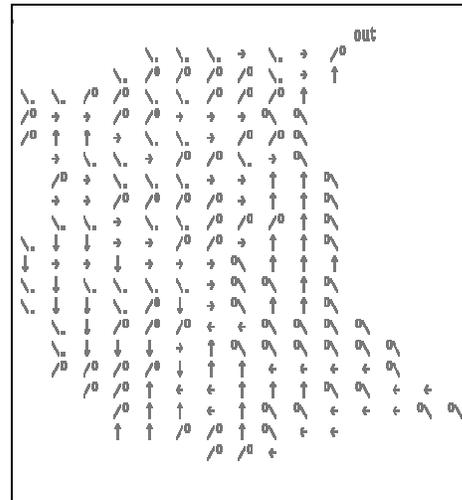
software ArcView terhadap data DEM, antara lain adalah: menghitung rata-rata elevasi tiap sel, menghitung arah aliran (*aspect*) dari setiap sel, mencari arah aliran berkumpul (*flow accumulation*), dan melakukan identifikasi outlet dari DAS tersebut (Binger, 2005).

Data-data digital yang digunakan dalam penelitian ini adalah: data DEM tahun 2005 dari citra satelit SRTM dengan resolusi 30 menit, citra Landsat TM tahun 2005 untuk penggunaan lahan dan peta rupa bumi tahun 2000 dari Dirjen Topografi Angkatan Darat untuk batas administrasi.

Prosesing DEM menghasilkan deliniasi wilayah sub sub DAS Sumani yang terbagi dalam 199 sel dengan luas masing-masing sel 15,62 acre (6,25 ha = 250 m x 250 m), arah aliran dan outlet seperti terlihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Jumlah dan nomor sel sub sub DAS Sumani, Sumber : Pengolahan data DEM



Gambar 4. Arah aliran dan outlet sub sub DAS Sumani, Sumber: Pengolahan data DEM

Hasil keluaran model AGNPS yang digunakan untuk penaksiran adalah keluaran parameter-parameter kualitas air sungai di outlet dari sub sub DAS Sumani. Outlet dari suatu DAS dapat menggambarkan seluruh kawasan DAS karena outlet suatu DAS merupakan titik kontrol dari seluruh kawasan DAS (Suripin, 2004)

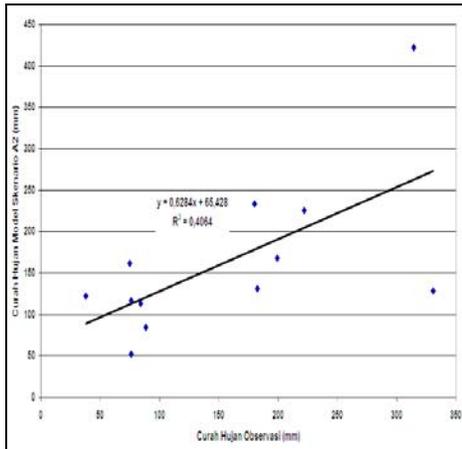
Sensitivitas relatif parameter-parameter kualitas air sungai merupakan nilai absolut dari prosentase perbandingan antara parameter-parameter kualitas air sungai pada skenario perubahan iklim dengan dengan parameter-parameter kualitas air sungai pada *existing condition* (Booty, 2003).

Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa penggunaan lahan dari tahu 2005 hingga 2100 tidak pernah mengalami perubahan, sehingga hanya faktor curah hujan yang menjadi variabel bebas. Hal ini dilakukan untuk lebih dapat melihat respon kondisi lokal (DAS) terhadap perubahan iklim global.

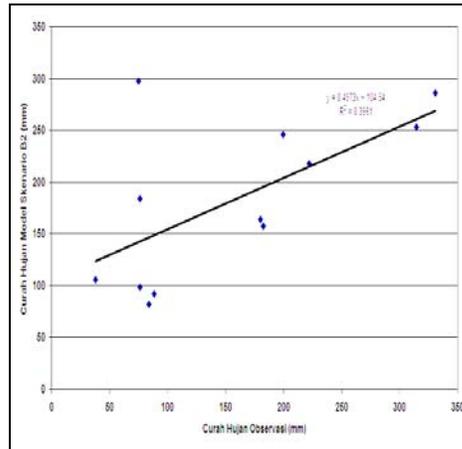
3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk validasi cara interpolasi curah hujan hasil model di wilayah penelitian digunakan regresi sederhana. Hasil regresi antara data curah hujan observasi dan hasil model CGCM2 pada tahun 2005 pada skenario A2 dan B2 masing-masing sebesar 0,64 dan 0,63, seperti terlihat pada Gambar 5 dan 6. Data jumlah curah hujan tahun 2005 hasil observasi dan jumlah curah hujan hasil interpolasi dari model CGCM2 pada skenario A2 dan B2 tahun 2025, 2050, 2075 dan 2100 di wilayah penelitian seperti terlihat pada Tabel 1. Sedangkan besarnya perbandingan jumlah curah hujan hasil model pada tahun-tahun tersebut dibandingkan curah hujan observasi tahun 2005 seperti terlihat

pada Gambar 7 dan 8. Nilai perbandingan ini dijadikan dasar penentuan nilai *storm event* pada tahun-tahun skenario perubahan iklim.



Gambar 5. Regresi linier curah hujan observasi dan curah hujan model CGCM2 A2 tahun 2005, Sumber : pengolahan data

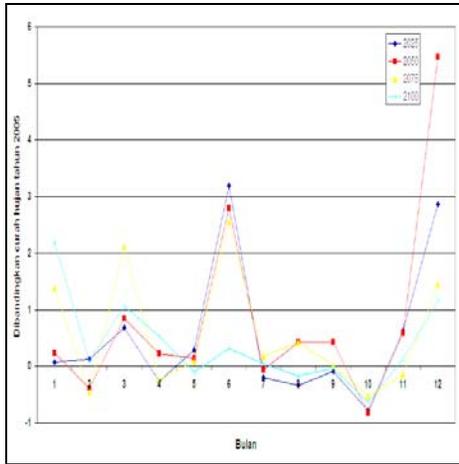


Gambar 6. Regresi linier curah hujan observasi dan curah hujan model CGCM2 B2 tahun 2005, Sumber : pengolahan data

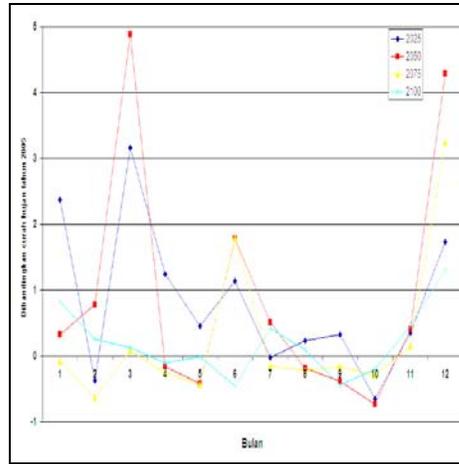
Tabel 1. Jumlah Curah Hujan Hasil Observasi dan Hasil Model CGCM2 Pada Skenario A2 dan B2 Tahun 2005 di Wilayah Penelitian

| | 2005 | 2025 | | 2050 | | 2075 | | 2100 | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Obs | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 |
| Jan | 180,0 | 191,8 | 607,0 | 223,2 | 239,4 | 429,9 | 165,9 | 574,3 | 427,0 |
| Feb | 182,5 | 205,4 | 115,5 | 110,2 | 324,5 | 98,3 | 67,0 | 200,1 | 165,0 |
| Mar | 76,0 | 128,0 | 316,4 | 140,3 | 447,4 | 237,3 | 82,4 | 156,6 | 132,2 |
| Apr | 314,5 | 232,1 | 704,3 | 385,2 | 263,3 | 236,8 | 235,0 | 484,2 | 377,7 |
| Mei | 199,5 | 257,1 | 290,3 | 226,3 | 116,7 | 215,4 | 113,1 | 179,5 | 167,0 |
| Jun | 38,0 | 159,2 | 81,2 | 144,4 | 105,8 | 135,1 | 105,9 | 49,8 | 67,2 |
| Jul | 76,0 | 61,1 | 74,3 | 70,8 | 115,3 | 89,5 | 64,9 | 79,8 | 73,4 |
| Ags | 88,5 | 58,7 | 109,5 | 126,0 | 71,9 | 126,3 | 69,0 | 73,6 | 92,5 |
| Sep | 84,0 | 76,6 | 111,6 | 120,0 | 52,1 | 85,6 | 70,7 | 80,6 | 63,6 |
| Okt | 331,0 | 72,4 | 116,8 | 58,1 | 86,7 | 156,3 | 235,1 | 121,4 | 102,9 |
| Nov | 222,0 | 361,0 | 299,7 | 352,3 | 312,8 | 191,0 | 256,8 | 250,7 | 326,1 |
| Des | 75,0 | 290,0 | 205,2 | 484,9 | 397,0 | 183,7 | 318,4 | 161,3 | 372,3 |

Gambar 7 memperlihatkan perbandingan jumlah curah hujan hasil model skenario emisi A2 dibandingkan jumlah curah hujan hasil observasi tahun 2005 menunjukkan adanya nilai perbandingan dengan konsistensi positif untuk bulan Januari, Maret, Juni dan Desember, yang berarti jumlah curah hujan pada bulan-bulan tersebut pada tahun 2025, 2050, 2075 dan 2100 lebih besar dibandingkan jumlah curah hujan pada bulan-bulan yang sama pada tahun 2005, dengan nilai perbandingan terbesar bulan Desember 2025. Perbandingan dengan nilai negatif terjadi pada bulan Oktober dengan nilai perbandingan yang lebih kecil. Curah hujan hasil model pada skenario ini juga memperlihatkan pada bulan Juni, jumlah curah hujan lebih banyak sekitar tiga kali lipat dibandingkan curah hujan bulan Juni 2005 kecuali untuk jumlah curah hujan bulan Juni 2100 yang kurang dari setengah kali lipatnya. Secara keseluruhan jumlah curah hujan tahun 2075 dan 2100 lebih kecil dibandingkan tahun-tahun lainnya.



Gambar 7. Perbandingan jumlah curah hujan hasil model skenario emisi A2 dibandingkan jumlah curah hujan hasil observasi tahun 2005
Sumber : pengolahan data



Gambar 8. Perbandingan jumlah curah hujan hasil model skenario emisi B2 dibandingkan jumlah curah hujan hasil observasi tahun 2005
Sumber : pengolahan data

Pada skenario emisi B2, nilai perbandingan dengan konsistensi positif juga terjadi pada bulan Januari, Maret, Juni dan Desember namun tidak terjadi untuk semua tahun kecuali bulan Desember, dengan nilai perbandingan terbesar pada bulan Maret 2050 yang hampir mencapai lima kali lipat dibandingkan curah hujan bulan Maret 2005. Seperti pada skenario emisi A2, perbandingan dengan nilai negatif juga terjadi pada bulan Oktober. Jumlah curah hujan pada tahun 2075 dan 2100 skenario emisi ini lebih rendah dibandingkan tahun 2025 dan 2050, seperti yang terlihat pada Gambar 8.

Besarnya parameter-parameter kualitas air sungai hasil keluaran model AGNPS sangat dipengaruhi besarnya debit yang membawa sedimen didalam air sungai. Besarnya debit puncak tergantung pada jumlah curah hujan dan besarnya *storm event*. Pada tahun 2005, jumlah curah hujan terbesar terjadi pada bulan Oktober, sebesar 331 mm dengan *storm event* (intensitas energi) 35,9 m-ton/ha-cm yang menghasilkan debit puncak sebesar 75,1 m³/det. Sedangkan curah hujan terkecil sebesar 38 mm dengan intensitas energi 14,6 m-ton/ha-cm dengan debit puncak sebesar 0,5 m³/det yang terjadi pada bulan Juni. Pada Tabel 2 terlihat variasi besaran dari parameter-parameter kualitas air terkait dengan debit puncak, jumlah curah hujan dan besarnya intensitas energi.

Pada Tabel 3 ditampilkan nilai absolut prosentase perubahan debit puncak pada skenario perubahan iklim jika dibandingkan dengan debit puncak pada *existing condition*. Pada tabel tersebut dapat dilihat pada bulan Maret dan Desember besarnya debit puncak lebih besar dibandingkan pada bulan-bulan lainnya.

Tabel 2. Parameter-Parameter Kualitas Air Sungai di Outlet Sub Sub DAS Sumani Tahun 2005 (*Existing Condition*)

| | Storm Event (m-ton/ha-cm) | Konsentrasi Nitrogen (ppm) | Loading Nitrogen (kg) | Konsentrasi Phospor (ppm) | Load ng Phospor (kg) | COD (ppm) | Sedimen (ton) | Debit Puncak (m ³ /det) |
|-----|---------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|-----------|---------------|------------------------------------|
| Jan | 20,3 | 1,21 | 3,96 | 0,14 | 0,50 | 68 | 1,17 | 27,7 |
| Feb | 17,5 | 1,19 | 4,03 | 0,14 | 0,50 | 68 | 1,01 | 28,4 |
| Mar | 13,6 | 3,85 | 2,05 | 0,67 | 0,35 | 70 | 0,94 | 4,9 |
| Apr | 18,4 | 0,08 | 7,85 | 0,90 | 0,64 | 68 | 1,06 | 68,7 |
| Mei | 10,9 | 1,11 | 4,46 | 0,12 | 0,50 | 68 | 0,63 | 33,3 |

| | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|----|------|------|
| Jun | 14,6 | 0,11 | 0,50 | 1,94 | 0,07 | 74 | 0,84 | 0,5 |
| Jul | 8,3 | 3,85 | 2,05 | 0,67 | 0,35 | 70 | 0,48 | 4,9 |
| Ags | 13,6 | 2,97 | 2,26 | 0,50 | 0,35 | 69 | 0,78 | 7,1 |
| Sep | 12,5 | 3,28 | 2,19 | 0,56 | 0,35 | 69 | 0,72 | 6,2 |
| Okt | 35,9 | 0,89 | 8,35 | 0,07 | 0,71 | 68 | 2,07 | 75,1 |
| Nov | 23,7 | 1,05 | 4,95 | 0,11 | 0,50 | 68 | 1,36 | 39,1 |
| Des | 4,8 | 3,85 | 2,05 | 0,67 | 0,35 | 70 | 0,28 | 4,9 |

Tabel 3. Prosentase Perubahan Debit Puncak (*Peak Flow*) di Outlet Sub Sub DAS Sumani Pada Skenario Perubahan Iklim

| | Tahun 2025 | | Tahun 2050 | | Tahun 2075 | | Tahun 2100 | |
|-----|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 |
| Jan | 12 | 526 | 44 | 17 | 290 | 14 | 481 | 287 |
| Feb | 22 | 58 | 61 | 24 | 69 | 88 | 17 | 16 |
| Mar | 201 | 1320 | 260 | 78 | 791 | 17 | 425 | 224 |
| Apr | 39 | 206 | 35 | 1100 | 36 | 36 | 87 | 31 |
| Mei | 32 | 81 | 22 | 77 | 13 | 64 | 17 | 27 |
| Jun | 406 | 974 | 3416 | 1972 | 2979 | 1853 | 189 | 532 |
| Jul | 51 | 8 | 16 | 48 | 44 | 31 | 9 | 8 |
| Ags | 31 | 55 | 109 | 45 | 109 | 47 | 36 | 6 |
| Sep | 27 | 86 | 112 | 112 | 7 | 33 | 7 | 51 |
| Okt | 94 | 83 | 97 | 251 | 71 | 42 | 82 | 87 |
| Nov | 115 | 63 | 104 | 13 | 22 | 27 | 23 | 84 |
| Des | 1132 | 609 | 2521 | 78 | 480 | 1320 | 372 | 1707 |

Klasifikasi tingkat sensitivitas relatif dibagi mejadi yang dibagi kedalam tiga kelas; rendah, sedang dan tinggi yang diperoleh dari klasifikasi nilai absolut dari prosentase perbandingan yang terjadi pada masing-masing parameter dengan nilai seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Tingkat Sensitivitas Relatif

| Nitrogen | | Phospor | | COD | |
|----------|-----------|---------|------------|--------|-------|
| Kelas | Nilai | Kelas | Nilai | Kelas | Nilai |
| Rendah | 0 – 205 | Rendah | 0 – 486 | Rendah | 0 – 2 |
| Sedang | 206 – 411 | Sedang | 487 – 973 | Sedang | 3 – 5 |
| Tinggi | 412 – 617 | Tinggi | 974 – 1460 | Tinggi | 5 – 8 |

Tabel 5. Sensitivitas Relatif Konsentrasi Nitrogen di Outlet Sub Sub DAS Sumani Pada Skenario Perubahan Iklim

| | Tahun 2025 | | Tahun 2050 | | Tahun 2075 | | Tahun 2100 | |
|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 |
| Jan | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Feb | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang | Rendah | Rendah |
| Mar | Rendah | Rendah | Rendah | Tinggi | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Apr | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Rendah | Tinggi | Tinggi | Sedang | Tinggi |
| Mei | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Jun | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Tinggi |
| Jul | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Ags | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |

| | | | | | | | | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Sep | Rendah |
| Okt | Sedang | Rendah | Sedang | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Nov | Rendah |
| Des | Rendah | Rendah | Rendah | Tinggi | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Sumry | Rendah |

Tabel 6. Sensitivitas Relatif Nitrogen pada Sedimen di Outlet Sub Sub DAS Sumani Pada Skenario Perubahan Iklim

| | Tahun 2025 | | Tahun 2050 | | Tahun 2075 | | Tahun 2100 | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 |
| Jan | Rendah | Sedang | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang | Rendah |
| Feb | Rendah |
| Mar | Rendah | Sedang | Rendah | Tinggi | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Apr | Rendah |
| Mei | Rendah |
| Jun | Tinggi | Sedang | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Sedang | Rendah | Sedang |
| Jul | Rendah |
| Ags | Rendah |
| Sep | Rendah |
| Okt | Rendah |
| Nov | Rendah |
| Des | Rendah | Rendah | Tinggi | Tinggi | Rendah | Sedang | Rendah | Sedang |
| Sumry | Rendah |

Tabel 7. Sensitivitas Relatif Konsentrasi Fospor di Outlet Sub Sub DAS Sumani Pada Skenario Perubahan Iklim

| | Tahun 2025 | | Tahun 2050 | | Tahun 2075 | | Tahun 2100 | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 |
| Jan | Rendah |
| Feb | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang | Rendah | Rendah |
| Mar | Rendah |
| Apr | Rendah |
| Mei | Rendah |
| Jun | Rendah |
| Jul | Rendah |
| Ags | Rendah |
| Sep | Rendah |
| Okt | Sedang | Rendah | Tinggi | Sedang | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang |
| Nov | Rendah |
| Des | Rendah |
| Sumry | Rendah |

Tabel 8. Sensitivitas Relatif Phospor pada Sedimen di Outlet Sub Sub DAS Sumani Pada Skenario Perubahan Iklim

| | Tahun 2025 | | | | Tahun 2075 | | Tahun 2100 | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 |
| Jan | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang | Rendah | Rendah | Rendah |
| Feb | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang | Rendah | Rendah |
| Mar | Rendah |
| Apr | Rendah |
| Mei | Rendah |
| Jun | Sedang | Rendah | Sedang | Sedang | Sedang | Sedang | Rendah | Rendah |
| Jul | Rendah |
| Ags | Rendah |
| Sep | Rendah |
| Okt | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang | Rendah |
| Nov | Rendah | Rendah | Rendah | Tinggi | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Des | Rendah |
| Sumry | Rendah |

Tabel 9. Sensitivitas Relatif Konsentrasi COD di Outlet Sub Sub DAS Sumani Pada Skenario Perubahan Iklim

| | Tahun 2025 | | Tahun 2050 | | Tahun 2075 | | Tahun 2100 | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 | A2 | B2 |
| Jan | Rendah |
| Feb | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang | Rendah | Rendah |
| Mar | Rendah | Sedang | Rendah | Sedang | Sedang | Rendah | Sedang | Rendah |
| Apr | Rendah |
| Mei | Rendah |
| Jun | Sedang | Sedang | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Sedang | Sedang |
| Jul | Rendah |
| Ags | Rendah |
| Sep | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Okt | Sedang | Rendah | Sedang | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| Nov | Rendah |
| Des | Sedang |
| Sumry | Rendah |

Tingkat sensitivitas relatif konsentrasi Nitrogen pada skenario perubahan iklim secara umum berada pada klasifikasi rendah, hal yang sama juga terjadi dengan jumlah kandungan Nitrogen pada sedimen, seperti yang terlihat pada Tabel 5 dan 6. Tingkat sensitivitas relatif dengan klasifikasi sedang dan tinggi terjadi pada beberapa bulan terutama pada bulan April, Juni dan Desember, baik pada skenario emisi A2 maupun B2. Hal ini terkait dengan besarnya debit puncak yang terjadi pada bulan-bulan tersebut yang relatif lebih besar jika dibandingkan debit puncak pada bulan yang sama tahun 2005.

Secara umum, tingkat sensitivitas relatif konsentrasi Phospor maupun jumlah kandungan Phospor dalam sedimen juga berada pada klasifikasi rendah, seperti yang terlihat pada Tabel 7 dan 8. Perubahan dari debit puncak yang terjadi tidak direspon dengan baik oleh Phospor baik dalam bentuk larutan maupun sedimen, hal ini diduga

berkaitan dengan karakteristik biogeofisik dari DAS dan sifat dari sifat fisik maupun kimia zat Phospor itu sendiri.

Tingkat sensitivitas relatif konsentrasi COD dapat dikatakan masih mengikuti perubahan dari debit puncak yang terjadi, seperti yang terlihat pada bulan Maret, Juni dan Desember yang berada pada kalsifikasi sedang dan tinggi.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa secara umum sub sub DAS Sumani mempunyai tingkat sensitivitas relatif yang rendah dalam merespon terjadinya fluktuasi jumlah curah hujan sebagai akibat dari perubahan iklim global, yang berarti pengaruh curah hujan pada skenario perubahan iklim terhadap parameter-parameter kualitas air relatif sama dengan pengaruh curah hujan pada tahun 2005.

Penelitian lebih lanjut disarankan untuk menggunakan beberapa skenario perubahan penggunaan lahan sebagai dasar untuk membuat perbandingan.

5. DAFTAR ACUAN

- Bingner, Ronald L. 2005. *AGNPS Installation Procedures, Version 3*. USDA-ARS, National Sedimentation Laboratory, Oxford. 49 p.
- Booty, William, G., 2003. *Assessing the Sensitivity of Watershed Stream Water Quality to Changes in Water Quantity Caused by Climate Change*. National Water Research Institute, Canada. 18 p.
- ESRI. 1996. *Using The ArcView Spatial Analyst*. Environmental Systems Research Intitute, Inc (ESRI), Redland, CA, USA. 148 p.
- Fedorko, Evan J., Robert Gilmore Pontius Jr, Stephen P. Aldrich, Luc Claesens, Charles Hopkinson Jr, and Wilfred M. Wolheim. 2005. Spatial Distribution of Land Type in Regression Model of Pollutant Loading. *Journal of Spatial Hydrology, Vol 5, No. 2. 21 p*
- Hardwinarto, S, Slamet J, Eko P, Ari K dan Rusdiansyah. 2001. *Kajian Erosi dan Sedimentasi Pada DAS Teluk Balikpapan Kalimantan Timur*. Kelompok Kerja Erosi dan Sedimentasi, Proyek Pengelolaan Sumber Daya Pesisir (CRMP), USAID-BAPPENAS dan USAID-CRC/URI. Jakarta. 33 hal.
- Masnang, Andi. 2003. *Konversi Penggunaan Lahan Kawasan Hulu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Sumber Daya Air di Kawasan Hilir*. Makalah Pengantar Falsafah Sains, Program Pasca Sarjana (S3), IPB, Bogor.12 hal.
- Matamoros, David. 2004. *Predicting River Concentration Of Pesticides From Banana Plantations Under Data-Poor Condition*. Dissertation Doctor of Philosophy (Ph.D) in Applied Biological Sciences, Departement of Applied Mathematics and Process Control, University of Gent. Belgium. 188 p. ISBN 90-5089-029-9
- Suripin. 2004. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Penerbit Andi Offset. Yogyakarta. 199 hal.
- Wang, Xixi and Peilian Cui. 2005. *Support Soil Conservation Practices by Identifying Critical Erosion Areas within an American Watershed Using the GIS-AGNPS Model*. *Journal of Spatial Hydrology, Vol 5, No. 2. 13 p.*
- Yagow, Eugene R. 1997. *Auxiliary Procedures for the AGNPS Model in Urban Fringe Watershed*. Dissertation Doctor of Philosophy (Ph.D) in Biological Sistem Engineering. Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, Virginia. 140 p.

MENILAI KUALITAS UDARA BUKIT KOTOTABANG BERDASARKAN DATA AEROSOL PM₁₀

Herizal & Yosfi Andri

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat

Abstract

Project to measure Aerosol PM₁₀ data at Bukit Kototabang has been conducted since the beginning of 2004 using instrument called BAM 1020. Five years data based on operating of BAM 1020 has been collected to study air quality of Bukit Kototabang. The purpose of the study was to quantify air quality condition of Bukit Kototabang based on Aerosol PM₁₀ data. Result of the study has shown us 93.6 % Aerosol PM₁₀ data are categorized into good air, 5,8 % data are categorized as moderate air and 0,6% data are categorized as unhealthy air. In 2005 two percent Aerosol PM₁₀ data are categorized as unhealthy air whereas in 2006 one percent Aerosol PM₁₀ data are categorized as unhealthy air. For next study it is suggested to include other air quality parameters such as surface ozone, carbon monoxide to study air quality of Bukit Kototabang.

Keywords : Aerosol PM₁₀, Air Quality, Bukit Kototabang

1. PENDAHULUAN

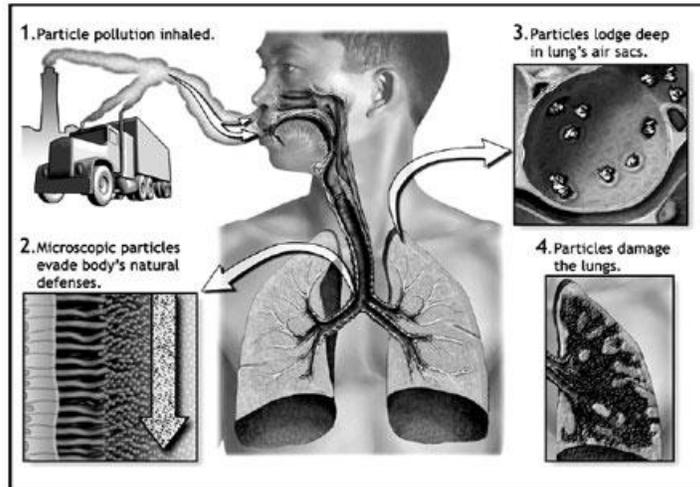
Bukit Kotabang merupakan salah satu tempat untuk mengukur referensi udara bersih dunia. Bukit ini terletak pada kordinat 100,32 Bujur Timur, 0,20 Lintang Selatan di ketinggian 865 meter di atas muka laut. Bukit Kototabang dipilih sebagai tempat untuk mengukur referensi udara bersih, karena bukit ini berada jauh dari sumber-sumber pencemaran udara antropogenik seperti industri, jalan raya dan pemukiman. Jalan raya dan pemukiman yang merupakan salah satu sumber pencemaran udara antropogenik berada di kaki bukit dengan jarak sekitar 3 kilometer dari Bukit Kototabang, sehingga tempat ini diharapkan ideal untuk mengukur referensi udara bersih. Meskipun secara asumsi tempat ini cocok untuk pengamatan udara bersih, namun udara bukanlah sistem yang dapat diisolasi, sehingga polutan dari luar masih mungkin masuk ke kawasan udara Bukit Kototabang.

Aerosol PM₁₀ merupakan salah satu indikator kualitas udara. Pada daerah yang memiliki kondisi udara bersih konsentrasi aerosol pada umumnya rendah, sedangkan pada daerah dengan pencemaran udara tinggi konsentrasi aerosol juga tinggi. Di daerah terpencil konsentrasi Aerosol PM₁₀ biasanya sekitar 20 µg/m³ (Seinfeld, 1975). Sedangkan di daerah perkotaan konsentrasinya berkisar 60 – 2000 µg/m³ (Kumar, 1994). Saat kejadian kebakaran hutan konsentrasi Aerosol PM₁₀ dapat meningkat beberapa kali dari konsentrasi biasanya, misalkan saat terjadi kebakaran hutan besar di kawasan Asia Tenggara pada tahun 1998 konsentrasi Aerosol PM₁₀ di Brunei sempat tercatat berkisar antara 500 - 1000 µg/m³ selama 1 hingga 6 jam meskipun konsentrasi rata-rata hariannya hanya 109.9 µg/m³ (Radojevic dan Hasan, 1999).

Aerosol didefinisikan sebagai partikel padat dan atau cair yang melayang dalam medium gas. Dalam kaca mata ilmu meteorologi medium dimana aerosol berada adalah udara. Sesuai dengan definisi yang diberikan Reist aerosol terdiri dari dua bagian, yaitu : bagian yang berupa padatan dan bagian yang berupa cairan. Untuk menilai kualitas udara aerosol yang diukur orang adalah aerosol dalam bentuk padatan. Aerosol dalam bentuk padatan dikenal juga dengan sebutan *particulate matter* atau PM. Aerosol ini mempunyai rentang ukuran beragam dari diameter dari 0.01 µm hingga 100 µm.

Bagian aeroaol padatan dengan ukuran diameter kurang dari 10 μm dinamakan Aerosol PM_{10} .

Aerosol PM_{10} mempunyai dampak merugikan pada kesehatan manusia karena kemampuan partikel tersebut mencapai bagian dalam saluran pernafasan dan mengendap dalam paru-paru. Oleh karena itu pada tahun 1987 Badan Perlindungan Lingkungan Amerika (EPA = *Environmental Protection Agency*) mengganti salah satu parameter standar kualitas udara dari TSP (*Total Suspanded Particulate*) ke Aerosol PM_{10} .



Gambar 1. Proses Aerosol PM_{10} masuk dan mengendap dalam paru-paru

Selain berpengaruh pada kesehatan, partikel Aerosol PM_{10} bersama dengan ozon permukaan membentuk suatu fenomena yang dinamakan asap kabut (*smog*). Asap kabut dapat bertahan lebih lama dari kabut biasa. Asap kabut tidak akan hilang dengan datangnya sinaran matahari. Yang dapat menghilangkan asap kabut hanya hujan yang cukup lebat. Oleh karena itu fenomena asap kabut sering menimbulkan masalah diperkotaan selama musim kemarau karena mengganggu jarak pandang yang membahayakan di sektor transportasi dan juga mengganggu keindahan kota. Hal yang sama juga dapat terjadi selama terjadi episode kebakaran hutan dan lahan.



Gambar 2. Potret kota dengan konsentrasi PM_{10} rendah dan PM_{10} tinggi.

Aerosol yang berada di atmosfer diketahui berasal dari dua sumber, yaitu sumber alamiah dan sumber buatan atau aktivitas manusia (antropogenik). Aerosol yang berasal dari sumber alamiah, seperti : debu yang dibangkitkan oleh angin, partikel garam laut, debu dari aktivitas gunung berapi dan asap yang dihasilkan oleh kebakaran hutan alami. Sedangkan aerosol yang dihasilkan oleh aktivitas manusia, misalkan asap yang dihasilkan mesin-mesin pabrik, asap yang dihasilkan oleh aktivitas transportasi,

asap yang dihasilkan oleh pembakaran hutan dan lahan serta debu yang dihasilkan oleh pekerjaan konstruksi (Graedel dan Crutzen, 1993). Debu adalah aerosol yang dihasilkan oleh proses mekanis, sedangkan asap adalah aerosol yang dihasilkan oleh proses pembakaran.

Dilihat dari komposisi kimianya aerosol atmosfer umumnya terdiri dari sulfat, nitrat, ammonia, sodium, klorida, logam-logam lacak (*trace metals*), elemen kerak bumi (*crustal element*), air dan material karbon (Seinfeld dan Pandis, 1998). Komponen sulfat umumnya diturunkan dari oksidasi senyawa yang mengandung sulfur seperti sulfur dioksida (SO₂) dan dimetil sulfid (DMS) baik alamiah maupun antropogenik. Nitrat umumnya terbentuk dari oksidasi nitrogen dioksida yang ada di atmosfer (NO₂). Sulfat dan nitrat pada awalnya terbentuk sebagai asam sulfat (H₂SO₄) dan asam nitrat (HNO₃), tetapi selanjutnya di netralkan oleh ammonia atmosfer membentuk garam-garam ammonia.

Klorida juga masuk ke dalam atmosfer sebagai hasil netralisasi uap asam klorida. (HCl) yang diemisi dari sumber-sumber seperti *incinerator*, dan pembangkit tenaga listrik. Tetapi sumber utama dari klorida adalah garam laut (*sea spray*) bahkan pada lokasi yang berjarak bermil-mil dari pantai unsur garam laut masih terpantau. Materi kerak bumi (*crustal material*) termasuk debu tanah dan mineral yang dibawa angin komposisi kimianya umumnya bervariasi yang jenisnya tergantung pada kondisi geologi dan kondisi permukaan bumi.

Bagian karbon dari aerosol terdiri dari karbon elemental dan karbon organik. Karbon elemental juga biasa disebut karbon hitam diemisi langsung ke dalam atmosfer utamanya dari proses pembakaran. Sedangkan partikel yang mengandung karbon organik dapat secara langsung diemisi ke atmosfer (dari sumber utama seperti pembakaran biomassa dan proses pembakaran). Partikel yang mengandung karbon organik dapat juga masuk ke dalam atmosfer melalui pembentukan aerosol organik kedua

Untuk menilai apakah Bukit Kototabang cocok sebagai tempat referensi udara bersih maka data hasil pengukuran Aerosol PM₁₀ Bukit Kototabang sejak tahun 2004 dianalisis. Pendekatan yang digunakan untuk menganalisis kualitas udara Bukit Kototabang adalah dengan mengelompokkan data-data hasil pengukuran berdasarkan kriteria yang ada pada Indeks Standar Pencemaran Udara. Kualitas udara berdasarkan konsentrasi Aerosol PM₁₀ memiliki lima kriteria, yaitu : baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat dan berbahaya. Kualitas udara dikatakan baik jika konsentrasi rata-rata harian Aerosol PM₁₀ yang terukur kurang dari 50 µg/m³, sedangkan kualitas udara dikatakan cukup jika konsentrasi rata-rata harian Aerosol PM₁₀ berkisar antara 50 – 150 µg/m³. Selanjutnya kualitas udara dikatakan tidak sehat jika konsentrasi rata-rata harian Aerosol PM₁₀ berkisar antara 150 µg/m³ sampai 350 µg/m³ dan kualitas udara dikategorikan sangat tidak sehat jika konsentrasi rata-rata harian Aerosol PM₁₀ berkisar antara 350 µg/m³ sampai 420 µg/m³. Kriteria terakhir udara dikatakan dalam kondisi berbahaya jika konsentrasi rata-rata harian yang terukur lebih besar dari 420 µg/m³.

2. METODE

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, tempat penelitian ini dilakukan, mengoperasikan BAM 1020 untuk mengukur konsentrasi Aerosol PM₁₀. BAM 1020 bekerja berdasarkan prinsip beda pelemahan intensitas sinar beta yang melewati filter antara sebelum filter dipaparkan (*exposed*) dengan udara ambien dan sesudah filter tersebut dipaparkan dengan udara ambien.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : I = Intensitas sinar beta terukur setelah filter dipaparkan udara ambien
 I₀ = Intensitas sinar beta yang terukur sebelum filter dipaparkan udara ambien
 μ = koefisien absorpsi sinar beta

x = rapat masa deposisi yang ada pada filter

Persamaan di atas sesuai dengan hukum Beer-Lambert, maka harga x dapat dicari solusinya sebagai berikut :

$$X = -\frac{1}{\mu} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \dots\dots\dots (2)$$

Jika X sudah dapat diketahui maka konsentrasi Aerosol PM_{10} yang ada dalam udara ambien dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$C = \frac{AX}{V} \dots\dots\dots (3)$$

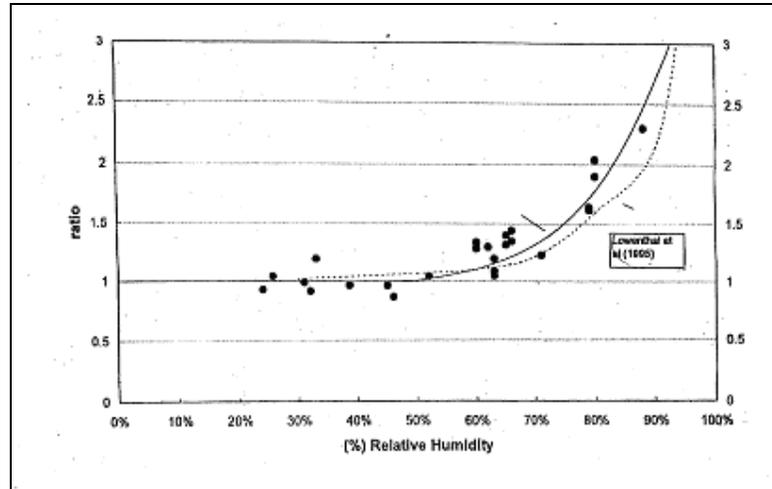
Dimana : C = konsentrasi Aerosol PM_{10} dalam udara ambien
 A = luasan tempat Aerosol PM_{10} terkumpul
 V = volume udara terkumpul selama periode sampling

Instrumen BAM 1020 terdiri dari 3 bagian yaitu : inlet udara masuk, heater dan Monitor. Inlet tempat udara masuk pada BAM-1020 berbentuk siklon oleh karena itu sering dinamakan siklon inlet. Siklon inlet berfungsi menyaring aerosol yang akan masuk ke dalam monitor. Melalui siklon inlet hanya partikel aerosol dengan ukuran kurang $10 \mu m$ yang dapat mengikuti aliran udara yang kemudian dikumpulkan dalam pita filter yang terbuat dari fiber.



Gambar 3. Bagian dari instrumen BAM 1020

Untuk daerah tropis yang memiliki kelembaban udara tinggi maka diperlukan heater agar udara yang masuk terkendali kelembabannya. Pengendalian kelembaban udara yang masuk ke dalam monitor sangat diperlukan karena jika kondisi kelembaban filter bergerak naik di atas 55% maka aerosol yang terkumpul pada filter akan menyerap uap air yang menyebabkan seolah-olah telah terjadi peningkatan masa pada filter sehingga menyebabkan kesalahan dalam menentukan konsentrasi aerosol yang terukur.



Gambar 4. Rasio RH Filter dengan bias pengukuran

Monitor dalam instrumen BAM-1020 tidak dimaksudkan sebagai sarana tampilan saja, akan tetapi merupakan alat pengendali sekaligus analyzer untuk mengetahui konsentrasi Aerosol PM₁₀ yang ada dalam satu volume udara. Monitor ini mengendalikan debit udara yang masuk sesuai dengan setting peralatan yaitu 16,7 liter per menit. Monitor yang merupakan bagian terpenting dari BAM 1020 mendeteksi pelemahan partikel beta yang melalui filter antara sebelum dan sesudah dipaparkan (*exposed*) dengan udara ambien yang mengumpulkan material aerosol. Massa aerosol yang terkumpul pada pita filter ditentukan oleh pelemahan spesifik fluks partikel beta oleh filter yang telah dipaparkan dengan udara luar. Pelemahan spesifik fluks partikel beta sebanding dengan massa aerosol yang terkandung dalam pita filter. Selanjutnya masa material yang di deteksi oleh pelemahan partikel beta dibagi oleh volume udara yang dikumpulkan selama periode 1 jam menghasilkan massa per satuan volume yang tidak lain adalah konsentrasi aerosol yang terukur rata-rata pada jam tersebut.

Data luaran (*output*) dari instrumen BAM 1020 adalah data konsentrasi Aerosol PM₁₀ rata-rata dalam satu jam. Sedangkan kualitas udara dengan pendekatan data Aerosol PM₁₀ adalah data rata-rata harian. Oleh karena itu untuk menilai kualitas udara Bukit Kototabang langkah pertama yang dilakukan adalah merubah data rata-rata dalam satu jam menjadi data rata-rata harian agar sesuai dengan pengelompokan kualitas udara berdasarkan ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara) yang kriteria digunakan dalam penelitian ini.

Berdasarkan pendekatan ISPU, ada enam kriteria kualitas udara yang diturunkan dari data rata-rata harian konsentrasi Aerosol PM₁₀ seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1, dibawah ini.

Tabel 1. Hubungan Aerosol PM₁₀ dengan Kualitas Udara

| Kons. Harian PM ₁₀ µg/m ³ | Kualitas Udara Menurut ISPU |
|----------------------------------------------------|--------------------------------|
| 0 - 50 | BAIK |
| 51 - 150 | SEDANG |
| 151 - 350 | TIDAK SEHAT |
| 351 - 420 | SANGAT TIDAK SEHAT |
| 421 - 500 | BERBAHAYA |
| 501 - 600 | SANGAT BERBAHAYA |

Bukit Kototabang sebagai salah satu tempat pengamatan referensi udara bersih terletak pada daerah yang jauh dari sumber pencemaran udara antropogenik. Dengan kondisi yang demikian maka dapat diasumsikan kualitas udara berdasarkan data konsentrasi Aerosol PM₁₀ pada umumnya masuk pada kategori Baik. Namun untuk melihat lebih spesifik tingkat kebaikan kualitas udara di Bukit Kototabang maka data Aerosol PM₁₀ yang masuk dalam kriteria kualitas udara baik ($< 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dikelompokkan kembali menjadi kategori baik seperti yang dapat dilihat dalam Tabel 2, dibawah ini.:

Tabel 2. Aerosol PM₁₀ dengan kons. Kecil dari $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

| Kons. Harian PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Kategori Kualitas Udara Baik |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 0 - 10 | Baik kategori - 1 |
| 11 - 20 | Baik kategori -2 |
| 21 - 30 | Baik kategori - 3 |
| 31 - 40 | Baik kategori - 4 |
| 41 - 50 | Baik kategori - 5 |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat kecukupan data konsentrasi Aerosol PM₁₀ harian Bukit Kotabang pada umumnya berada di atas 80%, kecuali pada tahun 2006 tingkat kecukupan data hanya 63%. Rendahnya tingkat kecukupan data pada tahun 2006 dikarenakan filter fiber sebagai salah satu kelengkapan pengukuran Aerosol PM₁₀ terlambat tiba di stasiun, sehingga dalam beberapa bulan alat tidak dapat dioperasikan. Sedangkan hal lain yang berpengaruh pada tingkat kecukupan data adalah instrumen error sehingga data yang dihasilkan tidak valid dan tidak dimasukkan sebagai data yang akan diolah untuk menilai kualitas udara Bukit Kototabang.

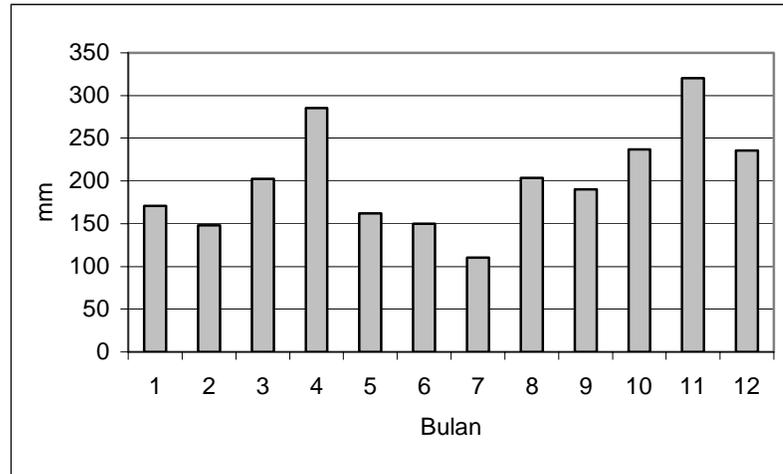
Tabel 3. Tingkat Kecukupan Data

| Tahun | Jumlah Data | Persentase Data Dalam setahun |
|-------|-------------|----------------------------------|
| 2004 | 319 | 87% |
| 2005 | 341 | 93% |
| 2006 | 229 | 63% |
| 2007 | 303 | 83% |
| 2008 | 349 | 96% |

Pergerakan bumi mengelilingi matahari selama satu tahun menyebabkan daerah-daerah ekstra tropis (lintang menengah ke atas) mengalami empat musim yaitu : musim panas, musim gugur, musim dingin dan musim semi. Untuk daerah tropis seperti Indonesia matahari hampir bersinar sepanjang tahun sehingga di daerah tropis tidak dikenal empat musim seperti di daerah lintang menengah keatas. Di Indonesia hanya dikenal musim hujan dan musim kemarau. Suatu periode dikatakan musim hujan jika tiga dasarian berturut-turut, (1 dasarian = 10 hari) curah hujan berjumlah lebih besar atau sama dengan 50 mm. Sehingga dalam satu bulan terdapat curah hujan lebih besar atau sama dengan 150 mm. Jika kriteria tersebut tidak dapat dipenuhi maka periode tersebut dikatakan musim kemarau.

Dari pengukuran curah hujan yang telah dilakukan di Bukit Kototabang maka diketahui bulan April adalah puncak musim hujan pertama, sedangkan bulan November adalah

puncak musim hujan kedua. Selanjutnya bulan Juli masuk pada kriteria musim kemarau. Tipikal curah hujan Bukit Kototabang sepanjang tahun dapat dilihat pada Gambar 5, dibawah ini.



Gambar 5. Tipikal curah hujan Bukit Kototabang

Jika variasi musiman curah hujan digunakan untuk melihat variasi musiman konsentrasi Aerosol PM₁₀, maka terlihat adanya variasi musiman konsentrasi Aerosol PM₁₀ Bukit Kototabang meskipun tidak terlalu jelas. Pada puncak pertama curah hujan, bulan April, konsentrasi Aerosol PM₁₀ cukup rendah sekitar 14 µg/m³. Konsentrasi Aerosol PM₁₀ meningkat lagi pada puncak musim kemarau, bulan Juli, yaitu sekitar 15 – 19 µg/m³. Selanjutnya konsentrasi Aerosol PM₁₀ terendah tercatat pada puncak musim hujan kedua, bulan November, 11 – 12 µg/m³.

Variasi musiman konsentrasi Aerosol PM₁₀ seperti tersebut di atas sesuai dengan logika fisis keberadaan aerosol padatan di udara. Pada musim hujan konsentrasi aerosol akan rendah, karena proses pencucian polutan di atmosfer berlangsung intensif sehingga proses pengendapan yang menyebabkan berkurangnya jumlah aerosol padatan di atmosfer berlangsung efektif. Dengan demikian pada puncak musim hujan udara pada umumnya bersih. Sedangkan pada puncak musim kemarau proses pencucian polutan padatan di atmosfer tidak terjadi bahkan atmosfer mendapat tambahan aerosol dari debu tanah yang diterbangkan angin dikarenakan saat udara kering ikatan partikel tanah di permukaan menjadi rapuh dan mudah lepas kemudian masuk ke dalam atmosfer karena diterbangkan angin. Tabel 4, dibawah ini menggambarkan variasi musiman Aerosol PM₁₀ Bukit Kototabang

Tabel 4. Konsentrasi Musiman Aerosol PM₁₀ (µg/m³)

| Tahun | April | Juli | November |
|-------|-------|------|----------|
| 2004 | 14.9 | 15.3 | 11.8 |
| 2005 | - | 15.9 | 11.0 |
| 2006 | - | 24.5 | 25.5 |
| 2007 | 14.3 | 19.6 | 11.4 |
| 2008 | 13.6 | 18.6 | 12.6 |

Hasil pengolahan data Aerosol PM₁₀ Bukit Kototabang menunjukkan secara umum kualitas udara Bukit Kototabang masuk dalam kategori baik. Kualitas udara Bukit Kototabang masuk dalam kategori baik sesuai dengan dugaan sebelumnya karena lokasi Bukit Kototabang terletak jauh dari sumber-sumber pencemaran udara. Menurut prosentasenya 93,6 % udara Bukit Kototabang masuk ke dalam kategori baik, 5,8 % sedang dan 0,6 % tidak sehat. Sedangkan kategori udara sangat tidak sehat dan berbahaya belum pernah terjadi atau nol persen.

Tabel 5. Prosentase Kualitas Udara Bukit Kototabang, 2004 – 2008

| Tahun | Baik I 0-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Baik II 11-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Baik III 21-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Baik IV 31-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Baik V 41-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|--------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| 2004 | 33% | 40% | 16% | 8% | 3% |
| 2005 | 32% | 48% | 13% | 4% | 3% |
| 2006 | 24% | 38% | 17% | 16% | 5% |
| 2007 | 18% | 56% | 16% | 6% | 4% |
| 2008 | 22% | 54% | 15% | 6% | 3% |
| Rerata | 25,8% | 47,2% | 15,4% | 8% | 3,6% |

Sebenarnya kalau kita perhatikan data-data dari Tabel 5, untuk tahun 2004 sampai 2006 ada kecenderungan prosentase udara dengan kualitas baik menurun, sedangkan udara dengan kualitas sedang meningkat. Namun setelah tahun 2006 prosentase kualitas udara yang masuk dalam kategori baik meningkat kembali dan kualitas udara yang masuk dalam kategori sedang menurun. Selanjutnya juga teramati setelah tahun 2006, tidak ada prosentase udara yang masuk dalam kategori tidak sehat.

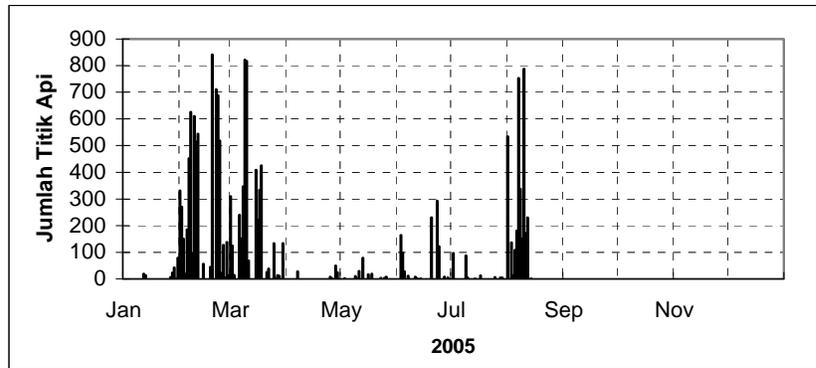
Kalau kita pilah lebih rinci udara yang masuk dalam kategori baik, yaitu udara dengan konsentrasi Aerosol PM_{10} kurang dari $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan jalan mengelompokkan ke dalam lima kelompok data seperti terlihat dalam Tabel 5, maka kita dapat melihat konsentrasi alami Aerosol PM_{10} paling banyak berada pada kisaran 0 -10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 11 – 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai konsentrasi Aerosol PM_{10} tersebut sesuai dengan konsentrasi Aerosol PM_{10} untuk daerah terpencil menurut Seinfeld.

Tabel 6. Prosentase Konsentrasi Aerosol PM_{10} dibawah $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

| Tahun | Baik | Sedang | Tidak Sehat | Sangat Tidak Sehat | Berbahaya |
|--------|--------|--------|-------------|--------------------|-----------|
| 2004 | 94% | 6% | 0% | 0% | 0% |
| 2005 | 91% | 7% | 2% | 0% | 0% |
| 2006 | 87% | 12% | 1% | 0% | 0% |
| 2007 | 99% | 1% | 0% | 0% | 0% |
| 2008 | 97% | 3% | 0% | 0% | 0% |
| Rerata | 93,6 % | 5,8% | 0.6% | 0% | 0% |

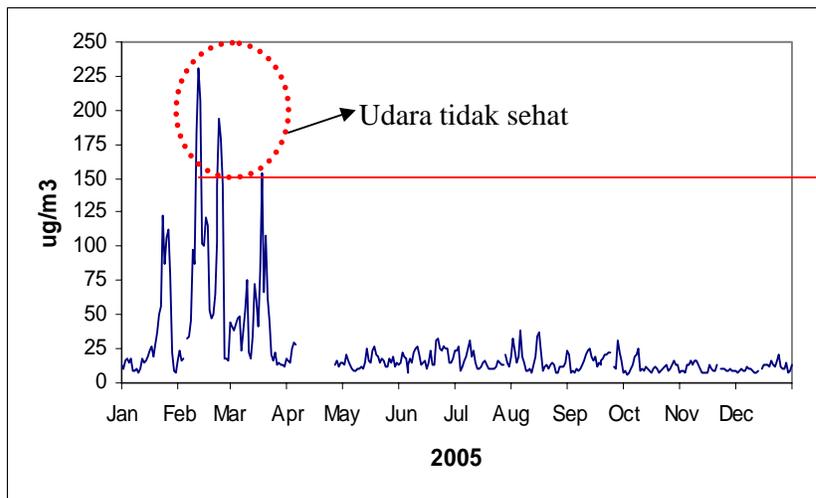
Kebakaran hutan dan lahan merupakan salah satu sumber pencemaran udara yang besar. Kebakaran hutan telah menyebabkan banyaknya bahan pencemar, baik aerosol (partikel) dan gas masuk ke dalam atmosfer. Aerosol PM_{10} , karbon monoksida dan prekursor ozon adalah bahan pencemar yang banyak dilepas ke atmosfer selama kejadian kebakaran hutan dan lahan (Saptakota, 2005). Dengan demikian kebakaran hutan dan lahan merupakan salah satu ancaman bagi kualitas udara di suatu tempat. Ancaman penurunan kualitas udara akibat kebakaran hutan dan lahan tidak hanya di tempat yang dekat dengan sumber api, tetapi dapat merambat ke tempat yang jauh dari titik api. Hal ini disebabkan polutan akibat episode kebakaran hutan yang panjang dapat masuk ke dalam lapisan atmosfer bebas (*free atmosphere level*), selanjutnya dari lapisan atmosfer bebas polutan dapat ditransportasikan ke tempat yang jauh dari titik api yang arah sarannya tergantung dari angin dominan yang berhembus pada atmosfer bebas tersebut.

Riau merupakan salah satu propinsi yang rentan terhadap kejadian kebakaran hutan dan lahan. Tahun 2005 telah terjadi dua episode kebakaran hutan dan lahan di Riau, masing-masing bulan Februari – Maret dan bulan Agustus. Episode kebakaran tersebut dicitrakan lewat jumlah titik api yang terpantau oleh satelit NOAA. Hasil rajahan dari jumlah titik api yang untuk wilayah Riau pada tahun 2005 dapat dilihat pada Gambar 6, dibawah ini:

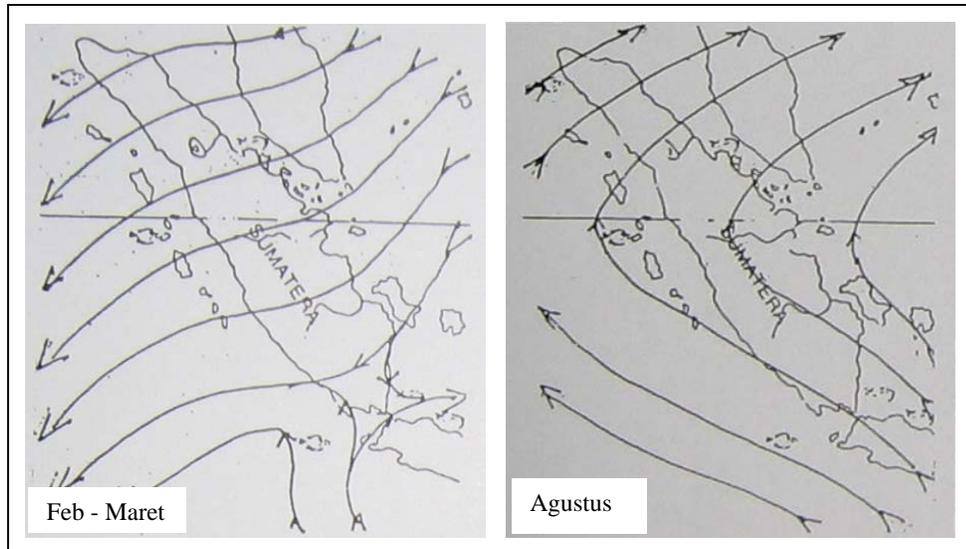


Gambar 6. Jumlah titik api di Propinsi Riau Tahun 2005
(Sumber : <http://www.dephut.go.id>)

Kejadian kebakaran hutan dan lahan di Riau tahun 2005 dapat merupakan contoh bagaimana polutan di transportasikan ke tempat yang jauh dari sumber kebakaran atau titik api. Dampak dari episode kebakaran hutan dan lahan bulan Februari dan Maret terekam di Bukit Kototabang berupa peningkatan konsentrasi Aerosol PM₁₀ harian. Bahkan beberapa hari dalam bulan-bulan tersebut kualitas udara masuk dalam kategori tidak sehat. Sebaliknya episode kebakaran hutan dan lahan yang terjadi pada Agustus tidak berdampak pada peningkatan konsentrasi Aerosol PM₁₀ harian di Bukit Kototabang. Hal ini disebabkan pada bulan tersebut angin pada paras atmosfer lapis bebas tidak mengarah ke Bukit Kototabang sehingga konsentrasi polutan yang terekam di Bukit Kototabang adalah kondisi polutan alami bukit tersebut.



Gambar 7. Konsentrasi Aerosol PM₁₀ Harian Tahun 2005



Gambar 8. Tipikal Angin lapis bebas Bukit Kototabang

4. KESIMPULAN

1. Kualitas udara Bukit Kototabang pada umumnya sangat baik.
2. Konsentrasi Aerosol PM₁₀ harian alami Bukit Kototabang 0 – 20 µg/m³.
3. Kebakaran hutan dan lahan di Riau sekitar bulan Februari – Maret patut diwaspadai karena akan berdampak pada kualitas udara di Bukit Kototabang.

5. DAFTAR ACUAN

Angelika Heil. 1998. "Air Pollution Caused by Large Scale Forest Fires in Indonesia 1997". Paper disajikan pada *South-East Asian Land/Forest Fires: Science and Policy*, Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing, Singapura, 30.

Anonim. 2002. *Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor: Kep-107/KABAPEDAL/11/1997 Tentang Pedoman Teknis Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemaran Udara*, Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup Jakarta.

Anonim. <http://www.dephut.go.id/informasi/kebakaran/thn-2005/>

De Kumar Anil, 1994. *Environmental Chemistry*. New Age International (P) Limited. New Delhi.

Sapkota, Amir dkk., 2005. "Impact of the 2002 Canadian Forest Fires On Particulate Matter Air Quality in Baltimore City". *Environ Sci. Technol*, 39:24-32.

Seinfeld, John H dan Spyros N . Pandis, 1975. *Atmospheric Chemistry and Physics*. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Stern C Arthur dkk., 1973. *Fundamental of Air Pollution*. New York: Academic Press Inc.

STUDI PENDAHULUAN KORELASI EDDY PADA KONSENTRASI CO₂ TERHADAP KECEPATAN ANGIN VERTIKAL

Edison Kurniawan & Sugeng Nugroho

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat

Abstract

The increasing or decreasing process of Carbondioxide (CO₂) is related to the air stability in the atmosphere. This study is aimed to explain about the eddy correlation theory for finding the correlation surface temperature, vertical velocity and CO₂ concentration. This theory explains that while the air rising from inlet ($w>0$) is warm and CO₂ depleted and while the air subsiding from inlet ($w<0$) is cool and CO₂ enriched. The data used surface temperature from AWS instrument, CO₂ concentration from Piccaro instrument and vertical wind from Boundary Layer Radar which are operated in GAW Bukit Kototabang. The result showed the higher correlation (0,7) between surface temperature and vertical wind located above 2 km.

Keywords : CO₂, eddy correlation, vertical wind.

1. PENDAHULUAN

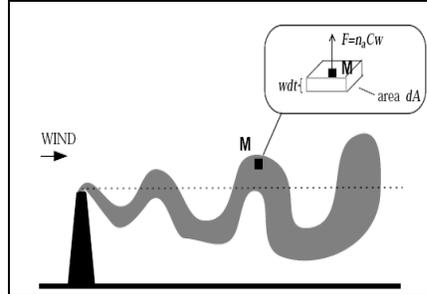
Beberapa penelitian yang berkaitan tentang hubungan antara konsentrasi CO₂ terhadap pola stabilitas udara di atmosfer telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun belakangan ini. Penelitian awal ini pada hakekatnya didasarkan pada perolehan data sebelumnya dimana konsentrasi CO₂ yang cenderung fluktuatif di dalam pola hariannya. Kecenderungan tersebut sebenarnya dapat dikaitkan terhadap beberapa parameter meteorologi seperti misalnya suhu udara permukaan, dimana muncul adanya pembalikan diantara kedua harga tersebut. Di saat nilai CO₂ menunjukkan nilai maksimum, ternyata nilai temperatur udara menunjukkan nilai minimum. Atau demikian pula sebaliknya. Kondisi ini menjadi sebuah dasar dari studi pendahuluan terhadap pola penyebaran CO₂ di atmosfer yang erat kaitannya terhadap proses-proses fisis yang terjadi di atmosfer.

Secara umum aliran pada sebuah fluida dibedakan menjadi dua jenis yaitu aliran yang bersifat laminar dan turbulen (Holton, 1979). Aliran laminar bersifat tenang dan tetap (*steady*). Sedangkan aliran turbulen bersifat tidak beraturan dan cenderung fluktuatif. Berdasarkan pendekatan empiris menunjukkan bahwa perilaku dari kondisi udara yang mengalir baik secara laminar maupun turbulen dapat dinyatakan dalam sebuah persamaan. Persamaan ini dikenal sebagai sebuah dimensi bilangan Reynolds (Rott, 1990), dan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$R_e = \frac{UL}{\varrho} \quad (1)$$

dimana U adalah kecepatan aliran rata-rata, L adalah sebuah karakteristik dari panjang yang menyatakan skala dari sebuah aliran sedangkan ϱ adalah viskositas kinematik dari fluida ($\varrho = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ untuk udara). Untuk masa transisi pada perubahan dari kondisi laminar menuju turbulen menempati bilangan Reynold antara 1000-10.000. Aliran di atmosfer biasanya bersifat turbulen, hal ini disebabkan nilai U dan L yang relatif cukup besar (Seinfeld dan Pandis, 1998). Turbulensi ini dapat terjadi diantaranya akibat dari penyebaran asap yang biasa terjadi pada sebuah cerobong asap.

Jika sebuah cerobong asap mengeluarkan sebuah polutan X, maka nilai fluks vertikal F dapat ditentukan dari polutan X pada beberapa titik di M yang bergerak ke bawah dari menara (Gambar 1). Jumlah molekul X yang melintas pada permukaan horizontal berada pada area dA selama waktu dt dan sebanding dengan bilangan $n_x w dt dA$ dari molekul-molekul pada elemen $w dt dA$. W dinyatakan sebagai kecepatan angin vertikal yang diukur pada titik M dan n_x adalah jumlah konsentrasi polutan X.

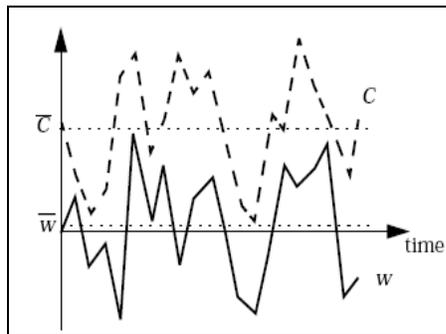


Gambar 1. Cerobong asap dengan polutan X

Fluks F (di dalam satuan $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) pada titik M dinyatakan dengan menormalisasi persamaannya menjadi satuan luas dan satuan waktu.

$$F = \frac{n_x w dt dA}{dt dA} = n_x w = n_a C_x w \quad (2)$$

Dimana n_a adalah jumlah densitas udara dan C_x adalah rasio pencampuran dari X. Dari persamaan (2) kita dapat menentukan fluks vertikal F dari polutan X pada titik M dengan pengukuran C dan w secara kontinyu. Dikarenakan adanya turbulensi alami dari sebuah aliran, kedua nilai C dan w menunjukkan fluktuasi yang besar terhadap waktu (Gambar 2).



Gambar 2. Deret waktu dari C dan w yang diukur pada titik M yang tetap.

\bar{C} dan \bar{w} adalah nilai rata-rata terhadap waktu.

\bar{C} dan \bar{w} dinyatakan sebagai nilai rata-rata C dan w selama interval waktu Δt . Selanjutnya $C(t)$ dan $w(t)$ dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari komponen rata-rata dan fluktuasi, dimana :

$$\begin{aligned} C(t) &= \bar{C} + C'(t) \\ w(t) &= \bar{w} + w'(t) \end{aligned} \quad (3)$$

dimana C' dan w' adalah komponen fluktuatif dan dinyatakan bahwa $\bar{C}' = 0$ dan $\bar{w}' = 0$. Dengan mengganti persamaan (3) ke persamaan (2) maka diperoleh :

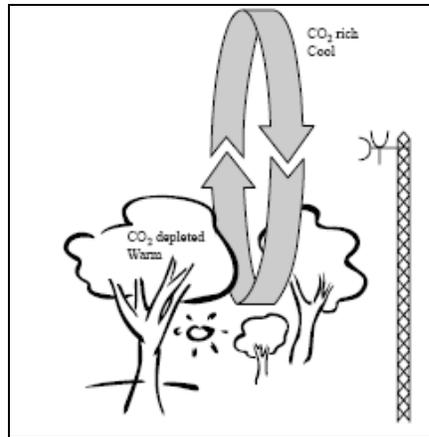
$$F = n_a (\overline{Cw} + \overline{C'w'}) \quad (4)$$

Persamaan (4) dapat dipisahkan ke dalam dua persamaan. Untuk $F_A = n_A \overline{Cw}$ adalah nilai rata-rata dari fluks adveksi yang digerakkan oleh kecepatan rata-rata angin vertikal \overline{w} . Sedangkan untuk $F_T = n_A \overline{C'w'}$ dikenal sebagai fluks turbulen yang digerakkan oleh nilai kovarian C dan w.

Untuk nilai \overline{w} secara umum relatif kecil dibandingkan w' karena turbulensi atmosfer bergerak secara ke atas (*upward*) atau ke bawah (*downward*). Pada lapisan troposfer, F_T biasanya mendominasi melampaui F_A untuk menentukan laju transport vertikal. Namun pada lapisan permukaan, rata-rata angin pada arah horizontal adalah ~ 1000 kali lebih cepat daripada pada arah vertikal, sehingga F_A biasanya mendominasi dibanding F_T sepanjang nilai Δt tidak terlalu besar.

Penggunaan pada pengukuran dengan menggunakan frekuensi tinggi dari harga C dan w untuk menentukan fluks vertikal sesuai dengan yang telah dijelaskan di atas dikenal sebagai teknik korelasi eddy / *eddy correlation technique* (Jacob, 1999).

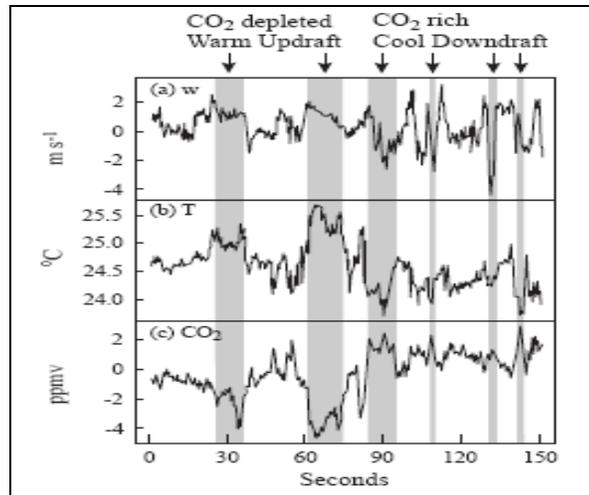
Pengukuran siklus korelasi eddy dari sebuah menara menyatakan suatu pendekatan standar untuk menyatakan pertukaran fluks biosfer-atmosfer dengan CO_2 dan beberapa gas lainnya (Gambar 3). Pengukuran korelasi eddy dari CO_2 dan fluks panas dibuat pada ketinggian 5 m diatas sebuah hutan kanopi di Massachuset.



Gambar 3. Siklus korelasi eddy

Pada Gambar 4 menunjukkan sebuah sampel yang dihasilkan dari pengamatan dengan interval waktu 150 s untuk suatu hari di musim panas. Pada saat nilai $w > 0$ maka terjadi gerakan vertikal ke atas sehingga konsentrasi CO_2 yang berhasil ditangkap tabung inlet mengalami penurunan.

Namun pada saat nilai $w < 0$ maka terjadi gerakan vertikal ke bawah sehingga konsentrasi CO_2 mengalami peningkatan. Fluks turbulen dari pemanasan yang terjadi dengan CO_2 dinyatakan sebagai nilai korelasi antara w dengan T dan konsentrasi CO_2 .



Gambar 4. Korelasi eddy terhadap parameter w , T dan konsentrasi CO_2

Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar hubungan antara tingkat kenaikan atau penurunan dari konsentrasi CO_2 terhadap kecepatan angin vertikal.

2. METODE

Pada penelitian ini digunakan tiga jenis data yaitu data konsentrasi CO_2 , data temperatur udara permukaan dan data kecepatan angin vertikal. Untuk data konsentrasi CO_2 diperoleh melalui data pengukuran harian dengan menggunakan instrumen Picaro. Sedangkan untuk data temperatur udara permukaan diperoleh melalui instrumen *Automatic Weather System* (AWS) dan data angin vertikal diambil melalui pengoperasian *Boundary Layer Radar* (BLR).

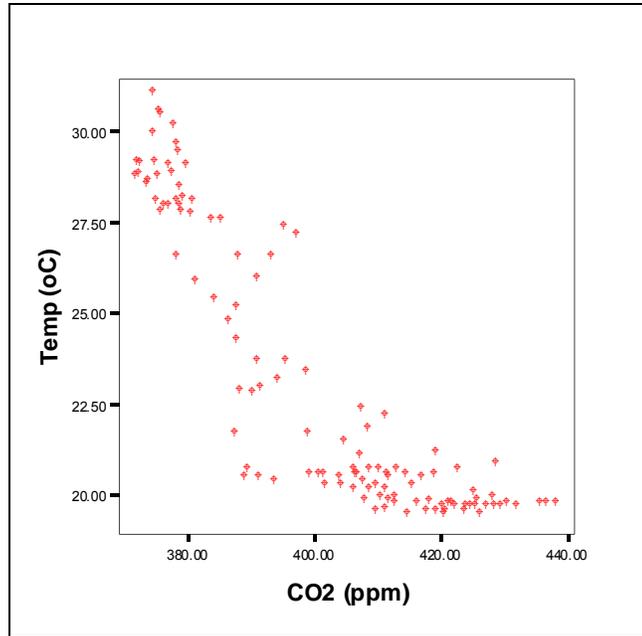
Ketiga instrumen itu telah dipasang di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang Sumatera Barat yang berlokasi di $0,20^\circ$ lintang selatan dan $100,32^\circ$ bujur timur dan berada pada ketinggian 865 meter di atas permukaan laut.

Teknik pengamatan dilakukan dengan metode sampling. Sampling memiliki arti bahwa pengambilan sampel merupakan pencarian data dengan cara mencuplik dari suatu populasi dengan standar tertentu sehingga cuplikan yang diambil bersifat representatif. Asumsi yang akan dibangun adalah pengambilan sebagian dari populasi merupakan data dari keseluruhan populasi.

Pada penelitian kali ini diambil data dari konsentrasi CO_2 , temperatur udara permukaan dan kecepatan angin vertikal pada tanggal 12 November 2008. Hal ini didasarkan pada pertimbangan bahwa pada tanggal tersebut data yang terkumpul dari seluruh instrumen menunjukkan hasil yang lengkap.

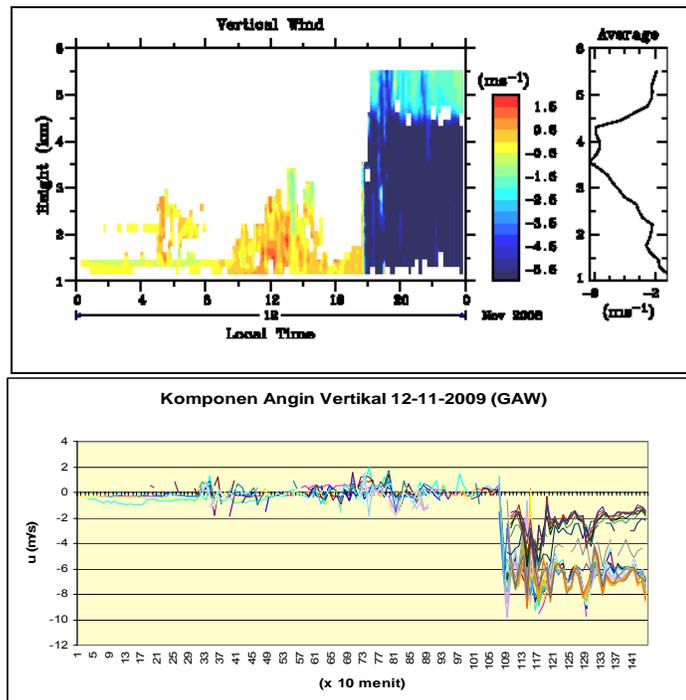
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian awal, keluaran scatter plot antara variabel CO_2 dengan variabel temperatur udara permukaan menunjukkan hubungan keterbalikan (Gambar 5). Artinya makin tinggi konsentrasi CO_2 yang masuk ke dalam tabung inlet (detektor), maka temperatur udara permukaan menunjukkan penurunan. Hal ini juga bisa dilihat bahwa hasil perhitungan regresi menunjukkan nilai $-0,89$. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa teori korelasi eddy yang terbentuk antara variabel konsentrasi CO_2 terhadap kenaikan/penurunan temperatur udara menunjukkan hubungan yang kuat.



Gambar 5. Hasil Scatter Plot antara CO2 dan Temperatur

Pada Gambar 6a. ditunjukkan penampang kecepatan angin vertikal yang terekam melalui BLR. Sedangkan Gambar 6b memperlihatkan penampang komponen angin vertikal dalam 30 level pengamatan yang telah dimodifikasi ke dalam diagram garis.

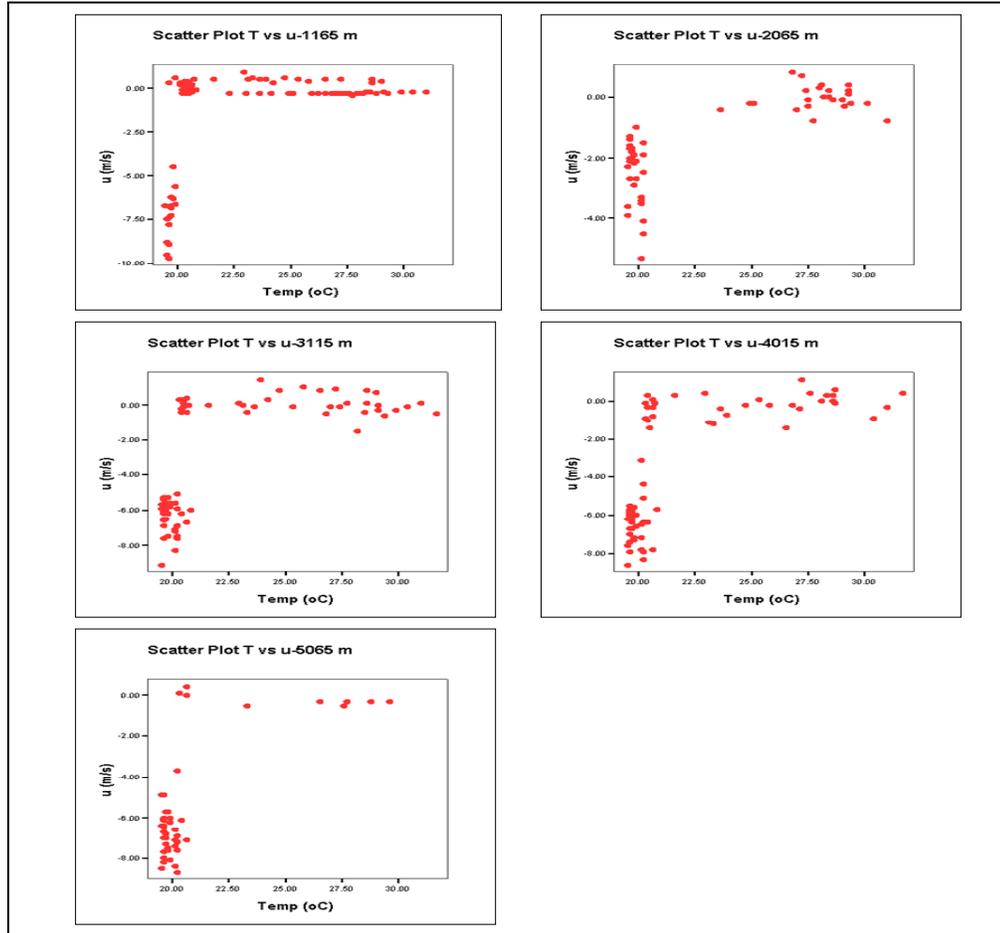


Gambar 6. (a). Kecepatan Angin Vertikal melalui BLR
(b) Komponen Angin Vertikal dalam diagram garis

Penelitian kemudian dilanjutkan untuk mengetahui seberapa besar hubungan antara variabel temperatur udara permukaan terhadap kecepatan angin vertikal yang terekam

melalui BLR. BLR memiliki kemampuan mendeteksi kecepatan angin vertikal pada 30 level ketinggian mulai dari ketinggian 1.165 meter hingga 5.515 meter.

Pengolahan scatter plot antara variabel temperatur udara permukaan (dalam °C) dengan komponen kecepatan angin vertikal (dalam m/s) dilakukan pada level 1.165 m, 2.065 m, 3.115 m, 4.015 m dan 5.065 m seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Pada kecepatan angin vertikal, tanda positif (+) menunjukkan gerakan *updraft*, sedangkan tanda negatif (-) menunjukkan gerakan *downdraft*.



Gambar 7. Hasil Scatter Plot antara Temperatur Udara Permukaan vs u pada level 1.165m; 2.065m; 3.115m; 4.015m dan 5.065m

Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan nilai regresi dari kelima level pengamatan komponen angin vertikal. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai regresi terbesar antara temperatur udara permukaan dengan kecepatan angin vertikal terjadi pada ketinggian 2 km. Sedangkan nilai regresi terendah terjadi pada ketinggian 1 km. Sedangkan rata-rata nilai regresi menunjukkan nilai 0,65. Hal ini bisa ditarik kesimpulan awal bahwa ada keterkaitan yang erat antara kenaikan suhu udara permukaan dengan kenaikan udara vertikal akibat pemanasan.

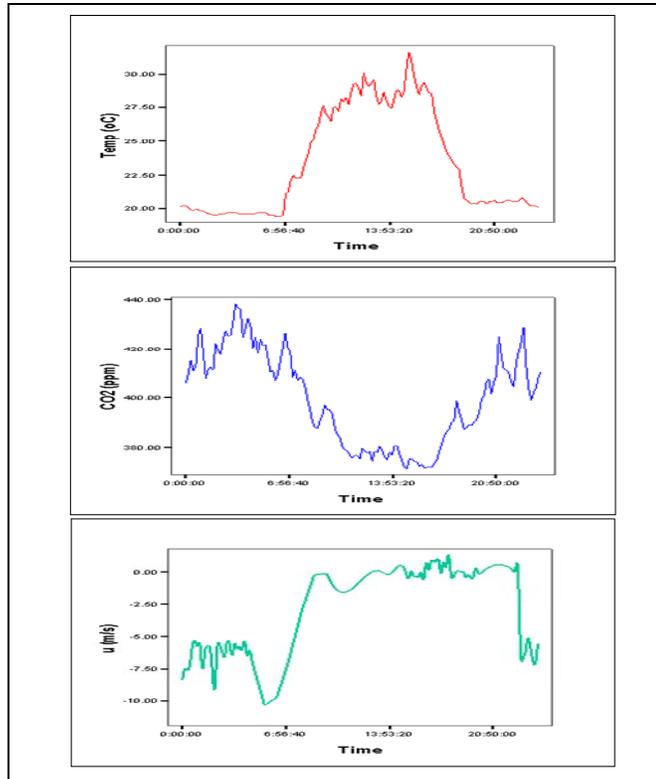
Tabel 1. Nilai Regresi antara Temperatur Udara Permukaan vs u pada setiap level ketinggian

| Ketinggian (meter) | R |
|--------------------|-------|
| 1.165 | 0.398 |
| 2.065 | 0.783 |
| 3.115 | 0.667 |
| 4.015 | 0.704 |
| 5.065 | 0.718 |
| Total | 3.27 |
| Mean | 0.65 |

Ada beberapa alasan yang mungkin dapat menjelaskan tentang hubungan antara kenaikan temperatur udara terhadap peningkatan kecepatan vertikal di lapisan troposfer. Yang pertama yaitu pemanasan yang terjadi di lapisan permukaan, anggapa pada ketinggian 1 km tampaknya belum memberikan efek kenaikan temperatur udara permukaan yang cukup signifikan. Kondisi ini lebih disebabkan karena pada lapisan boundary layer terutama pada ketinggian di bawah 1 km, efek topografis dan pencampuran udara masih bersifat dominan sehingga proses kenaikan dan penurunan udara terkadang tidak tetap. Namun untuk lapisan di atas 1 km, kondisi topografis tidak lagi terlalu berperan sehingga proses updraft dan downdraft berlangsung tetap (steady). Hal ini bisa ditunjukkan dengan nilai koefisien regresi yang menunjukkan angka 0.398 pada lapisan di ketinggian 1,165 km (Lihat Tabel 1). Artinya seiring dengan kenaikan temperatur udara permukaan proses *updraft* dan *downdraft* yang menyertai kecepatan udara vertikal tidak terlalu memberikan hasil yang signifikan. Namun seiring dengan penambahan ketinggian, efek kenaikan temperatur udara permukaan tersebut akan mempengaruhi stabilitas udara di atasnya. Terutama pada ketinggian di atas 2 km, yang mana nilai rata-rata koefisien regresinya menunjukkan 0.718.

Pada Gambar 8 menunjukkan korelasi eddy terhadap tiga parameter yaitu kecepatan angin vertikal pada ketinggian 2 km, konsentrasi CO₂ dan temperatur udara permukaan di Stasiun GAW Bukit Kototabang. Pemilihan data kecepatan angin vertikal pada ketinggian 2 km, karena didasarkan pada nilai korelasi tertinggi yang dihasilkan dari tiap level ketinggian (Lihat Tabel 1).

Berdasarkan data yang berhasil direkam oleh AWS menunjukkan bahwa pada pukul 12.10 wib, temperatur udara permukaan menunjukkan kenaikan hingga 30,1 °C. Namun 10 menit setelah itu, mulai terjadi kenaikan udara ke atas (*updraft*) pada ketinggian 2.065 meter sebesar 0,3 m/s dan selanjutnya meningkat pada pukul 12.20 wib sebesar 0,5 m/s. Sedangkan pada pukul 15.10 wib, kembali terjadi pemanasan yang ditandai dengan kenaikan temperatur udara permukaan hingga mencapai 31,7°C. Kemudian pukul 16.50 wib mulai terjadi kenaikan udara ke atas dengan kecepatan 0,4 m/s. Dengan demikian selang waktu yang dibutuhkan antara waktu terjadinya pemanasan hingga proses *updraft* tampak bahwa pada siang hari pada sekitar pukul 12.00 wib lebih cepat dibandingkan pada pukul 15.00 wib. Pada siang hari proses *updraft* berlangsung selama 10 menit sejak munculnya temperatur udara maksimum. Namun menjelang sore hari, proses *updraft* justru berlangsung relatif cukup lama dibandingkan pada siang hari, yakni selama 1 jam 40 menit.



Gambar 8. Korelasi eddy terhadap parameter w , T dan konsentrasi CO_2 Pada tanggal 12 November 2008 di Stasiun GAW Bukit Kototabang

Meskipun data yang digunakan pada penelitian ini hanya terbatas pada satu hari pengamatan, namun tampaknya telah memberikan gambaran yang baik di dalam melihat pola stabilitas udara yang terjadi terhadap pergerakan CO_2 di SPAG Bukit Kototabang Sumatera Barat. Pendapat teoritis yang menjelaskan tentang korelasi eddy telah mampu dibuktikan melalui pengamatan di lapangan dengan ditunjukkan oleh hasil korelasi yang relatif cukup memadai antara temperatur udara permukaan, konsentrasi CO_2 dan gerakan udara vertikal. Kenaikan atau penurunan temperatur udara permukaan dapat memberikan kontribusi yang besar terhadap proses kecepatan udara vertikal dan kaitannya terhadap penyebaran CO_2 di atmosfer.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kenaikan atau penurunan temperatur udara permukaan sangat berpengaruh terhadap kecepatan udara vertikal di atmosfer.
2. Hubungan antara pemanasan temperatur udara permukaan terhadap kenaikan udara vertikal memiliki nilai terbesar pada ketinggian di atas 2 km. Namun pada lapisan permukaan nilai korelasinya justru sangat kecil, yakni hanya sekitar 0,398.
3. Korelasi eddy dapat menjelaskan tentang pola pergerakan vertikal udara terhadap konsentrasi unsur CO_2 di atmosfer. Atau dengan kata lain, pola penyebaran CO_2 dapat dijadikan sebagai indikator awal terhadap pola stabilitas udara di atmosfer.
4. Adapun saran yang ingin disampaikan di dalam penutup ini, yakni perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan rentang data pengamatan yang relatif cukup panjang. Misalnya satu tahun atau lebih untuk lebih memastikan ketinggian efektif yang dibutuhkan oleh massa udara untuk mulai bergerak secara vertikal.

5. DAFTAR ACUAN

- Holton, J.R., 1979. *An Introduction to Dynamic Meteorology*, 2nd ed. Academic Press, New York.
- Jacob, D.J., 1999. *Introduction to Atmospheric Chemistry*. Princeton University Press, New Jersey, pp. 60-64.
- Rott, N., 1990. *Note on the history of the Reynolds number*, *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 22, pp. 1–11.
- Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis, 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Wiley, New York.

PENGARUH RADIASI MATAHARI, NITROGEN DIOKSIDA DAN METANA PADA OZON TROPOSFERIK DI BUKIT KOTOTABANG

Firda Amalia Maslakah & Budi Setiawan

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat

Abstract

Tropospheric ozone is a secondary pollutant formed by photochemical reaction led by its precursors, NO_x , VOC and CO. Its concentration is also affected by methane oxidation in the atmosphere which is an agent for converting NO to NO_2 . Based on these, ozone data at Global Atmosphere Watch Station of Bukit Kototabang, West Sumatra is compared with data of solar radiation, Nitrogen dioxide (NO_2) and methane (CH_4). The data is obtained by using ozone analyzer TEI49C for surface ozone, Automatic Weather Station for solar radiation, passive gas sampler for Nitrogen dioxide and Airkitt Flask Sampler for methane. Data analysis result shows that Solar radiation intensity, Nitrogen dioxide (NO_2) concentration and methane (CH_4) concentration have contribution in tropospheric ozone concentration in Bukit Kototabang. But tropospheric ozone concentration is not fully depends on those parameters.

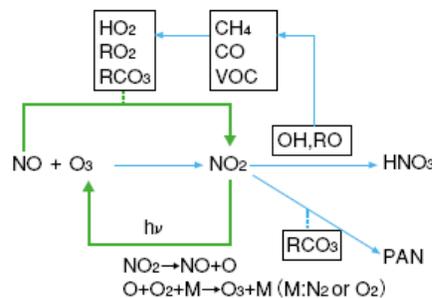
Keywords : Radiasi matahari, NO_2 , CH_4 , O_3 tropsoferik

1. PENDAHULUAN

Ozone merupakan salah satu jenis gas yang terdapat di atmosfer dan tersusun atas tiga atom O. Ozon yang berada di lapisan stratosfer berfungsi menyerap radiasi sinar UV dan melindungi lingkungan dari efek radiasi UV-B yang berbahaya. Sedangkan ozon yang berada di lapisan troposfer, yang dikenal dengan ozon troposferik dikategorikan sebagai polutan (Anonim, 2008).

Ozon troposferik dikategorikan sebagai polutan sejak tahun 1950an karena berbahaya bagi ekosistem dan kesehatan manusia. Ozon troposferik juga berperan pembentukan asap kabut fotokimia dan memberikan kontribusi pada nilai radiative forcing (Akimoto *et al*, 2006).

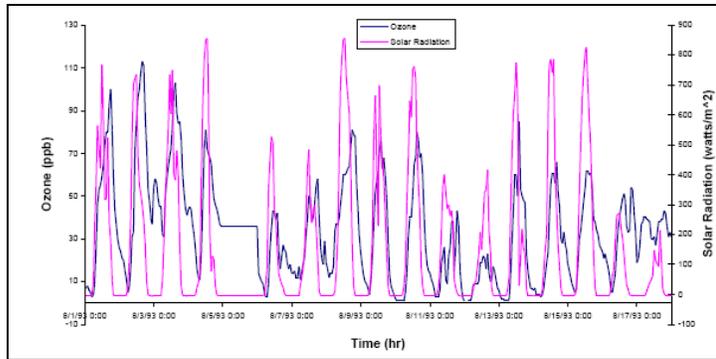
Ozon troposferik merupakan polutan sekunder dan berasal dari beberapa sumber, baik alami maupun antropogenik, yaitu transport dari stratosfer; reaksi fotokimia yang dipicu oleh precursor utamanya yaitu VOC, CO dan NO_x dengan adanya sinar matahari; dan konsentrasinya juga dipengaruhi oleh long range transport dan parameter-parameter meteorologi seperti temperature, kecepatan dan arah angin, variasi musiman dan perawanan (Chevalier *et al*, 2007). Secara umum, reaksi pembentukan dan penguraian ozon adalah seperti pada gambar di bawah ini (Akimoto, 2006):



Gambar 1. Reaksi pembentukan dan penguraian ozon.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi trend dari ozon troposferik. Data pengukuran konsentrasi ozon troposferik di Pic du Midi oleh Marenco dkk antara tahun 1870 dan 1910, dan selanjutnya di tahun 1980 digunakan untuk menunjukkan bahwa konsentrasi ozon troposferik meningkat lima kali lipat sejak awal abad 20, dengan laju peningkatan 1,6% per tahun. Penelitian yang telah dilakukan oleh Oltmans(2006) menunjukkan bahwa konsentrasi ozon troposferik di Zugspitze meningkat 12,6% per decade atau 1,3% per tahun antara tahun 1978 hingga 2004 (Chevalier, 2007). Menurut Laporan IPCC, peningkatan konsentrasi ozon troposferik yang mulai terjadi sejak revolusi industri dan disebabkan oleh meningkatnya emisi precursor-precursor ozon yaitu NO_x , CO dan VOC. Peningkatan konsentrasi zat-zat tersebut akan meningkatkan produksi ozon melalui reaksi fotokimia dengan adanya radiasi matahari (Akimoto, 2006). Emisi kendaraan bermotor, emisi industri dan pelarut kimia adalah sumber antropogenik utama dari precursor ozon (<http://en.wikipedia.org/wiki/wikipedia:copyright> , 2009).

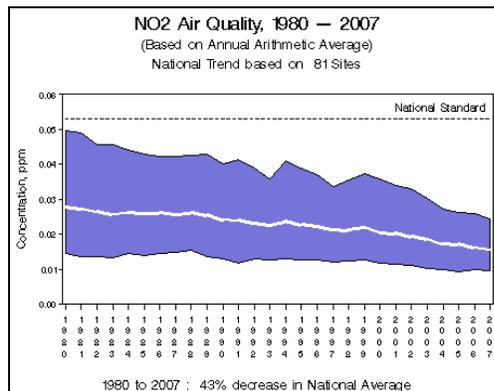
Penelitian yang dilakukan oleh John Doe di New York mengaitkan trend konsentrasi ozon dengan intensitas radiasi matahari. Menurut Doe, pada saat intensitas radiasi matahari tinggi dan konsentrasi polutan NO_x dan VOC tinggi, konsentrasi ozon meningkat.



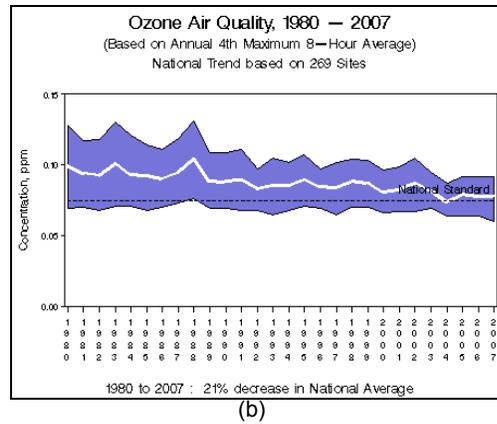
Gambar 2. Konsentrasi ozon dan intensitas radiasi matahari di West Point, New York

Hasil penelitiannya yang ditampilkan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa konsentrasi ozon di troposfer tinggi saat intensitas radiasi matahari tinggi dan sebaliknya.

Sedangkan di bawah ini (Gambar 3) adalah data dari berbagai lokasi di Amerika Serikat yang menunjukkan perubahan konsentrasi NO_2 yang berdampak pada konsentrasi ozon troposferik.



(a)



Gambar 3. Trend NO₂ (a) dan Ozon (b) di AS
(Sumber : <http://www.epa.gov/airtrends/>)

NO₂ merupakan komponen NO_x (oksida nitrogen) selain NO. Sumber NO_x antara lain yaitu emisi kendaraan bermotor, emisi industri, pembakaran biomassa, emisi pesawat terbang dan emisi biogenik dari tanah. Metana (CH₄) juga memberikan kontribusi pada produksi NO₂ melalui reaksi oksidasinya di troposfer yang akan menyebabkan peningkatan konsentrasi ozon (Seinfeld and Pandis, 1997). Metana yang konsentrasinya meningkat sejak revolusi industri berasal dari sumber antropogenik dan sumber alami antara lain limbah pertanian, pembakaran biomassa, bahan bakar fosil dan tanah gambut (Wuebbles and Hayhoney, 2002).

Berdasarkan pada proses terbentuknya ozon di lapisan troposfer, penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas radiasi matahari, konsentrasi Nitrogen dioksida (NO₂), konsentrasi metana (CH₄) terhadap konsentrasi ozon troposferik di Stasiun GAW Bukit Kototabang dalam kaitannya dengan reaksi pembentukan ozon troposferik.

2. METODE

1. Ozon Troposferik

Pengamatan ozon di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dilakukan menggunakan alat *Ozone Analyzer tipe* TEI 49C. Pengukuran ini didasarkan atas prinsip bahwa molekul ozon menyerap cahaya ultra violet (UV) pada panjang gelombang 254 nm. Besarnya intensitas sinar ultraviolet yang diserap oleh molekul ozon sebanding dengan konsentrasi ozon sesuai dengan hukum Beer-Lambert sebagai berikut :

$$I = I_0 \exp^{-KLC}$$

dimana :

- K = koefisien absorpsi molekular, 308 cm⁻¹ (pada temperatur 0°C dan tekanan 1 atmosfer)
- L = panjang sel, 38 cm
- C = Konsentrasi ozon dalam satuan ppm
- I = Intensitas cahaya UV dari sampel dengan ozon (gas sampel)
- I₀ = Intensitas cahaya UV dari sampel tanpa ozon (gas referensi)

Data rekaman dengan resolusi 5 menit disimpan dalam internal data logger yang diambil secara manual 2 kali dalam seminggu oleh operator, data juga dipantau 24 jam oleh program Gawdaq (*Automatic GAW Data Acquisition*) serta disimpan dalam suatu *real time database*.

2. Intensitas Radiasi Matahari

Data intensitas radiasi matahari diperoleh menggunakan Instrumen AWS (*automatic weather station*), merek VAISALA dengan sensor suhu, kelembaban, tekanan, radiasi matahari, angin dan hujan dengan seting waktu peramatan setiap menit.

3. Nitrogen Dioksida (NO₂)

Pengambilan sample NO₂ dari udara ambient dilakukan dengan metode passive gas sampler. Passive gas sampler dipasang setiap hari kamis. Sampling dilakukan selama kurang lebih satu minggu dan hasilnya dianalisis secara spektrofotometri di Laboratorium Kualitas Udara Badan Meteorologi dan Geofisika Jakarta.

4. Metana (CH₄)

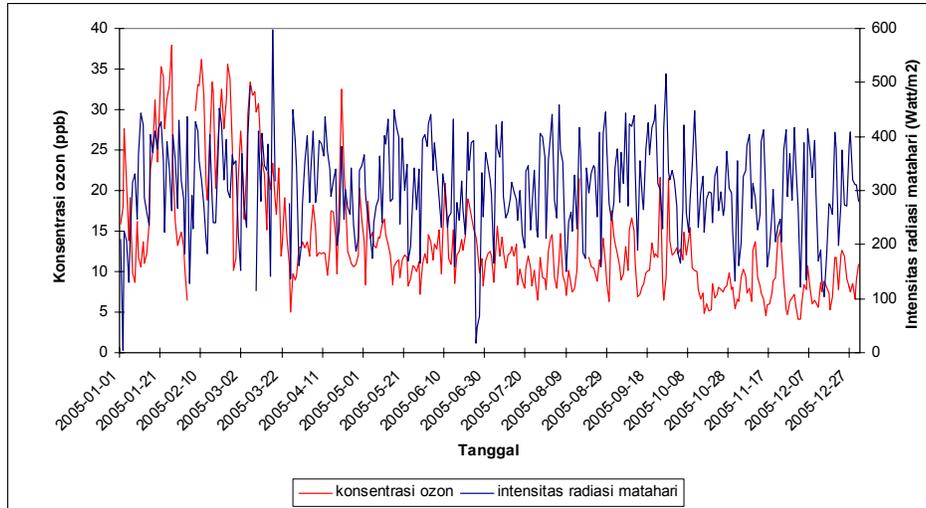
Pengambilan sampel metana (gas rumah kaca) dilakukan dengan menggunakan *Airkit Flask Sampler*. Kegiatan pengambilan dilakukan setiap satu minggu sekali, yaitu hari Selasa pada pukul 14.00 WIB. Selain metana, jenis gas yang diukur antara lain CO₂, CH₄, N₂O, dan SF₆.

Pengambilan sampel gas dilakukan dengan menghisap udara ambien melalui inlet *Airkit Flask Sampler* yang diletakkan pada menara dengan ketinggian 35 m. Selanjutnya, sampel udara kering dengan tekanan dibawah 3 psig akan dianalisis lebih lanjut di *Climate Monitoring and Diagnostic Laboratory (CMDL)* NOAA. Metana akan dianalisis dengan menggunakan metode *Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC-FID)*.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data konsentrasi ozon troposferik, intensitas radiasi matahari, konsentrasi Nitrogen dioksida (NO₂) dan konsentrasi metana (CH₄) tahun 2005. Data 5 menitan dari ozon troposferik dan data 1 menitan dari radiasi matahari diolah menjadi rata-rata harian dan rata-rata perjam serta bulanan. Sedangkan Data rata-rata mingguan konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Metana (CH₄) diolah menjadi rata-rata bulanan.

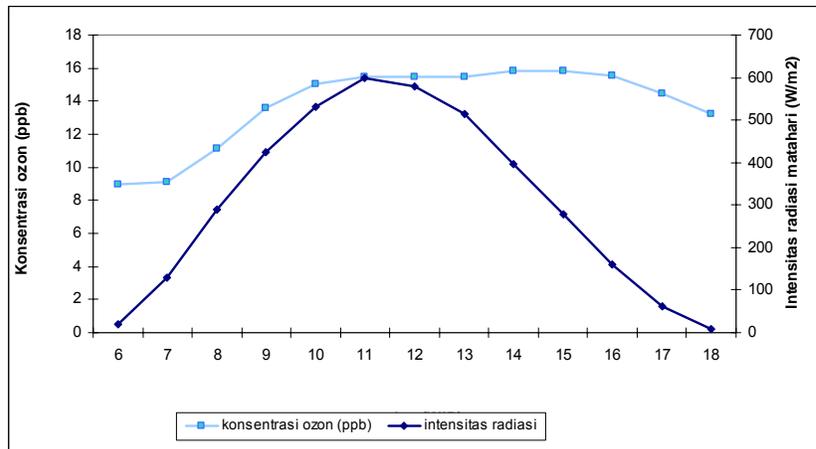
Untuk melihat keterkaitan konsentrasi ozon dengan intensitas radiasi matahari, konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) dan metana (CH₄), analisis data dilakukan secara kualitatif dengan membandingkan trend dari masing-masing parameter dan secara kuantitatif dengan menentukan nilai korelasi satu parameter dengan parameter lain.

Hasil analisis data konsentrasi ozon troposferik dan intensitas radiasi matahari setengah harian di bukit kototabang menunjukkan bahwa trend harian konsentrasi ozon troposferik dan intensitas radiasi matahari tahun 2005, pada *daytime*, yaitu pada pukul 06.00-18.00 memiliki pola yang sesuai, yaitu pada saat terjadi kenaikan intensitas radiasi matahari, maka terjadi kenaikan konsentrasi ozon dan sebaliknya (gambar 4). Kesesuaian ini disebabkan karena ozon troposferik merupakan polutan sekunder yang terbentuk dari reaksi fotokimia, di mana reaksi fotokimia ini terjadi dengan adanya energi dari radiasi matahari.



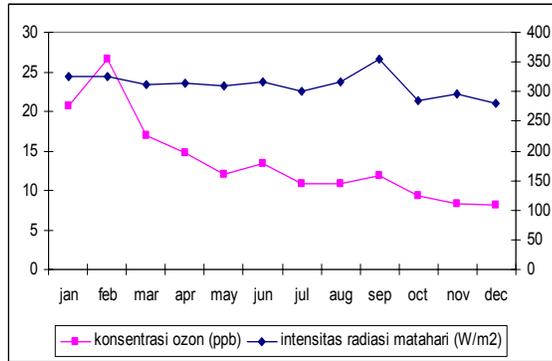
Gambar 4. Trend setengah harian konsentrasi ozon troposferik dan intensitas radiasi matahari di Bukit Kototabang.

Gambar 5 menunjukkan tren diurnal dari konsentrasi ozon troposferik dan intensitas radiasi matahari di Bukit Kototabang pada *daytime* yaitu pukul 06.00 hingga 18.00. Pada grafik dapat diketahui bahwa konsentrasi ozon mulai meningkat dengan meningkatnya intensitas radiasi matahari dan konsentrasi ozon troposferik mencapai nilai maksimum pada sekitar pukul 11 hingga 15. Penurunan intensitas radiasi setelah mencapai maksimum tidak langsung diikuti penurunan konsentrasi ozon, karena reaksi fotokimia membutuhkan waktu hingga terbentuk molekul ozon. Setelah sekitar pukul 15 konsentrasi ozon semakin menurun dengan semakin berkurangnya intensitas radiasi matahari.

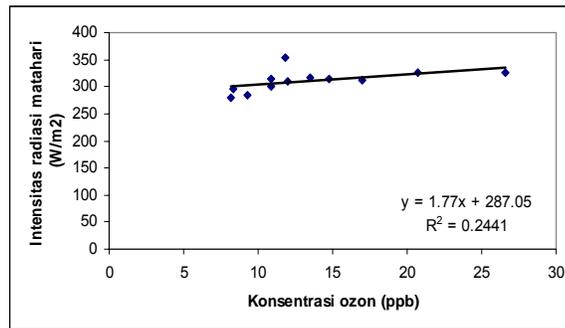


Gambar 5. Variasi diurnal konsentrasi ozon troposferik dan intensitas radiasi matahari

Trend rata-rata bulanan konsentrasi ozon troposferik dengan intensitas radiasi matahari dapat dilihat pada gambar 6 yang menghasilkan nilai r^2 sebesar 0.2441 dan nilai korelasinya (r) sebesar 0.494.

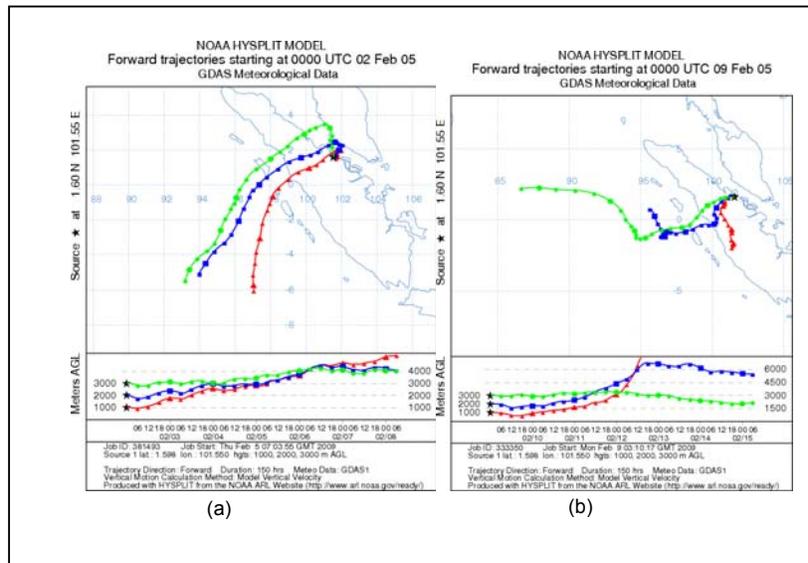


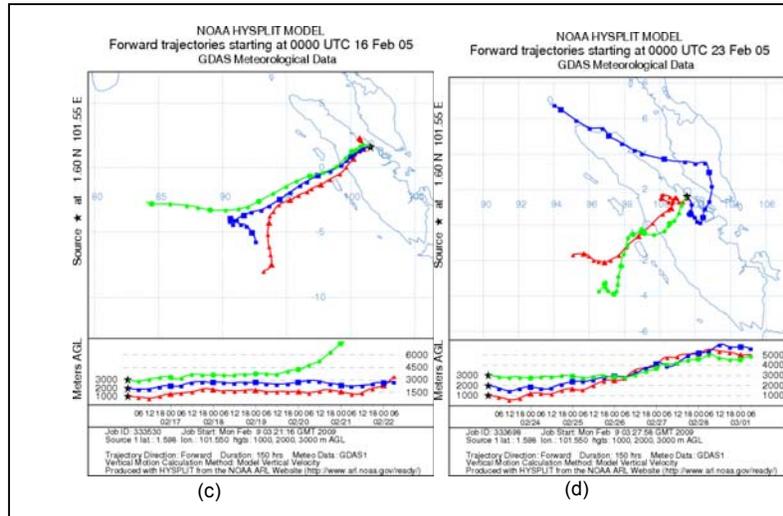
Gambar 6. Grafik rata-rata bulanan konsentrasi ozon dan intensitas radiasi matahari



Gambar 7. Hubungan konsentrasi ozon troposferik dengan intensitas radiasi matahari

Tingginya konsentrasi ozon pada bulan Februari lebih disebabkan oleh pengaruh kebakaran hutan yang terjadi di Wilayah Sumatra, terutama yang terjadi di Riau (<http://www.dephut.go.id/>, 2009), di mana pada saat itu trayektori menunjukkan bahwa angin dari Riau mengarah ke Bukit kototabang (Gambar 8)

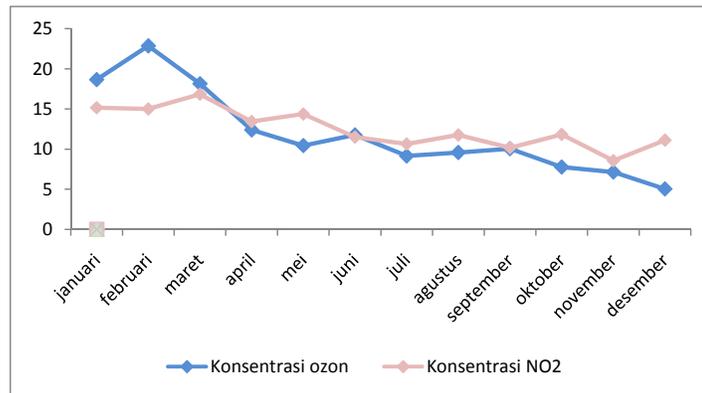




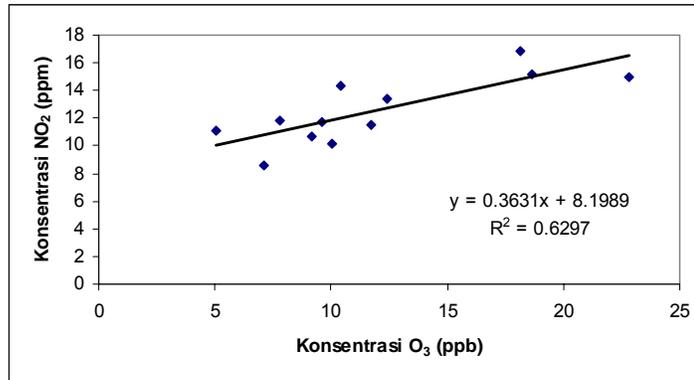
Gambar 8. Trayektori massa udara Februari 2005
(Sumber: <http://www.arl.noaa.gov/ready.php>)

Terjadinya kebakaran hutan akan meningkatkan emisi NO_x , CO, CO_2 , CH_4 , nonmethane hydrocarbon dan materi partikulat. Peningkatan CO dan NO_x yang merupakan precursor utama ozon di troposfer akan meningkatkan konsentrasi ozon (Seinfeld and Pandis, 1997).

Gambar 9 menunjukkan plot antara data rata-rata bulanan konsentrasi ozon troposferik dan konsentrasi Nitrogen dioksida di Bukit Kototabang tahun 2005. Pada grafik dapat diketahui bahwa ozon dan Nitrogen dioksida memiliki trend konsentrasi yang sama, yang cenderung turun dalam satu tahun. Hubungan konsentrasi ozon troposferik dan Nitrogen dioksida pada gambar 10 memberikan nilai r^2 0.6297 dan nilai korelasinya (r) cukup tinggi yaitu sebesar 0,794. Hal ini berkaitan dengan peran NO_2 sebagai precursor utama dalam pembentukan ozon di troposfer sebagai polutan sekunder.



Gambar 9. Rata-rata bulanan konsentrasi ozon dan Nitrogen Dioksida

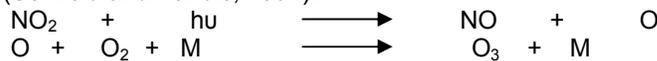


Gambar 10. Hubungan konsentrasi Ozon dan Nitrogen Dioksida

Hubungan antara konsentrasi ozon, intensitas radiasi matahari, dan konsentrasi Nitrogen dioksida dapat dikaitkan dengan proses pembentukan ozon di troposfer. Ozon troposferik terbentuk dari reaksi fotokimia dari precursor ozon yaitu NO_x (NO dan NO₂), CO, dan VOC (Akimoto, 2006). NO₂ akan secara langsung mengalami reaksi fotokimia, sedangkan CO dan VOC merupakan agen yang membantu perubahan NO menjadi NO₂ (Seinfeld and Pandis, 1997).

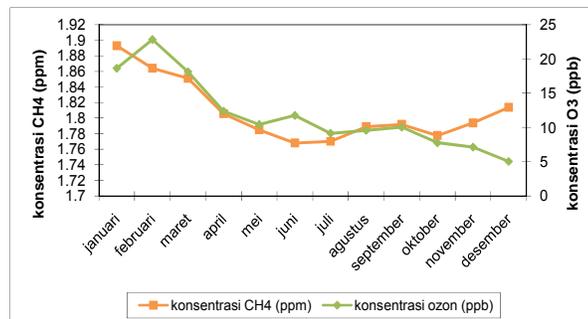
Reaksi fotokimia di lapisan troposfer apabila terdapat molekul yang dapat menyerap radiasi dengan panjang gelombang lebih dari 290 nm karena hanya intensitas radiasi matahari yang lebih dari 290 nm yang dapat menembus lapisan troposfer. Molekul yang dapat menyerap radiasi matahari dengan panjang gelombang di atas 290 nm adalah NO₂ sehingga NO₂ akan mengalami fotodisosiasi menghasilkan atom O yang selanjutnya akan bereaksi dengan oksigen (O₂) membentuk ozon (O₃).

Fotodisosiasi NO₂ adalah tahap awal yang penting dalam reaksi pembentukan ozon. Adapun reaksi pembentukan ozon melalui reaksi fotokimia dapat dituliskan sebagai berikut (Seinfeld and Pandis, 1997):

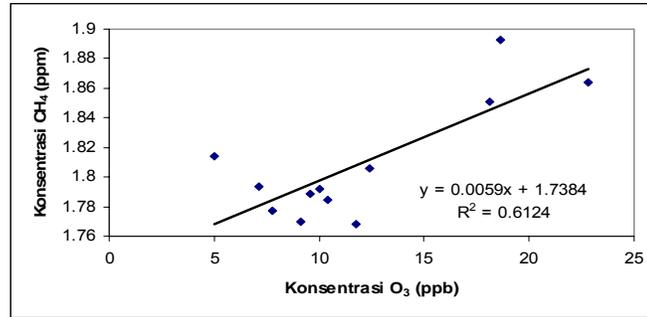


M adalah molekul lain yang menyerap kelebihan energi vibrasional sehingga menstabilkan molekul ozon yang terbentuk dalam reaksi fotokimia.

Grafik konsentrasi rata-rata bulanan ozon troposferik dan metana selama tahun 2005 menunjukkan bahwa dalam satu tahun konsentrasi ozon dan metana sama-sama cenderung mengalami penurunan. Tren ini menunjukkan bahwa metana juga memberikan kontribusi pada konsentrasi ozon troposferik. Plot konsentrasi ozon dan metana menghasilkan nilai r^2 0,6214 dan nilai korelasinya (r) adalah sebesar 0,782.

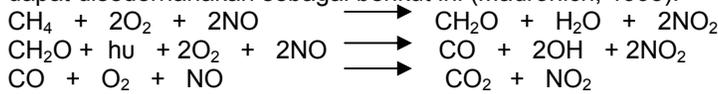


Gambar 11. Rata-rata bulanan konsentrasi metana dan ozon

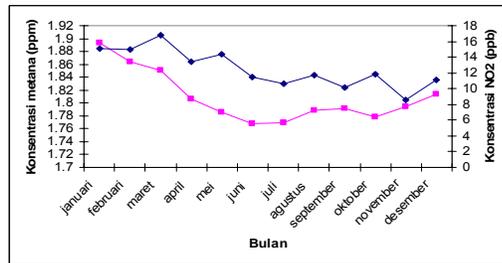


Gambar 12. Hubungan konsentrasi Ozon dan Metana

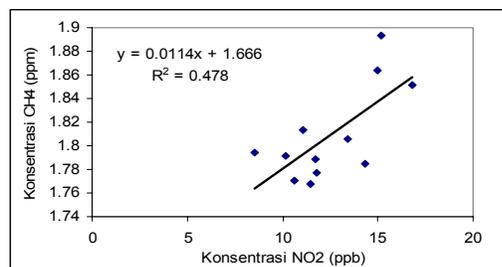
Metana berperan dalam reaksi pembentukan ozon di troposfer tidak secara langsung, melainkan melalui proses oksidasinya yang terjadi di atmosfer yang membantu perubahan NO menjadi NO₂ yang selanjutnya akan terlibat dalam reaksi fotokimia pembentukan ozon di troposfer. Dengan adanya konsentrasi NO_x yang cukup tinggi, reaksi oksidasi metana akan menghasilkan ozon permukaan menurut reaksi yang dapat disederhanakan sebagai berikut ini (Madronich, 1993):



Gambar 13 di bawah ini menunjukkan rata-rata bulanan konsentrasi metana dan nitrogen dioksida di Bukit Kototabang selama tahun 2005. Scatter plot dari metana versus Nitrogen Dioksida pada Gambar 14 menghasilkan nilai korelasi sebesar 0.691. Nilai korelasi ini lebih kecil dibandingkan korelasi pada hubungan konsentrasi metana dengan ozon di troposfer, padahal metana tidak mempengaruhi konsentrasi ozon di troposfer secara langsung, tetapi melalui reaksi oksidasinya yang membantu pengubahan NO menjadi NO₂. Ini menunjukkan bahwa trend metana lebih dekat dengan ozon daripada dengan NO₂. Hal ini disebabkan karena reaksi oksidasi metana akan dapat menghasilkan NO₂ apabila konsentrasi NO_x cukup tinggi di atmosfer, dan NO₂ tidak hanya terbentuk melalui reaksi oksidasi metana, melainkan ada sumber lain dari NO₂.



Gambar 13. Rata-rata bulanan konsentrasi metana dan nitrogen dioksida



Gambar 14. Hubungan konsentrasi ozon dan metana

Konsentrasi ozon di troposfer tidak secara penuh bergantung pada intensitas radiasi matahari, konsentrasi Nitrogen dioksida atau Metana. Hal ini ditunjukkan oleh besarnya angka korelasi ozon dengan parameter-parameter tersebut. Konsentrasi ozon masih dipengaruhi oleh parameter lain seperti unsur-unsur meteorologi lain seperti temperatur, arah angin dan kecepatan angin, serta konsentrasi prekursor ozon yang lain.

4. KESIMPULAN

1. Konsentrasi ozon troposferik di Stasiun PAG Bukit Kototabang dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, konsentrasi Nitrogen dioksida (NO_2) dan metana (CH_4) dimana konsentrasi NO_2 memberikan kontribusi paling besar pada pembentukan ozon di troposfer.
2. Konsentrasi ozon di troposferik tidak hanya bergantung pada intensitas radiasi matahari, konsentrasi Nitrogen dioksida (NO_2), dan konsentrasi metana (CH_4), tetapi juga dipengaruhi oleh parameter lain seperti parameter meteorologi dan prekursor ozon selain NO_2 .

5. DAFTAR ACUAN

Akimoto, H., T. Izuta, H. Ueda, I. Uchiyama, T. Ohara, Y. Kohno, K. Kobayashi, S. Wakamatsu, 2006. *Tropospheric Ozone: A Growing Treat. Acid Deposition and Oxidant Research Center, Japan.*

Anonim, 2008. *The Environmental Assessment Panel report for 2002.* tanggal akses: 2 Juni 2008.

Chevalier, A., F. Gheusi, R. Delmas, C. Ordonez, C. Sarratz, R. Zbinden, V. Thouret, G. Athier and J.M. Cousin, 2007. Influence of Altitude on Ozone Levels and Variability in the Lower Troposphere: A Ground-Based Study for Western Europe Over Period 2001-2004. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7: 1327–1356.

Doe, J., 1999. The Formation and Transportation of Ozone to West Point. Environmental Data Analysis of Columbia University.

<http://www.dephut.go.id>. tanggal akses: 2 Februari 2009.

<http://www.epa.gov>, Nitrogen Dioxide and Air Radiation. tanggal akses: 28 Januari 2009

<http://www.arl.noaa.gov/ready.php>. HYSPLIT. tanggal akses: 28 Januari 2009.

<http://en.wikipedia.org/wiki/wikipedia:copyright>. Tropospheric Ozone. tanggal akses: 20 Januari 2009.

Madronich, 1993. Tropospheric Photochemistry and its Response to UV Changes. *The role of the stratosphere in global change*. Vol. 18. NATO-ASI Series, ed. M-L. Chanin, 437-61. Amsterdam: Springer-Verlag.

Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis, 1997. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Canada: John Willey and Sons, Inc.

Wuebbles, D.J and hayhone Kathrine, 2002. *Atmospheric Methane: Trends and Impacts*. www.atmosresearch.com, tanggal akses: 28 Januari 2009.

KOMPARASI RADIASI MATAHARI GLOBAL ANTARA HASIL PENGUKURAN DENGAN HASIL PERHITUNGANNYA PERIODE JANUARI-JULI 2008 DI STASIUN GAW BUKIT KOTOTABANG

Agusta Kurniawan & Yosfi Andri

Stasiun Pengamat Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat

Abstract

Study of inter comparison of period January-July 2008 Global Solar Irradiance Data between measurement and calculation result had been done. Global solar irradiance measurement data was collected from Eppley Precision Solar Pyranometer, whereas calculation data was obtained from the addition of diffuse irradiance and direct irradiance times cosine zenith. Diffuse irradiance was obtained from Eppley Precision Solar Pyranometer covered by shadow disc, direct irradiance was obtained from Eppley Normal Incidence Pyrheliometer, while cosine zenith value was obtained from the output of Quick Basic Program written by Herizal. Result using simple correlation found match between those two data. Percentage difference monthly global solar irradiance in the range 2-10 %. Daily global solar irradiance showed correlation of 0.860, while diurnal global solar irradiance showed correlation of above 0.99 for period January to July in 2008.

Keywords: *Global Solar Irradiance, Diffuse and Direct, Zenith, Pyranometer, Pyrheliometer.*

1. PENDAHULUAN

Radiasi matahari adalah radiasi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan melalui proses fusi inti (nuklir), di mana hidrogen diubah menjadi helium. Selama proses fusi tersebut, sebagian massa diubah menjadi energi. Radiasi yang dipancarkan berupa gelombang elektromagnetik dengan 73,5 juta watt tiap m² pada permukaan matahari. Dengan jarak rata-rata matahari-bumi sejauh 150 juta km, radiasi yang sampai di puncak atmosfer rata-rata sebesar 1367 Wm⁻².

Radiasi matahari dalam perjalannya ke permukaan bumi mengalami penyerapan (absorpsi), pemantulan, hamburan dan pemancaran kembali oleh partikel - partikel yang ada di atmosfer. Ozon, aerosol dan uap air dalam atmosfer menyerap hingga 18% radiasi matahari. Oleh karena keberadaan debu, awan, gas dan aerosol, maka radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi dibagi menjadi 3 bagian yaitu, radiasi langsung (*direct*), radiasi baur (*diffuse*) dan radiasi global. Radiasi langsung adalah radiasi matahari yang secara langsung berasal dari piringan matahari dan diterima permukaan bumi, radiasi matahari baur yaitu radiasi matahari yang telah mengalami pelemahan oleh materi-materi yang ada di atmosfer, misalnya:debu, awan, ozon dan aerosol, sedangkan radiasi global merupakan gabungan antara radiasi langsung dan radiasi baur.

Secara matematis hubungan antara ketiga besaran radiasi matahari tersebut dapat ditulis :

$$I_{glb} = I_{dir} \cos \text{zenit} + I_{dif}$$

Dimana :

| | |
|-----------|-----------------------------|
| I_{glb} | = radiasi matahari global |
| I_{dir} | = radiasi matahari langsung |
| I_{dif} | = radiasi matahari baur |
| Cos zenit | = cosinus sudut zenith |

Secara fisis matematis dapat diartikan, jika udara cerah maka sebagian besar dari radiasi matahari global berasal dari radiasi matahari langsung, sebaliknya saat udara mendung maka sebagian besar radiasi matahari global berasal dari radiasi matahari baur.

Posisi matahari di lengkung langit dinyatakan ke dalam besaran sudut zenit matahari (*solar zenith angle*) atau elevasi matahari (*solar elevation*) dan azimuth matahari (*solar azimuth*). Sudut zenit matahari adalah sudut antara lokal zenit (*local zenith*) dengan garis yang menghubungkan observer dan matahari, besarnya antara 0° hingga 90° . Elevasi matahari α adalah tinggi matahari (*angular height*) di atas bidang horizon observer. Elevasi kadang disebut juga *solar altitude*. Elevasi nilainya juga antara 0° hingga 90° . *solar altitude* adalah pelengkap dari sudut zenit matahari. Azimut matahari adalah sudut pada lokal zenit antara bidang meridian observer dengan bidang lingkaran besar yang melewati zenit dan matahari. Azimut matahari didefinisikan positif jika matahari berada di sebelah timur dan negatif jika matahari di sebelah barat, sedangkan jika matahari tepat di garis utara/selatan azimut matahari sama dengan nol. Harga azimut matahari bervariasi antara 0° hingga 180° . Dengan adanya perbedaan posisi matahari di lengkung langit pada setiap waktunya tentunya akan menyebabkan perbedaan intensitas matahari global yang diterima permukaan bumi.

Berbeda dengan stasiun-stasiun pengamat radiasi sinar matahari yang lain, Stasiun GAW Bukit Kototabang mempunyai keistimewaan yaitu pengamatan parameter dasar sinar matahari dilakukan di lokasi yang sama. Parameter dasar radiasi matahari yang dimaksud adalah: radiasi matahari global, radiasi matahari baur dan radiasi matahari langsung. Oleh karena itu dengan mengkorelasi antara pengukuran radiasi matahari global dengan pengukuran radiasi matahari langsung dan baur atau dalam hal ini disebut perhitungan radiasi global, dapat kita gunakan sebagai evaluasi data pengukuran radiasi global itu sendiri dan dapat digunakan sebagai alternatif substitusi data bila terdapat salah satu kerusakan instrumen.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Instrumentasi

Alat yang digunakan untuk mengukur radiasi matahari yaitu Piranometer dan Pirheliometer. Radiasi matahari yang diukur dalam hal ini adalah dari radiasi global, radiasi baur (*diffuse*) dan radiasi langsung (*direct*). Peralatan yang digunakan dalam pengukuran radiasi tersebut merupakan tipe *Epply*. Peralatan tersebut adalah:

- a) Alat untuk mengukur radiasi langsung dalam arah normal yaitu *Eppley NIP (Normal Incidence Pyrheliometer)*. *Automatic Solar Tracker* untuk menggerakkan *Eppley NIP (Normal Incidence Pyrheliometer)* agar selalu mengarah ke pusat matahari setiap waktu. Detektor diletakkan pada *collimating tube* dengan diafragma berwarna hitam pada bagian dalamnya. *Tube* dilengkapi filter untuk melindungi pengaruh udara kering dengan jendela *Quart* setebal 1 mm yang mampu melangsungkan radiasi matahari dengan panjang gelombang 200 sampai 500 nm. Alat ini mempunyai sensitivitas $8,16 \cdot 10^{-6} \text{ V/Wm}^2$, dengan faktor kalibrasi $122,55 \text{ Wm}^{-2}/\text{mV}$.



Gambar 1. *Eppley NIP*



Gambar 2. *Automatic Solar Tracker, Model SMT-3*

- b) Alat yang digunakan untuk mengukur radiasi matahari global yang berasal dari seluruh lengkung langit yaitu *Eppley PSP (Precision Spectral Pyranometer)*. Besarnya radiasi matahari global menunjukkan besarnya radiasi matahari yang diterima permukaan bumi. Piranometer ini merupakan piranometer komersial yang paling presisi dengan sensitivitas $\pm 0,7\%$, pada suhu antara 20° - 40° C. Piranometer ini dilengkapi dengan detektor yang terdiri dari 10 sampai 50 sambungan (*junction*) termopil. Detektor tersebut terletak di dalam kaca konsentrik setengah bola berdiameter 7,6 mm yaitu kaca soda limun yang mentransmisikan sinar matahari dengan panjang gelombang (λ) antara $0,32\ \mu\text{m}$ sampai dengan $4,2\ \mu\text{m}$. Sebuah piringan kromium melindungi detektor dari radiasi yang datang dari arah bawah dan disangga oleh soket perunggu.



Gambar 3. *Eppley PSP*

- c) Alat yang digunakan untuk mengukur radiasi matahari baur (*diffuse*) adalah *Eppley PSP (Precision Solar Pyranometer)* yang dilengkapi dengan *Shadow Band*. *Shadow Band* (pita bayangan) berfungsi melindungi dari radiasi langsung.



Gambar 4. *Eppley PSP dilengkapi Shadow Band*

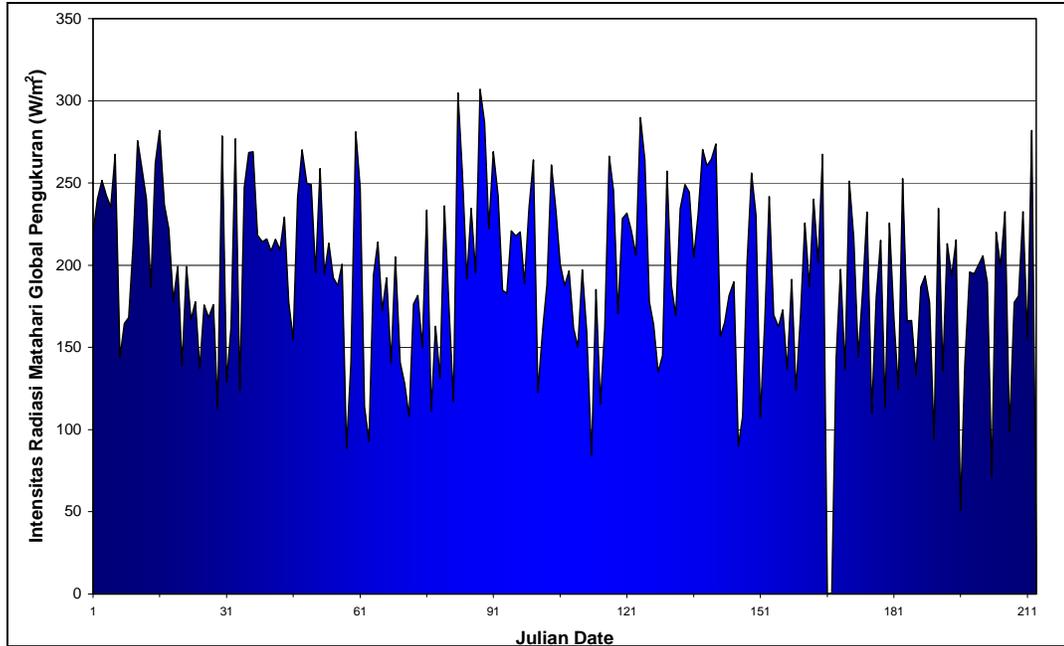
Pengolahan Data

- a) Raw data yang diperoleh dari hasil pengukuran rangkaian pengukuran radiasi matahari, terdiri dari baris data berisi nomor line dari CR10, tahun, julian date, jam dan menit, tegangan baterai CR10, temperatur CR10, tegangan rata-rata pertiga menit pirheliometer, tegangan rata-rata pertiga menit global piranometer, tegangan rata-rata pertiga menit difuse piranometer dan resistansi dari masing-masing radiometer.
- b) Data Radiasi Global Pengukuran diperoleh dengan langkah berikut:
- Raw data dikonversi waktunya dari GMT ke WIB, sesuai dengan rumus $WIB = GMT + 7$
 - Radiasi matahari gobal = tegangan rata-rata per tiga menit global piranometer dikalikan sensitivitasnya
 - Data radiasi matahari global rata-rata per tiga menit diubah menjadi rata-rata per jam (diurnal)
 - Data radiasi matahari global rata-rata per jam (diurnal) diubah menjadi rata-rata harian
- c) Data Radiasi Global Perhitungan diperoleh dengan langkah berikut:
- Raw data dikonversi waktunya dari GMT ke WIB, sesuai dengan rumus $WIB = GMT + 7$
 - Radiasi matahari baur = tegangan rata-rata per tiga menit baur piranometer dikalikan sensitivitasnya
 - Data radiasi matahari baur rata-rata per tiga menit diubah menjadi rata-rata per jam (diurnal)
 - data radiasi matahari baur rata-rata per jam (diurnal) diubah menjadi rata-rata harian
 - radiasi matahari langsung = tegangan rata-rata per tiga menit pirheliometer dikalikan sensitivitasnya
 - data radiasi matahari langsung rata-rata per tiga menit diubah menjadi rata-rata per jam (diurnal)
 - data radiasi matahari langsung rata-rata per jam (diurnal) diubah menjadi rata-rata harian
 - Nilai sudut zenit diperoleh dari output program quick basic buatan Herizal, yang kemudian diubah menjadi nilai cosinus zenit
 - data radiasi matahari global perhitungan diperoleh dari rumus
- $$I_{glb} = I_{dir} \cos \text{zenit} + I_{dif}$$
- Dimana :
- I_{glb} = radiasi matahari global
 - I_{dir} = radiasi matahari langsung
 - I_{dif} = radiasi matahari baur
 - Cos zenit = cosinus sudut zenith
- d) Dibuat korelasi sederhana untuk mengetahui hubungan radiasi global pengukuran dengan radiasi global perhitungan.

5. HASIL PENELITIAN

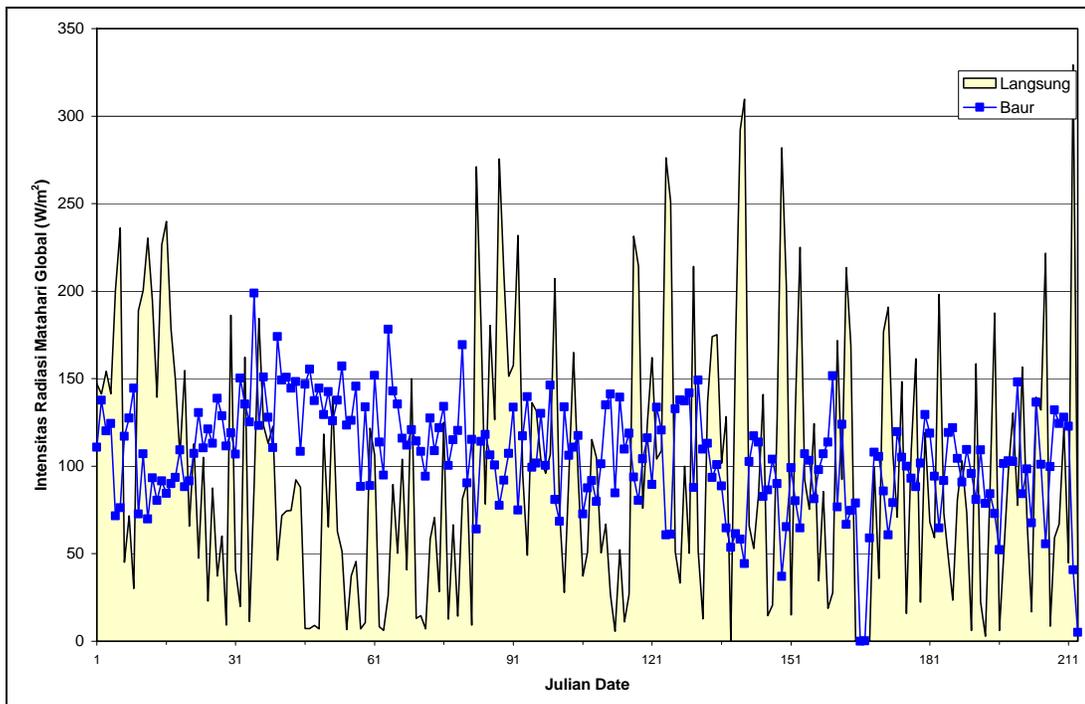
Selama periode Januari-Juli 2008, rata-rata radiasi matahari global hasil pengukuran dengan *Eppley PSP* yang diterima permukaan bumi Bukit Kototabang, dengan rata-rata sebesar $193,00 \text{ Wm}^{-2}$ dengan standar deviasi sebesar $55,33 \text{ Wm}^{-2}$. Nilai maksimum harian sebesar $307,04 \text{ Wm}^{-2}$ terjadi pada *Julian Date* 88 artinya pada tanggal 28 Maret 2008, nilai minimum harian sebesar $27,54 \text{ Wm}^{-2}$ terjadi pada *Julian Date* 213 artinya pada tanggal 31 Juli 2008, dan ada 4 hari dalam periode tersebut di mana data tidak tersedia, yaitu pada *Julian Date* 165,166,167 dan168.

Data pengamatan radiasi matahari global rata-rata harian dari 1 Januari 2008 sampai 31 Juli 2008, disajikan pada grafik berikut:



Gambar 5. Radiasi Matahari Global Rata-Rata Harian Januari-Juli 2008 (hasil pengukuran)
 Keterangan :
 Untuk *Julian Date*: 1 = 1 Januari, 2 = 2 januari, ..., 366 = 31 desember

Intensitas sinar matahari global perhitungan diperoleh dari data pengukuran sinar matahari baur dan sinar matahari langsung yang dikoreksi dengan nilai cosinus sudut zenit matahari. Sehingga data radiasi matahari langsung dan radiasi matahari baur sangat menentukan nilai radiasi matahari global perhitungan yang didapatkan.



Gambar 6. Radiasi Matahari Langsung dan Baur Rata-Rata Harian Januari-Juli 2008 (hasil pengukuran)

Selama periode Januari-Juli 2008, rata-rata radiasi matahari langsung hasil pengukuran dengan *Eppley NIP* yang diterima permukaan bumi Bukit Kototabang, dengan rata-rata sebesar $99,22 \text{ Wm}^{-2}$ dengan standar deviasi sebesar $73,62 \text{ Wm}^{-2}$. Nilai maksimum harian sebesar $329,23 \text{ Wm}^{-2}$ terjadi pada *Julian Date* 212 artinya pada tanggal 30 Juli 2008, nilai minimum harian sebesar $0,66 \text{ Wm}^{-2}$ terjadi pada *Julian Date* 138 artinya pada tanggal 17 Mei 2008.

Sementara itu untuk rata-rata radiasi matahari baur selama periode Januari-Juli 2008, hasil pengukuran dengan *Eppley PSP* dilengkapi *Shadow Band* yang diterima permukaan bumi Bukit Kototabang, dengan rata-rata sebesar $106,10 \text{ Wm}^{-2}$ dengan standar deviasi sebesar $30,26 \text{ Wm}^{-2}$. Nilai maksimum harian sebesar $198,85 \text{ Wm}^{-2}$ terjadi pada *Julian Date* 35 artinya pada tanggal 4 Februari 2008, nilai minimum harian sebesar $5,175 \text{ Wm}^{-2}$ terjadi pada *Julian Date* 35 artinya pada tanggal 31 Juli 2008.

Untuk mendapatkan data radiasi matahari global perhitungan, komponen terakhir yang diperlukan adalah nilai cosinus zenit. Hubungan secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

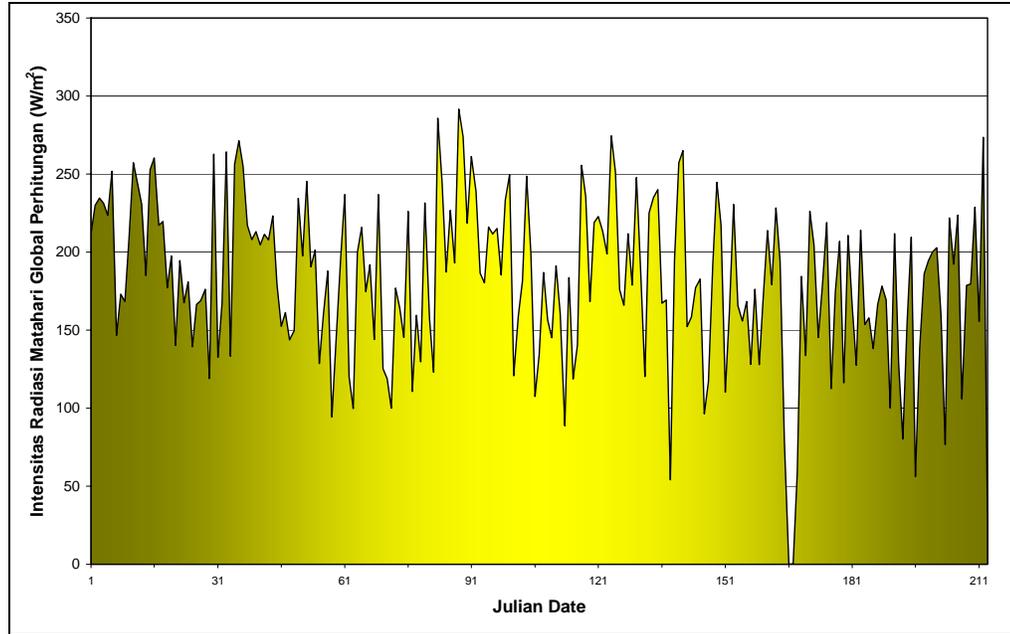
$$I_{\text{glb}} = I_{\text{dir}} \cos \text{zenit} + I_{\text{dif}}$$

Dimana : I_{glb} = radiasi matahari global perhitungan
 I_{dir} = radiasi matahari langsung
 I_{dif} = radiasi matahari baur
 Cos zenit = cosinus sudut zenith

Sudut zenit yang dimaksud adalah sudut yang terbentuk antara posisi matahari saat itu dengan posisi matahari jam 12 siang dimana posisi observer/pengamat sedang berdiri. Besaran sudut zenit antara 0° sampai 90° . Untuk dapat memperoleh nilai zenit setiap jam, dari jam 06.00 sampai 18.00, disini penulis menggunakan software buatan Herizal yang ditulis dalam program quick basic. Hasil sudut zenit yang didapatkan kemudian diubah menjadi nilai cosinus zenithnya.

Tabel 1. Contoh keluaran software Herizal diurnal nilai sudut zenit tahun 2008

| Tanggal | Jam (WIB) | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 01-Jan | 87.4 | 73.6 | 60 | 46.9 | 34.9 | 25.7 | 23 | 28.7 | 39.2 | 51.7 | 65 | 78.7 | 87.5 |
| 01-Feb | 87.4 | 73.1 | 58.9 | 45 | 31.9 | 21.1 | 17.5 | 24.6 | 36.6 | 50.1 | 64.1 | 78.3 | 87.4 |
| 01-Mar | 87.3 | 72.4 | 57.6 | 42.8 | 28.2 | 14.3 | 8 | 19.2 | 33.5 | 48.2 | 63 | 77.9 | 87.3 |
| 01-Apr | 87.2 | 72.3 | 57.3 | 42.4 | 27.6 | 13 | 5.4 | 18.4 | 33.1 | 48 | 62.9 | 77.8 | 87.2 |
| 01-Mei | 87.3 | 72.8 | 58.4 | 44.3 | 30.8 | 19.3 | 15.4 | 23.2 | 35.8 | 49.6 | 63.8 | 78.3 | 87.3 |
| 01-Juni | 87.4 | 73.5 | 59.8 | 46.6 | 34.5 | 25.1 | 22.3 | 28.1 | 38.9 | 51.5 | 65 | 78.7 | 87.4 |
| 01-Juli | 87.4 | 73.7 | 60.1 | 47 | 35.1 | 26 | 23.3 | 28.9 | 39.4 | 51.8 | 65.1 | 78.8 | 87.4 |
| 01-Agt | 87.3 | 73.1 | 59 | 45.2 | 32.2 | 21.6 | 18.2 | 25.1 | 36.9 | 50.3 | 64.2 | 78.4 | 87.3 |
| 01-Sep | 87.2 | 72.4 | 57.6 | 42.8 | 28.3 | 14.7 | 8.7 | 19.6 | 33.7 | 48.3 | 63.1 | 77.9 | 87.2 |
| 01-Okt | 87.1 | 72.2 | 57.2 | 42.2 | 27.3 | 12.6 | 4.3 | 18.2 | 33 | 48 | 62.9 | 77.9 | 87.1 |
| 01-Nov | 87.2 | 72.7 | 58.3 | 44.1 | 30.5 | 18.8 | 14.8 | 22.9 | 35.6 | 49.5 | 63.8 | 78.3 | 87.2 |
| 01-Des | 87.3 | 73.5 | 59.8 | 46.5 | 34.3 | 24.8 | 22 | 27.9 | 38.8 | 51.5 | 65 | 78.7 | 87.3 |



Gambar 7. Radiasi Matahari Global Rata-Rata Harian 2008 (hasil perhitungan)

Nilai radiasi matahari global perhitungan yang diperoleh selama periode Januari-Juli 2008, dengan rata-rata sebesar $181,57 \text{ Wm}^{-2}$ dengan standar deviasi sebesar $52,68 \text{ Wm}^{-2}$. Nilai maksimum harian sebesar $291,62 \text{ Wm}^{-2}$ terjadi pada *Julian Date* 88 artinya pada tanggal 28 Maret 2008, nilai minimum harian sebesar $26,70 \text{ Wm}^{-2}$ terjadi pada *Julian Date* 213 artinya pada tanggal 31 Juli 2008, dan ada 4 hari dalam periode tersebut di mana data tidak tersedia, yaitu pada *Julian Date* 165, 166, 167 dan 168.

5.1. Perbandingan Radiasi Matahari Global Antara Hasil Pengukuran dengan Hasil Perhitungan

5.1.1. Rata-rata Bulanan

Perbandingan radiasi global diurnal antara hasil pengukuran dengan *Eppley PSP* dengan hasil perhitungan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Perbandingan radiasi matahari global bulanan periode Januari-Juli 2008 antara pengukuran dengan perhitungan

| Bulan | Radiasi Global (W/m^2) | Max | Min | Stdev | Rata-rata | Selisih | % Selisih |
|-------|-----------------------------------|----------|----------|----------|-----------|---------|-----------|
| Jan | Pengukuran | 755,3516 | 0,106452 | 276,9908 | 204,8009 | 5,74 | 2,88 |
| | Perhitungan | 717,3556 | 0,146519 | 265,2959 | 199,0606 | | |
| Feb | Pengukuran | 794,3621 | 0,003448 | 302,833 | 212,2657 | 19,21 | 9,95 |
| | Perhitungan | 701,7115 | 0,063395 | 261,9157 | 193,051 | | |
| Mar | Pengukuran | 652,0419 | 0,106452 | 246,0635 | 189,9253 | 3,77 | 2,03 |
| | Perhitungan | 637,6559 | 0,153277 | 240,0537 | 186,1546 | | |
| Apr | Pengukuran | 747,16 | 0,483333 | 287,0011 | 195,4807 | 10,78 | 5,83 |
| | Perhitungan | 707,6935 | 0,480473 | 266,7148 | 184,7037 | | |
| Mei | Pengukuran | 800,5517 | 0,196774 | 287,3014 | 207,3452 | 18,81 | 9,98 |
| | Perhitungan | 722,3984 | 0,226008 | 261,2648 | 188,5337 | | |
| Jun | Pengukuran | 666,2433 | 1,527586 | 247,414 | 171,0495 | 14,88 | 9,53 |
| | Perhitungan | 596,1055 | 0,301895 | 219,585 | 156,1671 | | |
| Jul | Pengukuran | 647,6167 | 0,125806 | 250,2576 | 180,031 | 16,66 | 10,20 |
| | Perhitungan | 590,6342 | 0,291053 | 225,7402 | 163,3725 | | |

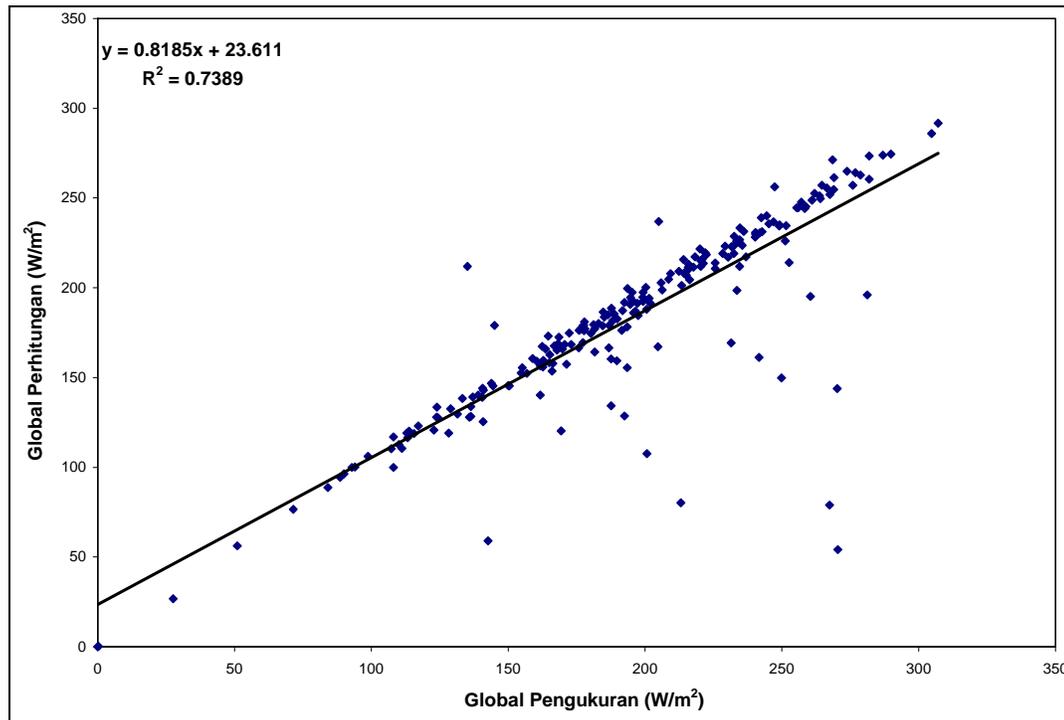
Ternyata selama periode Januari-Juli 2008, dengan melihat data rata-rata bulanan menunjukkan bahwa data radiasi matahari global pengukuran sangat sesuai dengan radiasi matahari global hasil perhitungan, hal itu ditunjukkan dengan nilai persentase selisih yang berkisar antara 2% sampai 10 %, hal itu menunjukkan bahwa kinerja alat masih bagus.

5.1.2. Rata-rata Harian

Metode korelasi sederhana dan regresi linier sederhana digunakan untuk menganalisa perbandingan antara radiasi matahari global rata-rata harian pengukuran dengan dengan rata-rata harian hasil perhitungan, Data radiasi matahari global harian selama periode tahun 2008, disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 2. Data radiasi matahari global harian selama periode tahun 2008

| Parameter | Intensitas Matahari Global 2008 (W/m ²) | |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|
| | Pengukuran | Perhitungan |
| Rata-rata | 193,00 | 181,57 |
| Maksimum | 307,04 | 291,62 |
| Minimum | 27,54 | 26,70 |
| Standar Deviasi | 55,33 | 52,68 |
| Standar Deviasi Selisih Pengukuran kurang Perhitungan | 28,73 | |
| Jumlah Data | 209 | |
| Korelasi Pearson | 0,860 | |
| Persamaan Garis | $y = 0,8185x + 23,611$ | |



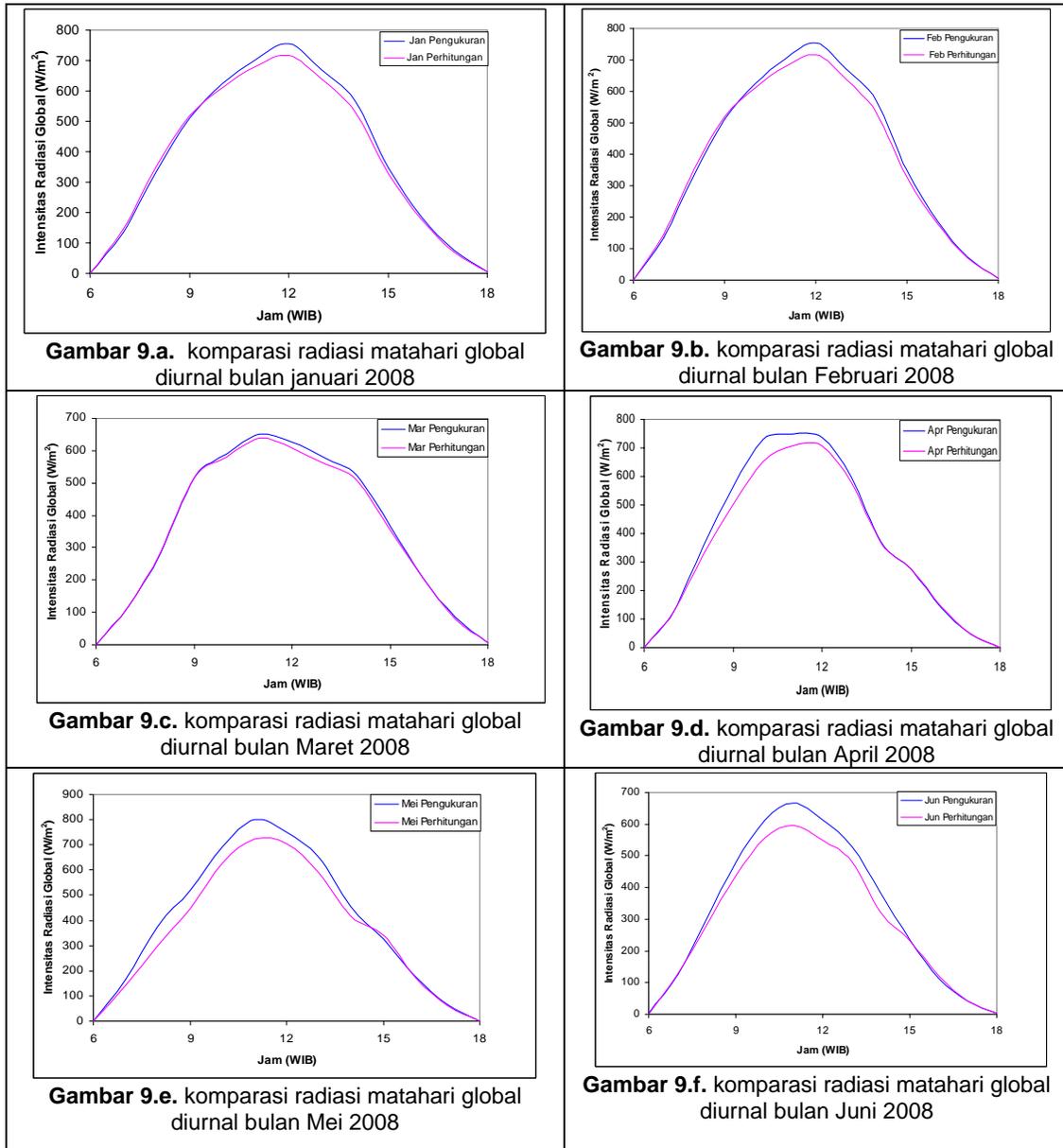
Gambar 8. Komparasi radiasi matahari global rata-rata harian periode Januari-Juli 2008 antara pengukuran dengan perhitungan

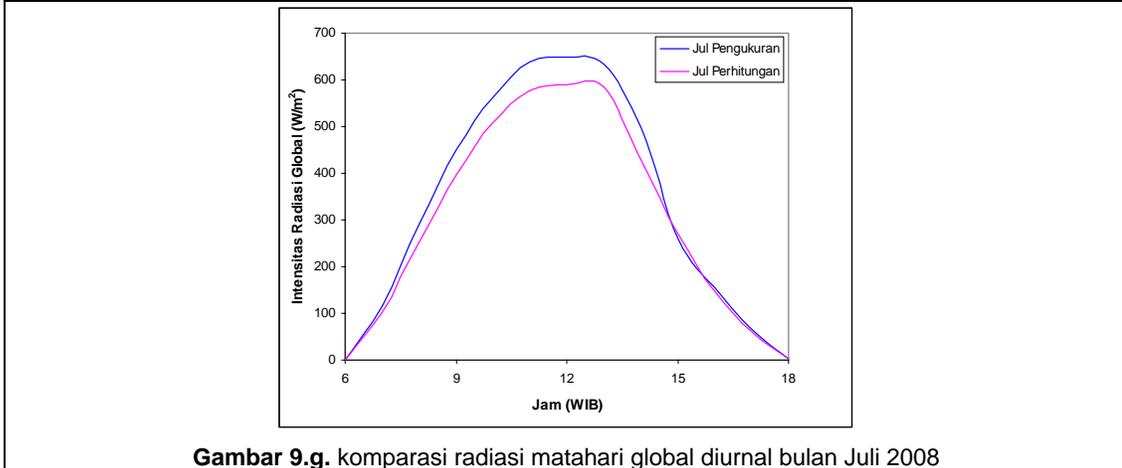
Dengan menggunakan metode korelasi Pearson, didapatkan nilai hubungan radiasi matahari global pengukuran terhadap global perhitungan cukup tinggi sebesar 0,860 ,

artinya rata-rata harian hasil pengukuran radiasi matahari global tidak jauh berbeda hasil perhitungannya. Standar deviasi selisih hasil pengukuran dengan hasil perhitungan dan selisih besarnya nilai rata-rata hasil pengukuran dan perhitungan dapat digunakan sebagai indikator kinerja dari instrumen tersebut. Standar deviasi selisih pengukuran dan perhitungan sebesar $28,73 \text{ W/m}^2$ dan selisih rata-rata hasil pengukuran dengan perhitungan sebesar $11,43 \text{ W/m}^2$ atau kurang lebih 6 %, hal itu menunjukkan bahwa selama periode Januari - Juli 2008 pengukuran radiasi sinar matahari global, baur dan langsung masih baik.

5.1.3 Perbandingan Radiasi Matahari Global Rata-rata Diurnal

Untuk lebih objektif lagi menilai hasil komparasi radiasi matahari global, maka sebagai perbandingan ditampilkan radiasi matahari global rata-rata diurnal. Data radiasi matahari diurnal merupakan hasil rata-rata dari data radiasi matahari per tiga menit, hasil keluaran/output dari alat.





Gambar 9.g. komparasi radiasi matahari global diurnal bulan Juli 2008

Tabel 3. Hasil korelasi radiasi matahari global diurnal periode Januari sampai Juli 2008

| Bulan | Hasil Korelasi Pengukuran dengan Perhitungan |
|-------|----------------------------------------------|
| Jan | 0.998628 |
| Feb | 0.994879 |
| Mar | 0.999808 |
| Apr | 0.998258 |
| Mei | 0.996915 |
| Jun | 0.998679 |
| Jul | 0.998244 |

Pola kesesuaian nilai hasil pengukuran radiasi matahari global dibandingkan hasil perhitungannya sangat nampak dari hasil korelasinya. Tingginya nilai korelasi diurnal hasil pengukuran dengan hasil perhitungan dari bulan Januari 2008 sampai bulan Juli 2008, yang kesemua nilainya berada diatas 0,99, menunjukkan bahwa pengukuran radiasi matahari global tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungannya atau bisa kinerja instrumen pengukur radiasi matahari global, baik maupun langsung selama periode Januari sampai Juli 2008 baik.

6. KESIMPULAN

Dari penjelasan dan paparan di atas, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengukuran Radiasi Matahari Global di Bukit Kototabang periode Januari – Juli 2008 dengan *Eppley PSP* sangat sesuai dengan hasil perhitungannya, ditunjukkan dengan radiasi matahari global rata-rata bulanan, rata-rata harian dan rata-rata diurnal.
2. Rata-rata bulanan selama periode bulan Januari sampai Juli 2008 menunjukkan persentase selisih perbedaan nilai sebesar 2-10 %, hasil korelasi rata-rata harian sebesar 0,860 dengan data yang tersedia sebanyak 209 hari. Sedangkan secara diurnal pengukuran radiasi matahari dengan perhitungan menunjukkan nilai korelasi yang tinggi kesemuanya berada diatas 0,99.

7. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Drs, Herizal MSi karena telah bersedia membuatkan software penentuan sudut zenit diurnal sehingga dapat memperoleh data nilai data cosinus zenit yang sangat dibutuhkan untuk selesainya tulisan ini,

8. DAFTAR ACUAN

Andri, Yosfi, 2008, *Laporan Bulanan Radiasi Matahari Bukit Kototabang*, Stasiun GAW Kototabang

Anonim, 2008. *Introduction To Solar Radiation*. artikel lepas download internet

Anonim, 2008. *The Intensity of Solar Radiation*. artikel lepas download internet

Dahni, Dewi Mashri, 2002. *Pengaruh Atmosfer Terhadap Penerimaan Radiasi Matahari Global Di Bukit Kototabang Agam Sumatera Barat*. Skripsi S1. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas.

Irman Sonjaya, 2007. *Menghitung Evapotranspirasi Potensial Dengan Menggunakan Indeks Panas Di Stasiun BMG Dan SMPK Kalimantan Selatan*. Stasiun Klimatologi Banjarbaru, download internet <http://www.pawitral.wordpress.com>

Kurniawan, Agusta dan Yosfi Andri, 2008. *Pengamatan Radiasi Matahari, Awan dan Lama Penyinaran Matahari Di Bukit Kototabang Periode April – Juni 2008*. Buletin Bukit Kototabang, Edisi kedua.

9. LAMPIRAN

- Contoh raw data pengukuran radiasi matahari pada bulan Juni 2008

```

111,2008,153,0,12.18,25.42,1.7109,.55965,.34991,.53548,12.18,12.4,12.49,12.29
111,2008,153,3,12.18,25.42,2.3413,.67353,.36766,.66959,12.12,12.31,12.44,12.2
111,2008,153,6,12.18,25.42,3.2777,.83405,.3896,.88738,12.05,12.19,12.37,12.07
111,2008,153,9,12.18,25.42,3.645,.93671,.41053,.97967,11.97,12.07,12.3,11.96
111,2008,153,12,12.18,25.42,3.8133,.98597,.44141,1.0256,11.89,11.96,12.22,11.84
111,2008,153,15,12.18,25.42,3.8376,1.1129,.50025,1.0661,11.8,11.86,12.14,11.73
111,2008,153,18,12.18,25.41,2.9688,1.1768,.58065,.92962,11.71,11.78,12.08,11.64
111,2008,153,21,12.18,25.39,4.1627,1.5377,.61937,1.1473,11.64,11.73,12.02,11.57
111,2008,153,24,12.18,25.39,3.5875,1.4784,.62393,.98682,11.56,11.66,11.97,11.49
111,2008,153,27,12.18,25.39,4.6237,1.7017,.64662,1.1558,11.47,11.58,11.92,11.41
111,2008,153,30,12.18,25.39,4.2919,1.5484,.60599,1.0344,11.39,11.52,11.87,11.35
111,2008,153,33,12.18,25.39,5.0309,1.7058,.64468,1.1917,11.33,11.5,11.86,11.33
111,2008,153,36,12.18,25.39,5.1798,1.6022,.57812,1.1159,11.28,11.46,11.84,11.28
111,2008,153,39,12.18,25.39,5.2915,1.6314,.5581,1.0734,11.23,11.4,11.79,11.22
111,2008,153,42,12.18,25.39,4.7416,1.6023,.54125,1.0097,11.18,11.35,11.75,11.16
111,2008,153,45,12.18,25.39,5.357,1.9078,.56495,1.1537,11.12,11.27,11.68,11.08
111,2008,153,48,12.18,25.39,5.3986,2.0453,.53946,1.1679,11.06,11.25,11.64,11.03
111,2008,153,51,12.18,25.39,5.3582,2.173,.52655,1.1768,10.99,11.17,11.57,10.95
111,2008,153,54,12.18,25.38,5.3396,2.3423,.52157,1.2008,10.94,11.12,11.5,10.88
111,2008,153,57,12.18,25.36,5.5303,2.5162,.52835,1.2784,10.89,11.06,11.45,10.81
    
```

- Listing program penentuan sudut zenit diurnal ditulis dengan bahasa Pemrograman Quick Basic oleh Herizal

```

CLS
PRINT
REM Program Menghitung Solar Zenith Angle
    
```

```

REM Created by herizal, sep 2008
'Eo=eccentricity correction Factor
'decl=declination
'et=equation of time
'Lsm=Standard Longitude
'Lob= True Longitude
'Lat=latitude

Lsm = -105
Lob = -100,32
lat = -,2
PI = 3,141593

OPEN "c:\qb45\sza.dat" FOR OUTPUT AS #1

FOR i = 1 TO 366
PRINT USING "###"; i;
PRINT #1, USING "###"; i;
dn = i

REM Menghitung Faktor eksentrisitas orbit bumi
gamma = (2 * PI * (dn - 1)) / 365
Eo = 1,00011 + ,034221 * COS(gamma) + ,00128 * SIN(gamma) + ,000719 * COS(2 *
gamma) + ,000077 * SIN(2 * gamma)

REM Menghitung Deklinasi Matahari
decln = (.006918 - ,399912 * COS(gamma) + ,070257 * SIN(gamma) - ,006758 * COS(2 *
gamma) + ,000907 * SIN(2 * gamma) - ,002697 * COS(3 * gamma) + ,00148 * SIN(3 *
gamma)) * (180 / PI)

REM Menghitung Perata Waktu ( equation of time)
Et = (.000075 + ,001868 * COS(gamma) - ,03207 * SIN(gamma) - ,014615 * COS(2 *
gamma) - ,04089 * SIN(2 * gamma)) * (229,18)

REM Konversi dari derajat ke radian
lat = lat * PI / 180
decln = decln * PI / 180
Et = Et * PI / 180

REM Menghitung Sudut Jam ( hour angle, W )
FOR j = 6,5 TO 18,5 STEP 1
Hls = j
Hs = Hls + (1 / 60) * Et + (1 / 15) * (Lsm - Lob)
w = 15 * (12 - Hs)

w = w * PI / 180

REM Menghitung Sudut Zenit dan Elevasi Matahari
sa = SIN(decln) * SIN(lat) + COS(decln) * COS(lat) * COS(w)
sa = ATN(SQR(1 - sa ^ 2) / sa) / (PI / 180)
se = 90 - sa
PRINT USING "###,##"; sa;
PRINT #1, USING "###,##"; sa;
NEXT j
PRINT
PRINT #1,
NEXT i
1000 END

```

VALIDITAS TEI MODEL 49PS#52307-291 OZONE CALIBRATOR DI SPAG BUKIT KOTOTABANG

Asep Firman Ilahi

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat

Abstract

Validation including accuracy and precision toward TEI Model 49PS#52307-291 operated at Global GAW Bukit Kototabang had been done. There's a synchronization between WMO-WCC EMPA's outcome with the validation test. Test method that being used here are t-student test against mean response value, %RSD, %Recovery and Control Chart. Response value of 10 – 50 ppb are more accurate and precise than 0 and >80 ppb. External condition had interfered both control chart based mean and based %recovery. On the other hand response value linearity almost perfect projected target value with R^2 0,9998.

Keywords : Response and Target Value, Ozone Level, Accuracy, Precision.

1. PENDAHULUAN

Objektifitas mutu data pengamatan ozon permukaan diatur dalam GAW Report No. 97: Ozon diukur dengan akurasi dan presisi $\pm 5\%$ untuk nilai di atas 20 ppb dan ± 2 ppb dalam range ≤ 20 ppb. Sementara nilai target untuk maksimum ketidak-pastian (maximum uncertainty) $U_{OA,max}$ dari ozon analyzer yang digunakan di stasiun menurut WMO/WCC No. 98/5 adalah :

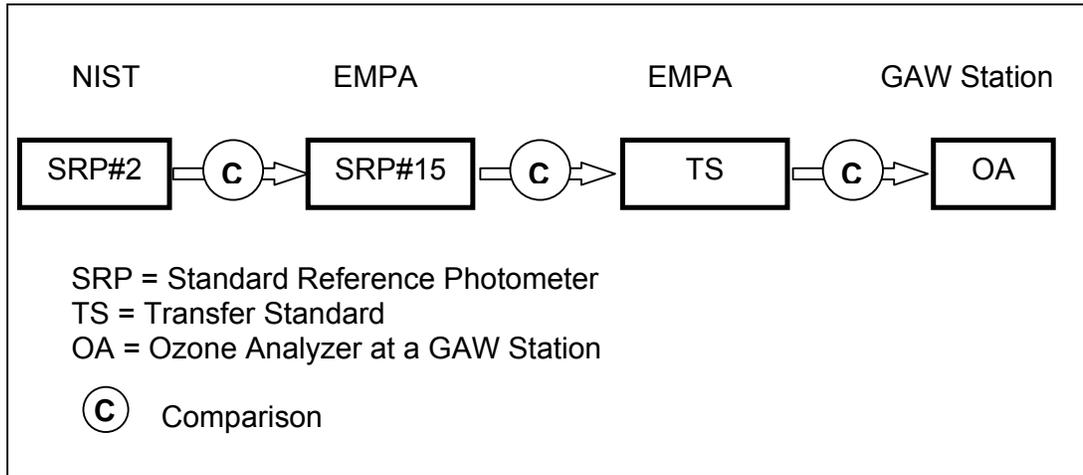
Tabel 1. Maksimum ketidak-pastian ozone analyzer di stasiun GAW (rekomendasi EMPA)

| | Sufficient | Good |
|---------------|---------------|---------------|
| ≤ 20 ppb | 2.1 ppb + 3 % | 1.8 ppb + 2 % |
| > 20 ppb | 1.3 ppb + 7 % | 1.4 ppb + 4 % |

Interkomparasi akan menentukan slope/ kemiringan regresi hasil audit terhadap konsentrasi analyzer. Jika perbedaan observasi melampaui Data Quality Objectives (DQO), maka setiap usaha harus dilakukan untuk memperbaiki sumber yang menyebabkan perbedaan pembacaan. Jika masalah tidak dapat dipecahkan di lapangan maka instrumen harus dikirim untuk diperbaiki. Kualitas pengukuran dipercayakan pada perawatan yang tepat dan interkomparasi alat. Direkomendasikan dilakukan interkomparasi internal oleh operator stasiun dengan alat NIST-traceable ozone calibrator setiap 6 bulan untuk menentukan kemungkinan kegagalan alat (WMO-GAW No. 143). Interkomparasi periodik antara alat yang terpelihara dalam jaringan standar (Standard Network) dan alat di stasiun menyediakan satu tujuan yaitu akurasi alat dan membuat koreksi pada rekaman alat stasiun. Jaringan standar dihubungkan dengan referensi standar internasional fotometer ozon di National Institute of Standard Technology (NIST), Maryland, USA.

World Calibration Center for Carbon Monoxide and Surface Ozone (WCC) EMPA secara rutin melaksanakan audit performance terhadap peralatan ini sejak tahun 1991 hingga sekarang dalam interval 1 – 2 tahun. Hasil audit dilaporkan ke World Meteorological Organization. Secara umum hasil audit (1999, 2001, 2004) terhadap alat Model 49PS#52307-291 masih dapat dikatakan baik pada jangkauan test 0 – 100 ppb. Metode interkomparasi yang dilakukan oleh WMO-WCC adalah dengan membandingkan nilai respon alat analyzer di stasiun dengan alat TEI49C Primary Standar yang telah

diketahui uncertainty nya berdasarkan Standard Reference Photometer dari National Institute of Standard Technology USA. Bagan referensinya seperti di bawah ini :



Gambar 1. Rantai jejak ozon intercomparison yang dilakukan oleh WMO-WCC EMPA (EMPA-WCC Report No. 98/5)

Terlihat dari beberapa hasil audit yang dilakukan sejak tahun 1999 dan 2001, alat ini telah tercatat sebagai calibrator sejak 1996 namun sejak audit 2004 alat ini dikatakan relatif tidak stabil. Terlebih hasil audit tahun 2007 menunjukkan kinerja alat yang menurun dan salah satu rekomendasi menyatakan bahwa alat tersebut harus segera diganti dengan alat serupa yang baru dan lebih stabil guna memenuhi standar akurasi dan presisi pengamatan ozon di SPAG Bukit Kototabang. Ada penyimpangan besar antara reference dan noise alat berlebihan. Noise ini berasal dari pembacaan suhu yang salah pada rangkaian elektronik yang rusak (CNTRS 49-007). Penggantian terhadap alat ini dirasakan sangat mendesak (WCC-EMA Audit 07/01), namun sejak tanggal 25 Januari 2008 bagian alat yang rusak telah diganti dari alat yang serupa dari stasiun GAW Assakrem, Aljazair oleh WMO-WCC.

Dalam pelaksanaan validasi, prinsip penetapan kadar dianggap cocok untuk prosedur yang ditetapkan. Validasi dimaksudkan untuk mengetahui ketelitian dan ketepatan kadar tetapi bukan mengenai penyebab dari penyimpangan yang diamati. Apabila ketelitian dan ketepatan dari penetapan kadar tidak memuaskan maka prosedur tersebut perlu ditinjau, dirancang kembali, direvisi atau diganti.

2. METODE

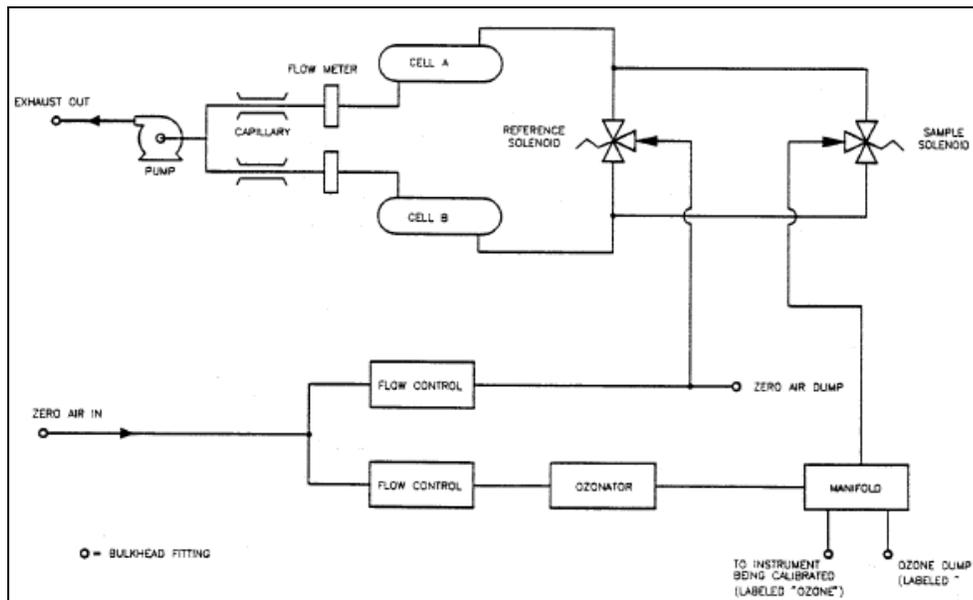
Pengamatan Ozon permukaan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang telah dilakukan sejak tahun 1996 dengan alat TE49#51974-290 ozone analyzer dan Peralatan Model 49PS#52307-291 sebagai ozone calibrator. Peralatan Model 49PS#52307-291 didasarkan pada prinsip molekul ozon menyerap sinar ultraviolet pada panjang gelombang 254 nm. Besaran sinar yang diserap berhubungan langsung dengan konsentrasi sebagaimana dapat dijelaskan dengan persamaan Beer-Lambert :

$$\frac{I}{I_0} = e^{-KCL} \text{-----(1)}$$

Dengan K = koefisien penyerapan molekul, 308 cm⁻¹ (pada 0°C, 1 atm.) L = panjang sel, 38 cm, C = konsentrasi ozon dalam parts per million (ppm), I = Intensitas sinar UV sampel dengan ozon (sample gas), I₀ = Intensitas sinar UV sampel tanpa ozon (reference gas).

Udara bersih (zero air) dimasukkan ke dalam Model 49PS#52307-291 melalui dinding sekat (bulkhead) dan mengalir ke dalam dua aliran gas. Aliran gas pertama mengalir melalui regulator gas menuju katup solenioda untuk menjadi gas referensi (I_0), aliran yang lain mengalir melalui regulator tekanan, ozonator dan manifold menuju solenioda sampel untuk menjadi gas sampel (I). Kandungan ozon dari manifold diteruskan menuju dinding sekat ozon (ozone bulkhead). Katup solenioda mengganti aliran gas reference dan sampel antara sel A dan B setiap 10 detik. Ketika sel A mengandung gas reference, maka sel B mengandung gas sampel.

Intensitas sinar ultraviolet dari masing-masing sel diukur dengan detektor A dan B. Ketika katup solenioda mengganti gas reference dan sampel ke sel berlawanan, intensitas cahaya diabaikan sementara untuk membiarkan sel menjadi seimbang. Model Model 49PS#52307-291 menghitung konsentrasi ozon untuk setiap sel dan mengeluarkan rata-rata konsentrasi masing-masing melalui tampilan panel dan analog output.



Gambar 2. Skema Model 49PS#52307-291

Tombol “Gain” berfungsi sebagai pengatur kecepatan respon ozonator. Jika tombol “Gain” disetel ke 0, ozonator internal beroperasi dalam mode manual. Jika “Gain” disetel 1 – 9, ozonator beroperasi dalam mode otomatis. Ada nilai optimum setting “Gain”, nilai ini sebagai fungsi aliran gas dan kondisi lampu. Nilainya tergantung dari level ozon yang diinginkan. Jika “Gain” terlalu rendah, akan memerlukan waktu lama untuk ozonator mengeluarkan nilai yang diinginkan. Jika terlalu besar, output ozonator akan berubah-ubah pada nilai yang diinginkan. Pada mode otomatis, nilai yang diinginkan dapat diset oleh “Ozone Level” dalam satuan ppb. Pada manual mode, menaikkan setelan akan menaikkan keluaran ozon, begitu pula sebaliknya. Sementara dalam mode otomatis, nilai akan stabil. Tombol offset merubah pembacaan zero pada model ini. Nilai nominal untuk pembacaan zero adalah 5. setiap perubahan satu digit menambahkan atau membagi 1 atau 10 ppb dari output analog maupun digital jika switch 2 pada papan dimatikan.

Lingkup data yang dianalisis merupakan hasil interkomparasi internal stasiun yang dikumpulkan secara spesifik pada periode Mei 2004 hingga April 2008 hanya pada hasil interkomparasi yang dianggap sukses saja. Prosedur interkomparasi seperti yang dijelaskan pada Standard Operating Procedure (SOP) 2 Month Intercomparison yang dibuat oleh WCC-EMPA dengan metode Multi Point Calibration (MPC). Data dari sinyal analog TE49PS direkam bersama-sama dengan Tlab pada DT50 Data Logger. Interkomparasi dilakukan dengan memasukkan konsentrasi ozon yang bervariasi dari

ozonator ke dalam analyzer. Variasi suplai ozon adalah dari rentang 0, 10, 20, 30, 50, 80 dan 200 ppb. Data transisi perpindahan level ozon dibuang untuk menghilangkan bias, kemudian data dirata-ratakan dan dicari standard deviasi-nya.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots(2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3)$$

Validasi terbatas / validasi internal/ verifikasi adalah pembuktian ulang melalui studi laboratorium, bahwa unjuk kerja karakteristik metode tersebut sesuai dengan persyaratan yang diminta oleh aplikasi analisis yang dimaksud di bawah kondisi yang tersedia dalam suatu laboratorium. Validasi adalah konfirmasi melalui pengujian dan pengadaan bukti yang objektif bahwa persyaratan tertentu untuk suatu maksud khusus dipenuhi (SNI 19-17025 Klausul 5.4.5.1).

Akurasi Merupakan tingkat kedekatan hasil uji yang didapat oleh pengerjaan prosedur terhadap nilai sebenarnya (IUPAC Compendium of Chemical Technology, 1985 dalam Eurachem). Sementara akurasi dalam alat pengamatan adalah kemampuan alat pengamatan memberikan respons mendekati pada nilai sebenarnya (IUPAC dalam Eurachem). Terdapat sedikitnya tiga macam teknik untuk mengevaluasi akurasi suatu metode uji, Analisis Certified Reference Material (CRM), Spike Recovery dan Uji Komparatif. Metode CRM biasanya diterima sebagai penilaian nilai lacak, sementara nilai referensi adalah nilai tersertifikat dari CRM (Eurachem, 1998). Teknik yang dipakai adalah dengan menguji beberapa nilai respons yang diberikan alat terhadap level ozon yang telah di set. Dengan menggunakan hipotesis sebagai berikut :

- H₀ : Rata-rata nilai respon = nilai target ozon,
- H₁ : Rata-rata nilai respon ≠ nilai target ozon.

Pada tingkat signifikansi 95%, dicari rata-rata dan nilai standar deviasinya, kemudian dihitung nilai t (distribusi t student) dengan :

$$t_{hitung} = \frac{|\bar{x} - \mu| \sqrt{n}}{S} \dots\dots\dots(4)$$

akan menerima H₀ jika t_{hitung} < t_{tabel}, dan menolak H₀ jika sebaliknya.

Sementara terminologi akurasi menurut WMO No.97 „Adalah derajat keberterimaan antara target pengukuran dengan nilai referensi serta nilai terukur aktual”. Akurasi ditaksir dengan perhitungan persentase perbedaan dari nilai aktual dengan rumus:

$$d_i = \frac{X_i - Y_i}{X_i} * 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Dimana Xi = nilai yang diinginkan, Yi adalah nilai respon analyzer. Nilai di dikatakan baik jika nilai menunjukkan angka menuju 0.

Presisi adalah tingkat kesaksamaan nilai beberapa hasil pengujian berulang. Ada beberapa macam presisi diantaranya penggunaan %Recovery, %RSD dan grafik kontrol (control chart). Jika %Recovery kurang dari 90% untuk setiap nilai target, nilai hasil dikatakan tidak memenuhi standar akurasi. %RSD (Recovery Standard Deviation) biasanya digunakan untuk menentukan presisi suatu aparatur / peralatan, nilai %RSD dibawah 2 menunjukkan akurasi suatu alat melemah dan dapat dikatakan tidak stabil. Nilai %Recovery dan %RSD diberikan oleh:

$$\% RECOVERY = \frac{respon}{target} * 100 \dots\dots\dots(6)$$

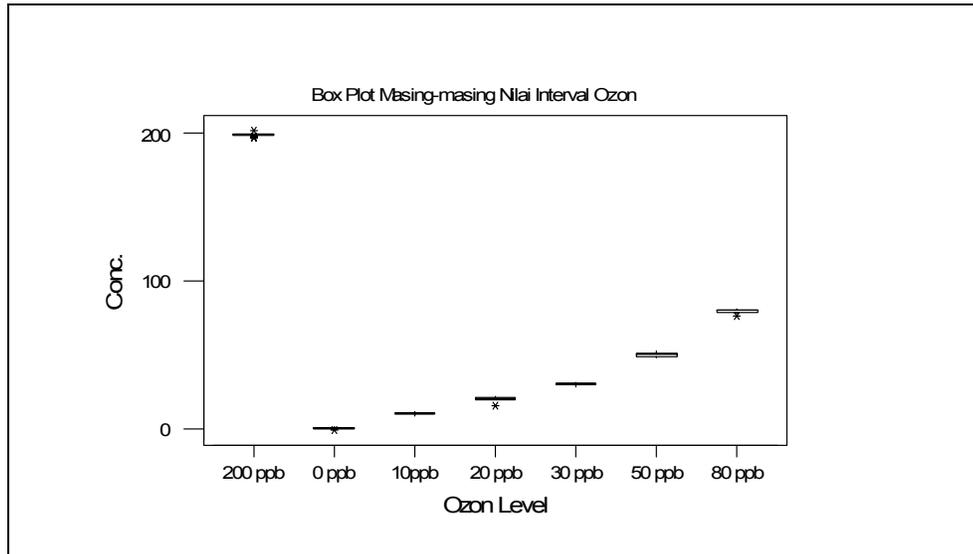
$$\% RSD = \frac{SD}{MEan} * 100 \dots\dots\dots(7)$$

Control chart merupakan bagan grafik yang memvisualisasikan karakteristik unjuk kerja dari suatu proses (pengujian kimia analitik) pada variabel yang telah ditentukan (akurasi, presisi, dsb.). Kontrol mutu sampel yang diberikan pada periode waktu tertentu menunjukkan kestabilan dan homogenitas hasil sama (subyek variasi acak dalam metode performance analitis) dan tersedia dalam kuantitas cukup sebagaimana metode analitis dapat dipantau dengan monitoring nilai analisis dari sampel QC, biasanya digunakan control chart. Batasan nilai diatur dengan (ISO 7870:1993) :

- Upper Action Limit = $\bar{x} + 3\sigma$
- Upper Warning Limit = $\bar{x} + 2\sigma$
- Mean = \bar{x}
- Lower Warning Limit = $\bar{x} - 2\sigma$
- Lower Action Limit = $\bar{x} - 3\sigma$

Linearitas didefinisikan sebagai kemampuan prosedur analisis untuk menghasilkan respon analitik yang secara langsung proporsional terhadap konsentrasi analit dalam contoh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Box Plot yang menggambarkan sebaran data test level ozon alat 49PS#52307-291, yaitu pada level 200, 0, 10, 20, 30, 50 dan 80 ppb.

Gambaran hasil data olahan interkomparasi dari alat 49PS#52307-291 empat tahun terakhir dapat dilihat pada Gambar 3 di atas. Data tersebut merupakan data yang diambil dari raw data selektif, artinya dipisahkan dari data transisi, nilai tersebut dianggap valid dan sukses dalam interkomparasi setelah melalui

plausibility check. Jumlah data sampel yang diambil adalah sebanyak 20 buah baris data pengulangan (replicate) pada masing-masing nilai response dengan matriks 7x20. Dengan metode statistik sederhana dihitung deskripsi statistik yang memberikan gambaran sebaran / distribusi normal suatu kumpulan data.

Level ozon yang diinginkan (desired value) didapat dengan memberikan nilai digit yang disetel pada suatu panel alat, kemudian nilai ini dijadikan sebagai nilai aktual yang diinginkan, sementara nilai yang ditunjukkan oleh alat adalah nilai respon yang menunjukkan kinerja kesatuan semua komponen alat tersebut, nilai inilah yang kemudian diolah dan dianalisa.

Distribusi nilai respon ozon yang ditunjukkan oleh alat secara umum dapat dikatakan berdistribusi normal dengan range bervariasi dari 2,5 hingga 6,9 atau dengan cakupan 81 – 109% dari nilai yang diharapkan, kecuali pada nilai respon 20 ppb yang hanya memberikan nilai minimum 74% dari nilai yang diharapkan. Standar deviasi atau penyimpangan standarnya pun terlihat nilai respon 20 mempunyai penyimpangan tertinggi dari semua angkatan data per sub-group. Gambaran mengenai kriteria statistik yang lainnya seperti rata-rata (mean), nilai tengah (median), standar deviasi, nilai minimum dan maksimum serta kuartil pertama dan ketiga dapat dilihat selengkapnya pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 2. Deskripsi Statistik Masing-masing Level Ozon

| Ozon Level | N | Mean | Median | StDev | Min | Max | Q1 | Q3 |
|------------|----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 200 ppb | 20 | 199.4 | 199.5 | 1.0 | 197.3 | 202.4 | 199.2 | 199.7 |
| 0 ppb | 20 | -0.4 | -0.3 | 0.6 | -1.8 | 0.7 | -0.7 | 0.0 |
| 10ppb | 20 | 9.9 | 9.9 | 0.8 | 8.1 | 11.1 | 9.4 | 10.5 |
| 20 ppb | 20 | 19.6 | 19.6 | 1.3 | 14.8 | 21.7 | 19.3 | 20.4 |
| 30 ppb | 20 | 29.8 | 29.8 | 0.7 | 28.1 | 31.1 | 29.4 | 30.3 |
| 50 ppb | 20 | 49.7 | 50.0 | 1.2 | 47.9 | 52.0 | 48.6 | 50.5 |
| 80 ppb | 20 | 79.4 | 79.7 | 1.2 | 76.1 | 80.8 | 78.8 | 80.4 |

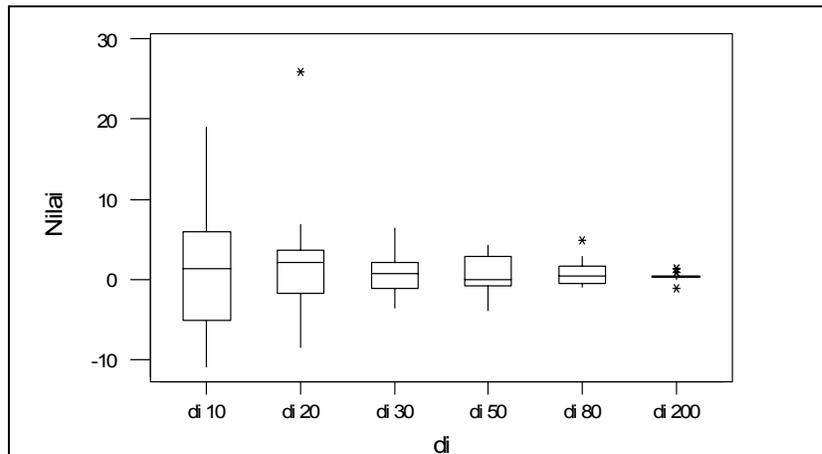
Akurasi yang menggambarkan tingkat kedekatan hasil uji yang didapat dengan nilai sebenarnya pada analisis ini digunakan metode Certified Reference Material (CRM). Sebenarnya yang digunakan disini hanyalah istilah dan hanyalah metodenya saja yang digunakannya. Bukan berarti menggunakan material yang telah tersertifikat. Seperti halnya pada metode CRM, tingkat akurasi ditentukan oleh nilai t hitung dari masing-masing nilai respon dibandingkan dengan nilai t tabel (t-student distribution). Dengan kriteria apabila: $t_{hitung} > t_{tabel} = H_0$ ditolak dan $t_{hitung} < t_{tabel} = H_0$ diterima, dengan derajat bebas $(n-1) = 19$, dan tingkat kepercayaan 95%.

Dari tabel di bawah dapat dilihat t_{hitung} dari masing-masing nilai respon serta kesimpulan yang diambil. Pada nilai respon 200 ppb, 0 ppb dan 80 ppb kesimpulan diambil adalah menolak H_0 yang artinya menolak pernyataan bahwa rata-rata nilai hasil uji/ nilai respon tidak sama dengan nilai yang disetel pada ozonator (nilai yang diinginkan). Sementara nilai respon yang lain menerima H_0 dengan pernyataan rata-rata nilai respon memang sama dengan nilai yang diinginkan. Nilai respon tersebut berturut-turut adalah 10 ppb, 20 ppb, 30 ppb dan 50 ppb.

Tabel 3. t_{hitung} hasil kalkulasi masing-masing nilai respon alat 49PS#52307-291

| Nilai Respon (ppb) | t_{hitung} | Kesimpulan |
|--------------------|--------------|----------------|
| 200 | 2.75 | Menolak H_0 |
| 0 | 2.91 | Menolak H_0 |
| 10 | 0.70 | Menerima H_0 |
| 20 | 1.51 | Menerima H_0 |
| 30 | 1.17 | Menerima H_0 |
| 50 | 1.17 | Menerima H_0 |
| 80 | 2.22 | Menolak H_0 |

$t_{tabel} = 2,09 \text{ } 2,861 \text{ u/ } 99\%$



Gambar 4. Box plot nilai d_i masing-masing level ozon.

Gambar 4 di atas menggambarkan sebaran kelompok nilai d_i berdasarkan level ozon. level ozon d_{i10} mempunyai variasi terbesar tetapi mempunyai kurva simetris dengan skewness hampir ke 0, sementara d_{i20} dan d_{i50} skewness menjurai ke kiri dengan median menjauhi nilai tengah. Sementara d_{i30} , d_{i80} dan d_{i200} menunjukkan kurva normal dan skewness hampir mendekati 0. Tingkat akurasi menurut WMO Rep. 97 sangat sesuai dengan audit WCC bahwa terdapat noise berlebihan pada setiap level ozon apabila dilihat dari sebaran data. Namun secara umum dikatakan nilai presisi masih memenuhi ketidak-pastian ozone analyzer di stasiun GAW (rekomendasi EMPA).

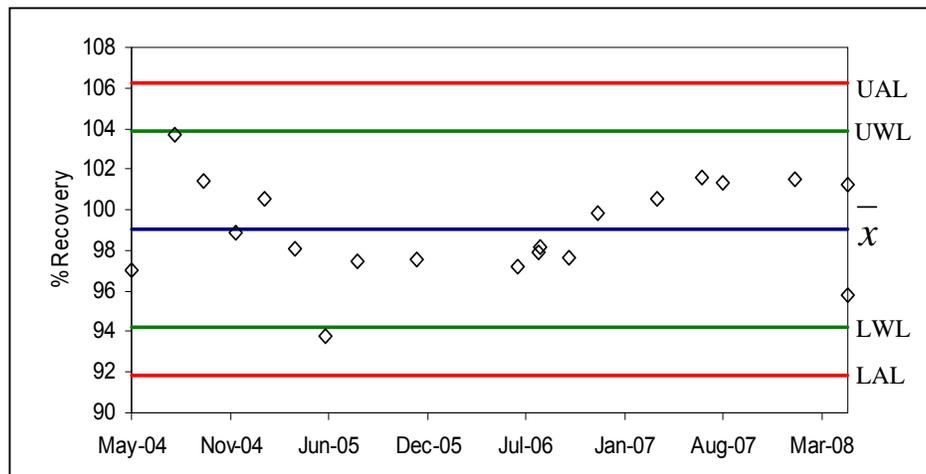
Perhitungan nilai %Recovery dan %RSD sebagai salah satu indikator pengujian ketepatan alat ini diterangkan pada tabel 3 di bawah ini. %Recovery menunjukkan semua level ozon mempunyai persentase di atas 90%. Sementara %RSD menunjukkan nilai respon 200 ppb, mempunyai nilai paling kecil, sementara nilai terbesar berada pada nilai respon 10 dan berkurang dengan naiknya nilai respon. Pada 0 ppb tidak dapat ditampilkan karena pembagiannya 0.

Tabel 4. Nilai %Recovery dan %RSD dari masing nilai yang diharapkan pada alat 49PS#52307-291

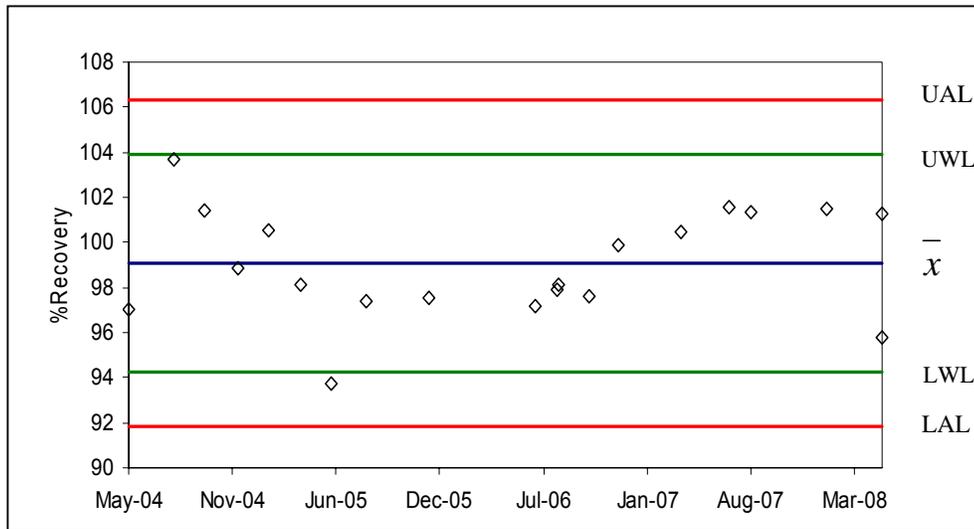
| Nilai target (ppb) | %Recovery | %RSD |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0 | Undefined (devided by zero) | Undefined (devided by zero) |
| 10 | 98.8056903 | 7.7082990 |
| 20 | 97.7617628 | 6.7667748 |
| 30 | 99.3825346 | 2.3657273 |
| 50 | 99.3903739 | 2.3452612 |
| 80 | 99.2592964 | 1.5023521 |
| 200 | 99.6788759 | 0.5237788 |

Salah satu cara efisien menganalisa data kinerja suatu alat adalah grafik kontrol, hasil kinerja alat ini tergambar pada Gambar 5a dan 5b di bawah ini. Gambar 3.a merupakan gambaran kinerja berdasarkan nilai rata-rata, sementara Gambar b menunjukkan kinerja berbasis %Recovery nilai respon terhadap nilai yang diinginkan. Garis biru menandakan nilai rata-rata, garis hijau menandakan nilai batas warning limit dan garis merah menandakan batas action limit.

Grafik kontrol kinerja berbasis rata-rata menunjukkan nilai secara umum tersebar di sekitar nilai rata-rata di dalam kotak warning limit atas maupun bawah kecuali dua data terdapat pada nilai lower warning limit. Data yang berada pada garis warning limit adalah data hasil interkomparasi pada tanggal 30 Mei 2005 dan 25 April 2008. Sementara pada grafik kontrol kinerja berbasis %Recovery terdapat satu baris data persis pada garis UWL yaitu pada tanggal 30 Juli 2004 dan satu baris data di luar LWL pada tanggal 30 Mei 2005.

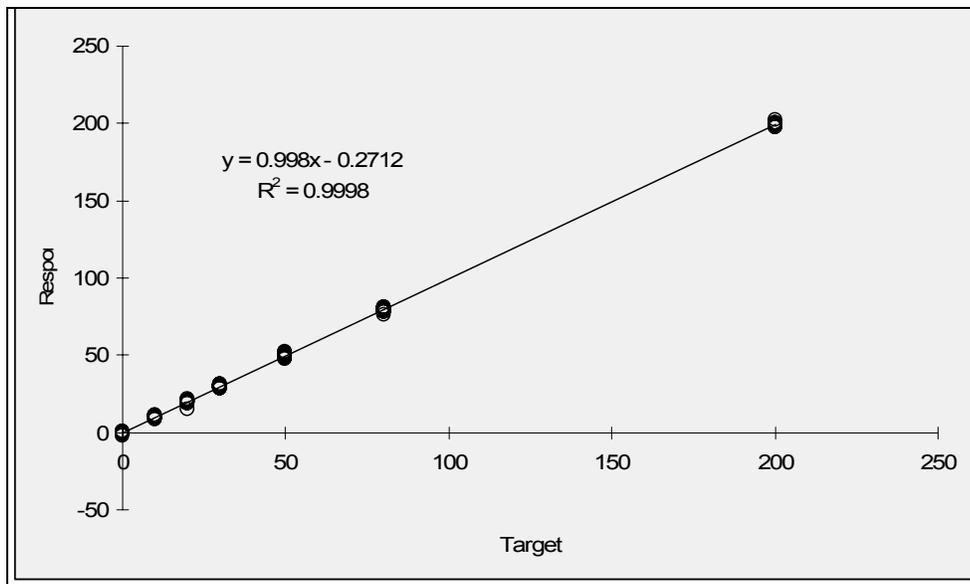


Gambar 5a. Mean Control Chart Alat Model 49PS#52307-291 sejak Mei 2004 s/d April 2008.



Gambar 5b. %Recovery Control Chart Alat Model 49PS#52307-291 sejak Mei 2004 s/d April 2008.

Komponen pemantau kinerja alat yang lain diberikan oleh linearitas. Gambar di bawah ini menunjukkan linearitas nilai yang diinginkan dengan nilai respon alat berdasarkan level ozon yang diberikan. Level ozon dalam aksis x merupakan rata-rata dari 20 baris angkatan data baik dari nilai respon maupun nilai yang diinginkan/level ozon. Nilai respon diprediksikan terhadap nilai sempurna terhadap nilai level ozon, hal ini dapat dilihat dari nilai regresi yang menunjukkan 1.



Gambar 6. Linearitas alat Model 49PS#52307-291 nilai response vs nilai target.

Uji akurasi berdasarkan uji distribusi student dengan menggunakan hipotesis menghasilkan kesimpulan menerima hipotesis bahwa rata-rata nilai ozon respon sama dengan rata-rata target ozon pada level 10, 20, 30 dan 50 ppb, serta menolak hipotesis H_0 pada level 0, 80 dan 200 ppb. Memang ada perbedaan 'perlakuan waktu' pengambilan sampel pada level 0 dan 200 ppb yaitu selama 30 menit masing-masing tetapi 'perlakuan waktu' terhadap level 80 disamakan dengan level yang menerima H_0 . Dengan asumsi bahwa semakin banyak populasi data yang diambil akan memberikan

akurasi data meningkat. Tetapi kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa 'perlakuan waktu' tidak mempengaruhi nilai akurasi alat lebih dikarenakan ada komponen lain yang mempengaruhi nilai akurasi pada level-level tersebut. Faktor yang paling memungkinkan hanyalah ada kerusakan komponen elektronik dari *Temperature Transducer* pada mainboard alat ini. Komponen ini memasukan koreksi temperatur pada perhitungan ozon pada ruang detektor. Setiap ada perubahan pada temperatur ambient akan mempengaruhi nilai respon sesuai dengan konstanta nilai K pada persamaan Beer-Lambert dimana persamaan ini merupakan fungsi dari temperatur dan tekanan.

Dari Gambar 6 di atas yang menggambarkan pola distribusi nilai di sebagai bagian dari test akurasi. Terdapat variasi besar nilai di pada level-level target ozon alat ini. Ini menunjukkan bagaimana pengaruh stabilitas listrik sebagai pemasok utama pada sumber ozonator. Kenyataan di lapangan memberikan bukti bahwa sering terjadinya mati lampu atau suplai energi ini tidak stabil pada tegangan 220V. Beruntung setelah tahun 2008 terdapat UPS dengan kapasitas 10 KVA yang diharapkan memberikan listrik stabil pada semua peralatan observasi di SPAG.

Tingkat persentase cakupan (%recovery) sebagaimana disyaratkan oleh WMO No. 97 memberikan nilai sah/valid di atas 90% artinya semua level ozon memenuhi kriteria kesahihan data akurasi. Nilai sah hasil perhitungan pada rangkaian elektronik alat ini mencapai rata-rata di atas 90% dan dikirim sinyal analog ke data logger. Hal ini memberikan indikator masih berfungsinya detektor dan pengiriman sinyal analog ke data logger. Sementara menurut %RSD menunjukkan hasil yang bervariasi pada semua level ozon. level ozon 10 sampai 50 memberikan kriteria akurasi yang baik sementara nilai 80 dan 200 tidak memenuhi kriteria. Hal ini ada sinkronisasi dengan hasil audit yang dilakukan WCC-EMPA tahun 2004 dan 2007 yang menyatakan bahwa level 200 ppb tidak memberikan respon yang baik, sementara hasil dari perhitungan disini level 80 ppb pun memberikan nilai kriteria dibawah standar.

Pada mean kontrol chart tanggal 30 Mei 2005 terjadi nilai di bawah nilai standar pada level ozon yang diharapkan hanya memberikan respon nilai 14 ppb dari target 20 ppb. Selain itu tanggal 25 April 2008 memang kinerja alat dalam kondisi tidak bagus terlihat dari semua respon ozon tercatat dibawah nilai target pada semua level ozon. Pada %Rec control chart menunjukkan tanggal 05 Mei 2004 nilai respon 10 ppb hanya mempunyai cakupan 80.9% yang mempengaruhi cakupan nilai keseluruhan nilai respon. Serta tanggal 30 Mei 2005 tercatat hanya 74% cakupan level 20 ppb.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6, linearitas alat ini menunjukkan nilai regresi R^2 0,9998 dapat dikatakan nilai respon diproyeksikan hampir sempurna terhadap nilai target. Signal respon memang telah terjadi gangguan pada level 20 ppb pada tanggal 30 Mei 2005 yang sedikit banyak memberikan penyimpangan pada nilai rata-ratanya. Juga pada kalibrasi tanggal 25 April 2008 pada semua level target memberikan penyimpangan yang sama. Namun penyimpangan-penyimpangan tersebut tidak mempengaruhi secara signifikan pada nilai tengah masing-masing nilai respon ozon.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Uji kalibrasi telah dilakukan terhadap alat Model 49PS#52307-291 Ozone Calibrator yang telah terpasang di stasiun PAG Bukit Kototabang. Metode uji ini merupakan bagian dari persiapan rencana dalam usaha mendapatkan pengakuan sertifikasi ISO/IEC 17025, namun tidak mengesampingkan hasil audit dari WMO-WCC EMPA, karena terdapat perbedaan yang nyata dari metode uji yang digunakan.

Tingkat akurasi dikatakan baik dalam rentang uji pada level 10 sampai 50 ppb, namun tidak baik pada level uji 0 ppb dan >80 ppb. Ada sinkronisasi dengan hasil audit WMO-WCC yang menyatakan tidak stabil pada level >100 ppb. Sementara presisi dengan metode %RSD presisi baik pada level 0 – 50 ppb dan tidak baik pada level >100 ppb. Dilain metode, %recovery menunjukkan cakupan presisi yang baik pada semua level uji. Grafik kontrol menggambarkan historis kinerja alat dalam rentang baik kecuali beberapa gangguan listrik pada tanggal 30 Mei 2005 dan 25 April 2008. Namun secara umum

apabila dilihat dari grafik kontrol berbasis rata-rata maupun %recovery menunjukkan kinerja alat masih berfungsi normal.

Sebagai saran, alat ini sebaiknya diganti dengan alat serupa yang lebih stabil yaitu TEI49i Transfer Standard sebagaimana yang direkomendasikan oleh WMO-WCC EMPA guna menunjang jaminan kualitas data pengamatan ozon permukaan di stasiun PAG Bukit Kototabang. Mengingat tingkat deteksi maksimum ozon permukaan di Bukit Kototabang hanya mempunyai rentang pengamatan 1 – 40 ppb, alat ini masih memenuhi dan mewakili tingkat akurasi yang dibutuhkan oleh ozone analyzer, maka alat ini masih dapat digunakan sementara waktu sebelum ada penggantinya.

5. DAFTAR ACUAN

WMO-GAW No. 143, *“Global Atmosphere Watch Measurements Guide”*.

EMPA-WCC, *“System and Performance Audit of Surface Ozon and Carbon Monoxide Global GAW Station Bukit Kototabang Report No 01/02, No 04/01, 07/01”*.

GAW Report No. 97, *“WMO_GAW Quality Assurance Project Plan (QAPjP) for Continuous Ground Based Ozone Measurements”*.

Eurachem Working Group, *“The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics”*, First Internet Version, December 1998.

ISO/IEC 7870:1993 Documentation, section *“Control Chart – General Guide and Introduction”*.

BIODATA PENULIS

Alberth Christian Nahas. Lahir di Banjarbaru, 5 Mei 1985. Menamatkan pendidikan Strata 1 pada tahun 2007 dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lambung Mangkurat dengan gelar Sarjana Sains dari Jurusan Kimia. Saat ini menjabat sebagai staf Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Hamdi. Lahir di Solok, 17 Desember 1965. Menamatkan pendidikan Strata 1 dari Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FPMIPA) IKIP Padang pada tahun 1991. Tahun 1996 memperoleh gelar Magister Sains dari Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Institut Teknologi Bandung dan menyelesaikan program Doktor di bidang Fisika Sistem Kompleks di Sekolah Pascasarjana Institut Teknologi Bandung pada tahun 2008. Saat ini menjabat sebagai staf pengajar di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Sugeng Nugroho. Lahir di Bantul tanggal 15 Desember 1972. Menamatkan pendidikan Diploma III BPLMG Badan Diklat Departemen Perhubungan Jurusan Meteorologi tahun 1996. Memperoleh gelar Sarjana Geografi dari Universitas Indonesia tahun 2002. Saat ini menjabat sebagai Kepala Seksi Data dan Informasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Edison Kurniawan. Lahir di Jakarta tanggal 5 Maret 1971. Menamatkan pendidikan Diploma III BPLMG Badan Diklat Departemen Perhubungan Jurusan Meteorologi tahun 1994. Memperoleh gelar Sarjana Fisika dari Universitas Indonesia tahun 2000. Gelar Magister Sains bidang Sains Atmosfer diperoleh dari Institut Teknologi Bandung tahun 2008. Saat ini menjabat sebagai Koordinator Kelompok Fungsional Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Herizal. Lahir di Jakarta tanggal 4 Juli 1961. Tamat pendidikan Diploma III Meteorologi BPLMG Badan Diklat Departemen Perhubungan tahun 1984. Memperoleh gelar Sarjana Fisika dari Universitas Indonesia tahun 1994. Memperoleh gelar Magister Sains Ilmu Lingkungan dari Program Pascasarjana Universitas Negeri Padang tahun 2005. Saat ini menjabat Kepala Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Firda Amalia. Lahir di Malang 31 Agustus 1984. Menamatkan pendidikan Strata 1 pada tahun 2006 dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang dengan gelar Sarjana Sains dari Jurusan Kimia. Saat ini menjabat sebagai staf Stasiun GAW Bukit Kototabang.

Agusta Kurniawan. Lahir di Yogyakarta, 20 Agustus 1979. Menamatkan pendidikan strata 1 pada tahun 2002 dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada. Memperoleh gelar Magister Sains dari Pascasarjana Universitas Gadjah Mada pada tahun 2004 di bidang Kimia Lingkungan. Saat ini menjabat sebagai staf Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Asep Firman Ilahi. Lahir di Bogor, 5 Januari 1975. Menamatkan pendidikan Diploma III dari Akademi Meteorologi dan Geofisika Jurusan Meteorologi pada tahun 2001. Saat ini menjabat sebagai staf Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.