

### Karakteristik Ketebalan Optik Aerosol di Bandung

Tuti Budiwati, Sumaryati, dan Iis Sofiati  
Puslitbang Pengetahuan Atmosfer LAPAN  
Jl. Dr. Junjuran No. 133 Bandung  
E-mail : tuti\_lapan@yahoo.com

#### Abstrak

Pengukuran intensitas radiasi matahari dengan sun photometer model MS-120 pada panjang gelombang  $\lambda=368, 500, 675, \text{ dan } 778 \text{ nm}$  telah dilakukan pada hari cerah dari 1996 sampai 1998 di LAPAN Bandung. Data intensitas diolah menjadi data ketebalan optik dan kekeruhan atmosfer. Dari hasil-hasil perhitungan ternyata ketebalan optik aerosol dipengaruhi oleh sumber polutan partikel dan kelembaban udara (RH). Ketebalan optik aerosol di daerah panjang gelombang 500 nm pada 1996, 1997 dan 1998 adalah 1,080; 0,923 dan 0,913 secara berurutan. Besar kecilnya ketebalan optik aerosol mempengaruhi pula kekeruhan atmosfer. Nilai koefisien kekeruhan atmosfer pada panjang gelombang 500 nm di Bandung bervariasi 0,25-1,20 selama musim kemarau Juni-Oktober dari 1996-1998.

**Kata kunci:** ketebalan optik, kekeruhan atmosfer, partikel SPM (Suspended Particulate Matter), kelembaban udara (RH)

#### Abstract

We've been measured the radiation intensity on the clear by sun photometer model MS-120 with wavelength of  $\lambda=368, 500, 675, \text{ and } 778 \text{ nm}$  from 1996 to 1998 in LAPAN-Bandung. The data of intensity of radiation were calculated to become the data of optical depth and atmospheric turbidity. From the calculated results apparently the aerosol optical depth was influenced by the source of pollutant particle and relative humidity. The optical depths of aerosol on the wavelength region 500 nm in 1996, 1997 and 1998 have values 1.080; 0.923 and 0.913 respectively. The magnitude of optical depth of aerosol influence to atmospheric turbidity. The coefficient of atmospheric turbidity on wavelength 500 nm in Bandung has range from 0.25-1.20 during dry season (from June to October) from 1996-1998.

**Keywords:** optical depth, atmospheric turbidity, Suspended Particulate Matter (SPM), relative humidity (RH)

#### 1. Pendahuluan

Peningkatan aerosol atmosfer oleh aktivitas manusia maupun secara alamiah akan mempengaruhi budget radiasi matahari, yaitu mempengaruhi intensitas radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi. Pengaruh langsung dari aerosol ada dua, yaitu: efek penghamburan dan absorpsi dari radiasi matahari. Pengaruh tidak langsung dari aerosol yaitu menyokong terbentuknya inti kondensasi yang penting untuk proses pembentukan awan. Sebagai campuran dapat mengubah dinamika dari *boundary layer* atmosfer<sup>1)</sup>.

Aerosol atmosfer menyerap dan menghamburkan radiasi matahari yang datang dan radiasi infrared yang dipancarkan dari bumi. Pengaruh aerosol atmosfer pada radiasi matahari sangat bergantung pada ukuran penyebaran, bentuk, konsentrasi, dan sifat-sifat optiknya. Menurut McCormick et al.<sup>2)</sup> terjadinya letusan G. Pinatubo di Filipina pada 15 Juni 1991 menimbulkan timbunan aerosol sebanyak 30 Tg

( $30 \times 10^{12}$  g). Aerosol yang berasal dari sumber antropogenik menyumbang 10% dari total aerosol dan memberikan kontribusi 50% dari rata-rata global ketebalan optik<sup>3)</sup>.

Menurut Ohta et al.<sup>4)</sup> hasil analisa koefisien kekeruhan atmosfer secara global yang diperoleh di daerah perkotaan Jepang dari 1954 - 1989 memperlihatkan kenaikan 0,028 telah menyebabkan penurunan rata-rata temperatur permukaan secara global sebesar 0,41 °C. Adapun peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> dan metan menaikkan rata-rata temperatur permukaan secara global sebesar  $0,45 \pm 0,15 \text{ } ^\circ\text{C}$ <sup>5)</sup>. McCormick dan Ludwig<sup>6)</sup> menyatakan bahwa kenaikan aerosol atmosfer dapat menyebabkan kenaikan albedo, karena itu mendinginkan bumi. Dampak albedo tergantung pada ketebalan optik, sifat-sifat absorpsi aerosol, ukuran penyebaran dan indek refraksi. Akibat letusan G. Pinatubo pada Juni 1991 temperatur rata-rata global turun 0,5<sup>0</sup> C di permukaan dan 0,6 °C di troposfer<sup>7)</sup>. Dengan mempelajari

karakteristik radiasi dari molekul atmosfer, kelembaban udara, sifat-sifat optik dari aerosol seperti koefisien penghamburan, koefisien absorpsi, fungsi fase atau indeks refraksi akan memberikan masukan mengenai parameter untuk model transport radiasi, sebagai model untuk menentukan kekuatan radiasi karena aerosol. Kenaikan konsentrasi aerosol di daerah perkotaan sangat berdampak pada kualitas lingkungan kota, yang menyebabkan kekeruhan atmosfer dengan berkurangnya jarak pandang, menyebabkan penyakit saluran pernapasan dan sebagai polutan yang potensial mempengaruhi hujan asam. Aerosol atmosfer berperan dalam menurunkan temperatur di dekat permukaan.

Mengingat sedikitnya pengetahuan mengenai sifat-sifat aerosol di Indonesia umumnya khususnya di Bandung, maka dengan mempelajari karakteristik sifat-sifat optik dari aerosol seperti ketebalan optik dan kekeruhan atmosfer akan memberikan masukan mengenai kualitas udara di perkotaan dan pengaruhnya terhadap kesetimbangan radiasi.

## 2. Cara Pengukuran

Pengamatan intensitas radiasi dilakukan pada hari cerah di Jl. Dr. Djundjungan kota Bandung pada  $6^{\circ} 53,836'S$  dan  $107^{\circ} 35,206'T$ . Pengukuran intensitas radiasi matahari menggunakan sunphotometer model MS-120 pada panjang gelombang  $\lambda=368, 500, 675,$  dan  $778$  nm pada jam 08.00 – 14.00 dari bulan Juni sampai Oktober dari 1996-1998. Hasil pengukuran ini selanjutnya dipergunakan untuk menghitung besarnya ketebalan optik aerosol dan koefisien kekeruhan atmosfer karena pelemahan radiasi matahari oleh aerosol.

## 3. Metoda Perhitungan Data

### 3.1 Perhitungan ketebalan optik

Untuk mendapatkan ketebalan optik aerosol digunakan persamaan dari Instruction Manual Sunphotometer Model MS-120,<sup>8)</sup> berikut:

$$\tau_{m\lambda} = \frac{\ln\left(\frac{E_{0\lambda}}{E_{\lambda}S}\right)}{m} - \left(\frac{P}{P_0} \tau_{R\lambda} + \tau_{0\lambda}\right). \quad (1)$$

dimana  $\tau_{m\lambda}$  adalah koefisien pelemahan pada panjang gelombang  $\lambda$ . Parameter  $\tau_{R\lambda}$  adalah koefisien hamburan Rayleigh pada panjang gelombang 368 nm, 500 nm, 675 nm, dan 778 mempunyai nilai 0,4945; 0,1391; 0,0410 dan 0,0231 secara berturut-turut. Koefisien absorpsi ozon ( $\tau_{0\lambda}$ ) pada 368 nm, 500 nm, 675 nm, dan 778 adalah 0; 0,0114; 0,0144 dan 0 secara

berturut-turut.  $E_{0\lambda}$  adalah faktor kalibrasi dari sertifikat EKO dalam satuan voltase (mV) dan  $E_{\lambda}$  adalah intensitas radiasi matahari pada panjang gelombang  $\lambda$  di permukaan dalam (mV). Koefisien hamburan Rayleigh dikoreksi oleh perbandingan tekanan  $P/P_0$ , dimana  $P$  = tekanan pada saat pengukuran,  $P_0$  = tekanan standard 1013,2 mbar. Parameter  $S$  adalah faktor koreksi jarak matahari-bumi untuk setiap hari dari setiap tahun. Parameter  $m$  = massa udara, besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$m = 1/[\sin h + 0,15 (h + 3,885)^{-1,253}] \quad (2)$$

dimana  $h$  adalah sudut elevasi matahari dalam satuan derajat, dapat diperoleh dari persamaan hubungan geometri berikut:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \quad (3)$$

dimana :

$\varphi$  = sudut lintang tempat pengamatan

$\delta$  = sudut deklinasi matahari

$t$  = waktu matahari (*true solar time*)

Menurut Singh R. et al<sup>9)</sup> dari persamaan 1 dapat ditentukan besarnya pelemahan radiasi matahari oleh aerosol dan nilainya sama dengan ketebalan optik aerosol.

### 3.2. Perhitungan koefisien kekeruhan atmosfer

Menurut Yamamoto et al.<sup>10)</sup> besarnya koefisien kekeruhan atmosfer dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\tau_M(\lambda) = \beta/\lambda \quad (4)$$

dimana :

$\tau_M(\lambda)$  = ketebalan optik pada panjang gelombang  $\lambda$

$\beta$  = koefisien kekeruhan

$\lambda$  = panjang gelombang

Perhitungan koefisien kekeruhan atmosfer dilakukan pada panjang gelombang 500 nm, karena *solar irradiance* maksimum di daerah panjang gelombang sekitar 500 nm<sup>11)</sup>.

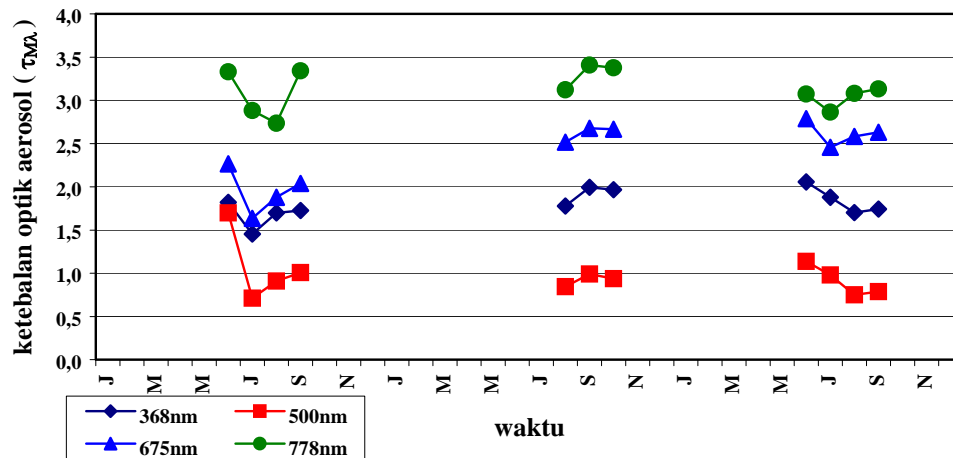
## 4. Hasil dan Diskusi

Hasil pengamatan intensitas radiasi matahari yang diterima di Bandung pada hari cerah musim kemarau dari 1996 sampai dengan 1998, terdiri dari 20 data pada tahun 1996, 12 data pada tahun 1997 dan 35 data pengamatan pada tahun 1998. Selain melihat karakteristik ketebalan optik aerosol dilakukan pula perhitungan ketebalan optik dan koefisien kekeruhan atmosfer pada panjang gelombang 500 nm di daerah visible.

Nilai ketebalan optik aerosol dalam variasi panjang gelombang 368-778 nm bervariasi 0,711-3,409 dan ketebalan optik pada panjang

gelombang 500 nm di Bandung dari pengamatan periode musim kemarau dan peralihan yaitu Juni-September tahun 1996, Agustus-Oktober tahun 1997, dan Juni-September tahun 1998 memperlihatkan nilai rata-rata bulanan bervariasi 0,711-1,696 (Gambar 1). Menurut Ohta et al.<sup>12)</sup> dalam studi di Jepang tepatnya di Nemuro sebuah pedesaan bahwa di daerah lapisan boundary (2000 m) ketebalan optik pada panjang gelombang 500 nm adalah 0,108 tahun 1954 dan 0,164 tahun 1989. Sedangkan dari pengamatan yang didapatkan di Bandung tahun 1996, 1997 dan 1998 nilai rata-rata ketebalan optik pada panjang gelombang 500 nm di musim kemarau

dan peralihan tersebut adalah 1,080; 0,923 dan 0,913 secara berurutan. Dalam periode tahun 1996 dan 1998 maksimum terjadi pada bulan Juni sedangkan konsentrasi SPM selama periode tersebut rata-rata bulanan tertinggi pada bulan September, dan pengaruhnya dapat dilihat dari nilai ketebalan optik bulan September tahun 1996 dan 1997. Kondisi ketebalan optik aerosol pada bulan Juni tahun 1996 dan 1998 dipengaruhi oleh kelembaban udara (RH%) dengan rata-rata diatas 75%. Hal ini diasumsikan bahwa Bandung mempunyai tingkat pencemaran oleh aerosol lebih besar bila dibandingkan dengan Jepang.



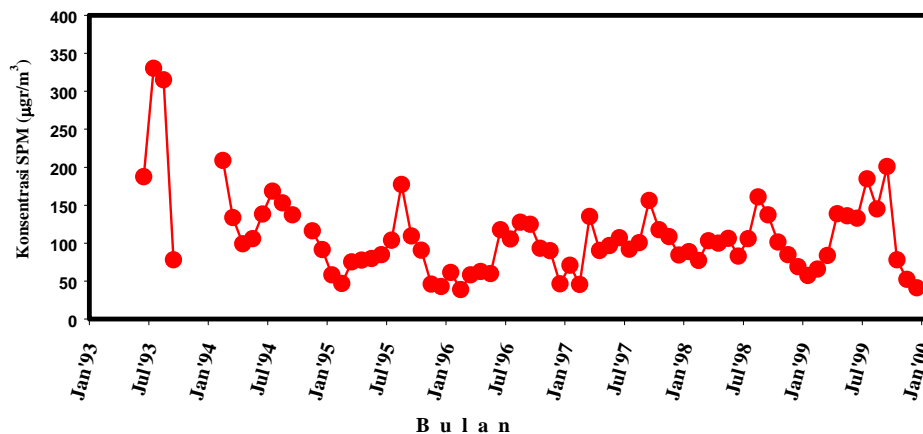
Gambar 1. Ketebalan optik aerosol pada panjang gelombang 368- 778 nm di Bandung

Dari hasil pengamatan konsentrasi SPM di Jl. Cemara Bandung (Badan Meteorologi dan Geofisika) seperti terlihat pada Gambar 2 terdapat hubungan yang erat dengan ketebalan optik aerosol dan koefisien kekeruhan atmosfer. Konsentrasi SPM rata-rata bulanan pada tahun 1996 (Juni-September) bervariasi 105,3-127,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dengan rata-rata 118,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan naik pada tahun 1997 (Agustus-Oktober) dengan variasi rata-rata bulanan 100,9-156 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan nilai rata-rata adalah 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , pada tahun 1998 (Juni-September) konsentrasi SPM rata-rata bulanan bervariasi 82,9-161  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan turun secara rata-rata menjadi 121,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pada tahun 1997 terjadi El Nino yang mengakibatkan musim kemarau lebih panjang dari tahun-tahun El Nino sebelumnya dan masih berlanjut pada tahun 1998. Kenaikan konsentrasi SPM selalu meningkat pada musim kemarau dan musim peralihan, turun pada musim penghujan. Pada bulan-bulan di musim

kemarau Juni-September setiap tahun terlihat kenaikan konsentrasi yang disebabkan oleh partikel-partikel tanah yang berterbangan dari permukaan tanah yang kering dan pembakaran bahan bakar fosil akan menaikkan ketebalan optik aerosol dan nilai kekeruhan atmosfer pada musim tersebut dibandingkan musim penghujan, Gambar 2 memperlihatkan adanya variasi musiman yang kuat tersebut. Konsentrasi SPM di Bandung dari tahun 1993 sampai 1999 terdapat kecenderungan menurun, bila konsentrasi SPM tahun 1993 dan 1994 tinggi dibandingkan tahun-tahun sesudahnya, hal ini kemungkinan ada pengaruh letusan G. Pinatubo (1991) di Filipina. Letusan gunung Pinatubo melepaskan hampir 30 Mt  $\text{SO}_2$  ke stratosfer, merupakan letusan terbesar dari gunung berapi selama abad ini. Gas  $\text{SO}_2$  diubah menjadi partikel asam sulfat melalui reaksi fotokimia oleh radiasi matahari. Di stratosfer tidak terdapat proses pembersihan seperti proses pencucian secara *rain out* dan *wash out* terhadap

partikel-partikel tersebut, akibatnya partikel-partikel tersebut tersuspensi didalam stratosfer dan menghamburkan dan mereduksi radiasi matahari langsung yang menembus permukaan bumi<sup>6)</sup>. Sesudah tahun tersebut konsentrasi SPM cenderung turun, dalam pengamatan kami kemungkinan naik-turunnya konsentrasi SPM karena aktivitas manusia dan partikel-partikel tanah yang beterbangan dari tanah yang kering.

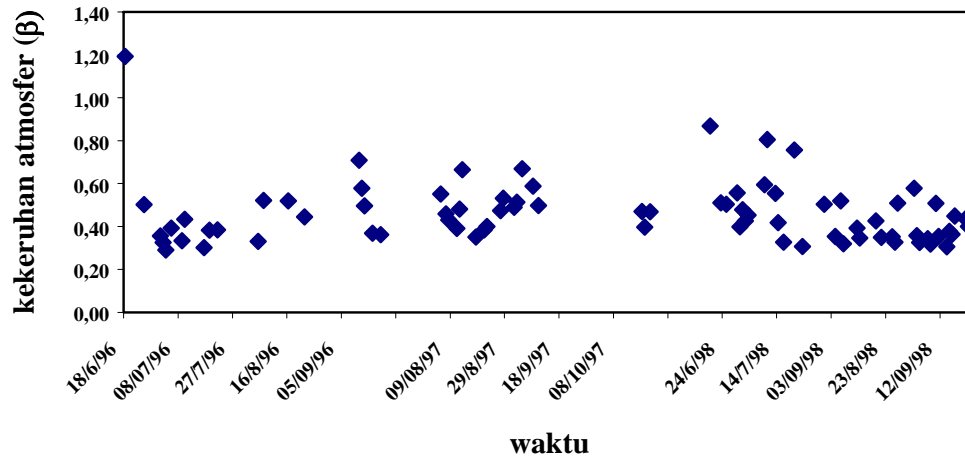
Pada musim hujan konsentrasi SPM cenderung lebih kecil dibandingkan pada musim kemarau, konsentrasi SPM secara umum memperlihatkan puncak maksimum dari bulan Juni sampai September selama tahun 1993 sampai 1999. Selanjutnya konsentrasi SPM berperan dalam mempengaruhi ketebalan optik aerosol dan koefisien kekeruhan atmosfer di Bandung.



Gambar 2. Konsentrasi SPM (*suspended particulate matter*)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di Jl. Cemara Bandung (data BMG)

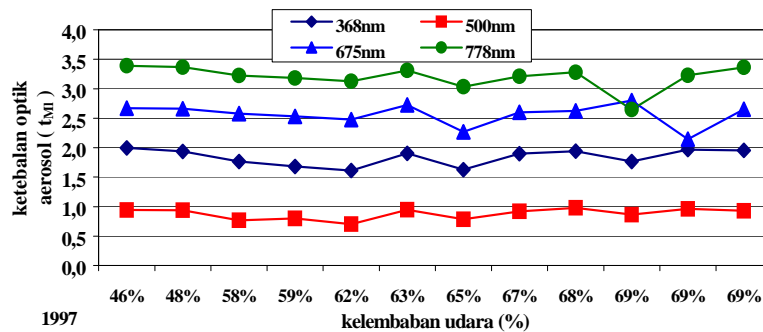
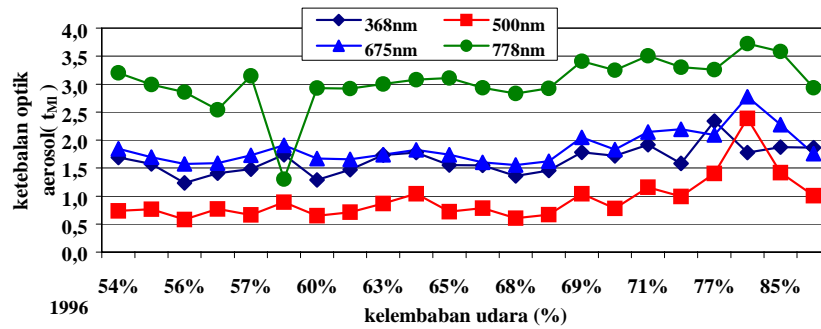
Koefisien kekeruhan atmosfer ( $\beta$ ) di daerah panjang gelombang 500 nm pada Gambar 3 memperlihatkan hasil perhitungan dari tahun 1996 sampai 1998 pada musim kemarau dan peralihan yaitu Juni-September(1996 dan 1998) dan Agustus-Oktober pada tahun 1997. Nilai koefisien kekeruhan atmosfer rata-rata bulanan pada tahun 1996 dari Juni sampai September bervariasi 0,356-0,848. Tahun 1997 dari Agustus sampai Oktober nilai koefisien kekeruhan atmosfer ( $\beta$ ) rata-rata bulanan bervariasi 0,421-0,494. Sedangkan nilai rata-rata bulanan pada tahun 1998 dari Juni sampai September bervariasi 0,375-0,568. Hasil perhitungan koefisien kekeruhan atmosfer di Bandung dalam tiga tahun cenderung berfluktuasi. Variasi koefisien kekeruhan atmosfer bervariasi sama seperti sumber yang mempengaruhinya yaitu konsentrasi SPM, konsentrasi yang tinggi pada musim kemarau berdampak pada kekeruhan atmosfer di Bandung, pada bulan-bulan Agustus dan September selama tiga tahun konsentrasi SPM adalah tertinggi dan dampaknya juga terlihat pada ketebalan optik aerosol dan koefisien kekeruhan atmosfer kecuali tahun 1998. Variasi yang kuat karena pengaruh partikel-partikel tanah dan

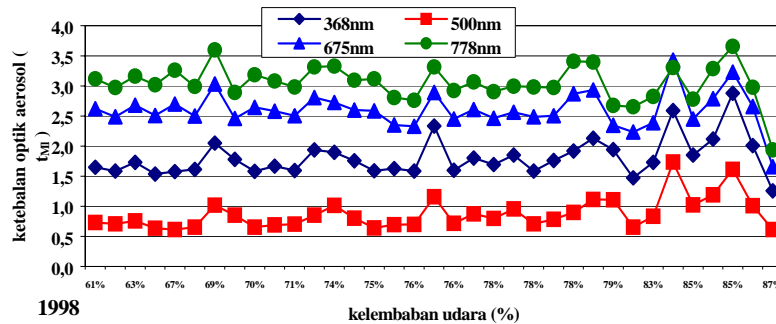
aktivitas manusia. Koefisien kekeruhan atmosfer pada periode musim kemarau 1996 sampai 1998 bervariasi 0,25–1,20 dengan rata-rata tahunan bervariasi 0,441–0,461 (Gambar 3). Dari penelitian Ohta *et al.*, 1997 menyimpulkan terdapat hubungan yang erat dengan peristiwa letusan gunung berapi, seperti EL Chichon di Mexico pada Maret dan April 1982 dan gunung Pinatubo di Pilipina pada Juni 1991, yang telah menaikkan koefisien kekeruhan atmosfer di Jepang. Terdapat puncak maksimum 1982-1984 dan 1991-1993 dikarenakan letusan gunung El. Chichon dan gunung Pinatubo. Demikian pula pada pertengahan tahun 1960 terdapat puncak maksimum dikarenakan letusan gunung Agung tahun 1963.



Gambar 3. Koefisien kekeruhan atmosfer ( $\beta$ ) pada panjang gelombang 500 nm di Bandung

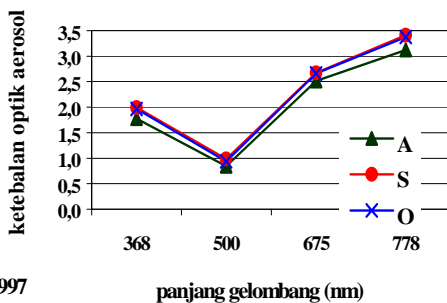
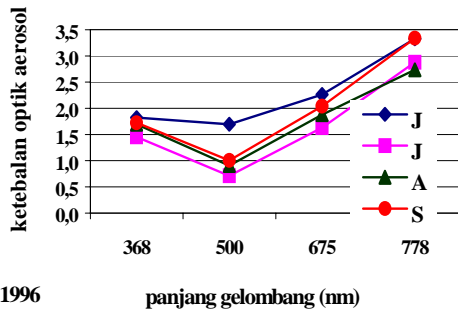
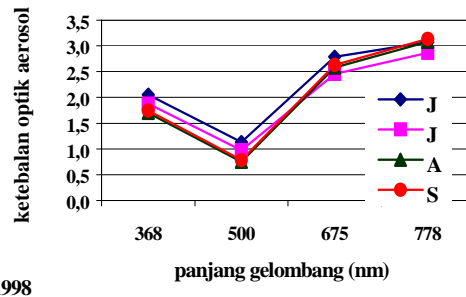
Selain itu kelembaban udara sangat mempengaruhi ketebalan optik aerosol pada nilai RH di atas 70% dalam Gambar 4.





Gambar 4. Ketebalan optik aerosol pada panjang gelombang 368-778 nm sebagai fungsi variasi kelembaban udara (RH) di Bandung

Dari tahun 1996 sampai 1998 kelembaban udara relatif di Bandung bervariasi dari 46% sampai 90%. Nilai ketebalan optik aerosol dalam empat panjang gelombang (368-778) adalah hampir konstan pada daerah kelembaban udara dibawah 70% seperti hasil pengamatan tahun 1997 dengan kelembaban udara bervariasi 46%-69%. Pada daerah kelembaban udara diatas 70% seperti Gambar 4 tahun 1996 dan 1998 ketebalan optik aerosol terlihat berfluktuasi. Bandung merupakan daerah dataran tinggi dan mempunyai nilai rata-rata RH bervariasi 60%-90%.



Gambar 5. Ketebalan optik sebagai fungsi panjang gelombang (368-778 nm), pada periode musim kemarau dan peralihan dari tahun 1996-1998 di Bandung

Gambar 5 memperlihatkan ketebalan optik aerosol rata-rata bulanan pada periode Juni – Oktober sebagai fungsi dari panjang gelombang. Hasilnya ketebalan optik aerosol mempunyai nilai minimum pada panjang gelombang 500 nm, dan naik pada daerah panjang gelombang 675 dan 778 nm. Pada tahun 1997 nilai ketebalan optik aerosol adalah stabil karena pengaruh yang dominan hanya oleh partikel-partikel., sedangkan kelembaban udara (RH) pada Agustus sampai Oktober adalah relatif kecil bila dibandingkan tahun 1996 dan 1998.

**5. Kesimpulan**

- Ketebalan optik aerosol pada panjang gelombang 368-778 nm bervariasi 0,711-3,409 dengan nilai rata-rata tahun 1996, 1997 dan 1998 adalah 1,080; 0,923 dan 0.913 secara berurutan. Pada musim kemarau dan peralihan (Juni-Oktober) terlihat ketebalan optik berkorelasi sangat baik dengan nilai

konsentrasi SPM yang maksimum di bulan-bulan tersebut.

- Variasi koefisien kekeruhan atmosfer bervariasi sama seperti sumber yang mempengaruhinya yaitu konsentrasi SPM yang tinggi pada musim kemarau dan peralihan, dan berdampak pada kekeruhan atmosfer di Bandung pada bulan Juni-Oktober. Koefisien kekeruhan atmosfer pada periode musim kemarau dan peralihan 1996 sampai 1998 bervariasi 0,25 – 1,20 dengan rata-rata tahunan bervariasi 0,441 - 0,461.
- Konsentrasi SPM memperlihatkan nilai maksimum pada musim kemarau dan peralihan dari Juni sampai Oktober selama 1996-1998 dan mempunyai nilai minimum pada musim penghujan. Nilai rata-rata tahun 1996, 1997 dan 1998 adalah 118,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan 121,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  berturut-turut.
- Karakteristik ketebalan optik aerosol dipengaruhi oleh kelembaban udara dan konsentrasi partikel-partikel aerosol dari debu tanah kering dan aktivitas manusia..

#### Daftar Pustaka

1. Barenblatt G.I., dan Golitsyn G.S., Local Structure of Mature Dust Storms, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 34, 1917-1933, (1974).
2. McCormick M. P., Thomason L. W., dan Trepte C.R., Atmospheric effects of the Mt Pinatubo Eruption, *Nature*, Vol. 373, 399-404, (1995).
3. Seinfeld J.H., and Pandis S.N., *Atmospheric Chemistry and Physics*, John Wiley and Sons Inc., 1143-1145, 1997.
4. Ohta S., Murao N., Yamagata S., Fukasawa T., Hasegawa S., dan Arao K., Variation in Atmospheric Turbidity in The Area Around Japan, *Journal of Global Environment Engineering, Environ.*, Vol. 3, 9-21, (1997).
5. IPCC, Climate Change 1992, The Supplemental Report to The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, 200, 1992.
6. McCormick dan Ludwig, Climate modification by Atmospheric Aerosols, *Science*, 156, 1358-1359, (1967).
7. Parker D. E. , Wilson H., Jones P. D., Christy J. R., dan Polland C. K., The Impact of Mount Pinatubo on Worldwide Temperatures, *International Journal of Climatology*, (1995).
8. Instruction Manual Sunphotometer Model MS-110 (Automatic Type), *Eko Instruments Trading Co., Ltd.*, Tokyo-Japan, 1993.
9. Singh R., Pasricha P.K., Sharma M.C., dan Srivastava B.N., Multi Wavelength Measurement of Atmospheric Turbidity and Determination of The Fluctuations in Total Ozone Over Antarctica, *Atmospheric Environment*, Vol. 26A, No.4, 525-530, (1992).
10. Yamamoto, G., Tanaka, M. dan Arao, K., Hemispherical distribution of turbidity coefficient as estimated from direct solar radiation measurements, *J. Meteor. Soc. Japan*, vol. 46, 287-300, (1968).
11. Lenoble J., Atmospheric Radiative Transfer, *A. Deepak Publishing*, Hampton-Virginia USA, 243, 1993.
12. In-Sik Kang, Chang-Hoi Ho and Young-Kwon Lim, *Principal Modes of Climatological Seasonal and Intraseasonal Variations of the Asian Summer Monsoon*, Monthly Weather Review, Vol. 127, 322-340, 1999.