

**KARAKTERISTIK BLACK CARBON PARTIKULAT  
UDARA HALUS PM<sub>2,5</sub> DI BANDUNG DAN LEMBANG 2004 - 2005\***

Diah Dwiana Lestiani, Muhyatun Santoso, Achmad Hidayat

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, BATAN - Bandung

**ABSTRAK**

**KARAKTERISTIK BLACK CARBON PARTIKULAT UDARA HALUS PM<sub>2,5</sub> DI BANDUNG DAN LEMBANG 2004 – 2005.** *Black carbon* (BC) merupakan bentuk impuritas dari karbon hasil pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil atau pembakaran biomassa. *Black carbon* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan iklim melalui sifatnya yang mampu menyerap sinar matahari. Sumber utama BC adalah antropogenik, termasuk pembakaran biomassa, kendaraan bermotor serta sumber industri seperti pembakaran batu bara. Konsentrasi BC umumnya 10-40% dari partikulat udara halus yang berukuran kurang dari 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>), sehingga sangat penting dilakukan penentuan secara tepat. Pada penelitian ini, BC pada PM<sub>2,5</sub> ditentukan berdasarkan metode reflektansi menggunakan alat EEL Smoke Stain Reflectometer. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan Gent Stacked Filter Unit dua kali seminggu selama dua tahun di dua lokasi (BATAN Bandung dan stasiun BMG Lembang). Hasil penentuan kadar BC di daerah lokasi sampling Bandung dan Lembang tahun 2005 menunjukkan peningkatan dari tahun sebelumnya. Hasil rata-rata tahunan BC tahun 2004 untuk daerah Bandung dan Lembang masing-masing sebesar 3,16 dan 2,42 µg/m<sup>3</sup> dan tahun 2005 masing-masing adalah 3,90 dan 2,61 µg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi BC pada kedua tempat ini memberikan kontribusi sekitar 18 – 25 % dari partikulat massa halus. Perbandingan konsentrasi BC dengan beberapa negara lain di Asia yang menggunakan metode dan formula yang sama juga dilakukan untuk mengetahui distribusi tingkat pencemaran BC di Asia. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa konsentrasi BC di Indonesia masih lebih rendah dibanding negara-negara lain di Asia.

**Kata kunci :** *black carbon*, PM<sub>2,5</sub>, reflektansi

**ABSTRACT**

**CHARACTERISTIC OF BLACK CARBON IN FINE PARTICULATE MATTER AT BANDUNG AND LEMBANG SITES 2004 – 2005.** Black carbons (BC) are impure forms of carbon produced by incomplete combustion of fossils fuels or biomass. It has a significant influence in climate forcing due to its light absorption capabilities. In the atmosphere main source of BC are anthropogenic include biomass burning, motor vehicles and industrial sources such as coal combustion. Black carbon typically 10-40% of the fine particulate matter size less than 2.5 µm, therefore it is important to measure the BC correctly. In this study, the measurement of black carbon in fine fractions PM<sub>2,5</sub> was done based on reflectance method using EEL Smoke Stain Reflectometer. The sampling was carried out using Gent Stacked Filter Unit twice a week in two locations (BATAN Bandung and Bureau of Meteorological and Geophysics Station Lembang). The results showed there was a significant increasing in both sampling sites in 2005 compared to previous year. The annual average of BC in 2004 at sampling site Bandung and Lembang were 3.16 and 2.42 µg/m<sup>3</sup> respectively; in 2005 similarly BC levels at Bandung were higher than that of Lembang with annual average of 3.90 and 2.61 µg/m<sup>3</sup> respectively. These concentrations contribute around 18 – 25 % of the fine particulate matter. Comparison the BC concentration with other countries in Asia that used the same method and formula is also presented to show the distribution of BC in Asia. The results showed that BC concentration in Indonesia was lower compared to other countries in Asia.

**Key words :** black carbon, PM<sub>2,5</sub>, reflectance

\* Dipresentasikan pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, 17-18 Juli 2007, BATAN - Bandung

## 1. PENDAHULUAN

*Black carbon* (BC) merupakan bentuk impuritas dari karbon hasil pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil atau pembakaran biomassa (1). Hovarth (2,3) menyatakan bahwa penyerapan sinar matahari di atmosfer lebih dari 90% didominasi oleh BC. *Black carbon* memiliki efek cukup kompleks pada perubahan iklim, BC menyebabkan pemanasan pada atmosfer (*positive radiative forcing*) karena sifatnya mampu menyerap radiasi matahari di atmosfer, tetapi juga memiliki efek mendinginkan permukaan bumi (*negative radiative forcing*) karena mencegah radiasi tersebut mencapai permukaan bumi. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) 2001 memperkirakan bahwa pengaruh sumber antropogenik termasuk BC terhadap perubahan iklim akan meningkat secara berkelanjutan dari tahun 2000 ke 2100 [3]. Sumber utama BC adalah sumber antropogenik, termasuk pembakaran biomassa, kendaraan bermotor (bensin dan diesel) dan sumber industri seperti pembakaran batu bara (4,5). Pengurangan sumber pencemaran BC diyakini merupakan strategi yang baik dalam mengurangi dan memperkecil pemanasan global (6,7).

Penentuan BC di beberapa negara Asia Pasifik (5,8) menunjukkan bahwa BC umumnya memberikan kontribusi sekitar 10-40% dari partikulat udara halus yang berukuran kurang dari 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ). Oleh karena itu penentuan BC menjadi parameter yang sangat penting dalam karakterisasi partikulat udara. Pada penelitian ini, akan ditentukan konsentrasi BC pada  $\text{PM}_{2,5}$  dan

perbandingan hasilnya dengan beberapa negara di Asia yang menggunakan metode dan formula yang sama untuk mengetahui tingkat pencemaran BC di Indonesia.

## 2. TEORI

Cahaya yang direfleksikan atau diserap pada filter sampel bergantung pada konsentrasi partikel, densitas, refraksi indeks dan ukuran (2,3). Jika dilakukan sampling pada filter, maka areal densitas dari filter tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$D = M * V/A \quad (1)$$

di mana  $A$  adalah luas area filter sampel ( $\text{cm}^2$ ),  $V$  adalah volume sampel ( $\text{m}^3$ ) yang didapatkan berdasarkan laju alir pompa ( $\text{L}/\text{min}$ ) dan waktu sampling (jam). Transmisi cahaya yang memiliki panjang gelombang melalui filter yang mengandung partikel debu udara, dinyatakan dalam persamaan berikut (9):

$$I = I_0 \exp [-\epsilon D/100] \quad (2)$$

di mana  $I_0$  adalah transmisi cahaya melalui filter kosong,  $I$  adalah transmisi melalui filter sampel,  $\epsilon$  adalah koefisien absorpsi untuk panjang gelombang tertentu ( $\text{m}^2/\text{g}$ ). Dengan asumsi bahwa absorpsi pada filter sampel yang diukur disebabkan oleh BC, maka densitas ( $D$ ) merupakan densitas BC pada filter (BC) di mana dari persamaan 2 dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{BC } (\mu\text{g}/\text{cm}^2) = \{ 100/(\epsilon) \} \ln [I_0/I] \quad (3)$$

Untuk pengukuran BC menggunakan metode reflektansi cahaya, di mana cahaya yang berasal dari suatu sumber cahaya/lampu dihamburkan melalui *annular*

*photocel* ke permukaan filter sampel, selanjutnya cahaya tersebut direfleksikan kembali ke *photocell*, maka panjang *path* cahaya tersebut adalah dua kali dari panjang *path* transmisi, sehingga densitas BC dari pengukuran reflektans dari persamaan (3) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$BC (\mu\text{g}/\text{cm}^2) = \{100/(2\varepsilon)\} \ln [R_o/R] \quad (4)$$

$$BC (\mu\text{g}/\text{m}^3) = A/V * \{100/(2\varepsilon)\} \ln [R_o/R] \dots\dots (5)$$

*A* adalah luas area sampel (cm<sup>2</sup>), *V* adalah volume sampling (m<sup>3</sup>), *R<sub>o</sub>* adalah nilai reflektans dari filter kosong (=100%) dan *R* adalah nilai reflektans dari filter sampel (%). Nilai reflektans yang diperoleh dari filter sampel merupakan nilai yang sebanding dengan jumlah BC pada filter. Untuk  $\varepsilon$ , Maenhaut 1998 (5) mendapatkan nilai sebesar 5,27 m<sup>2</sup>/g dari eksperimen menggunakan pengukuran reflektansi cahaya putih pada filter Nuclepore diameter 47 mm.

Di samping persamaan (5) digunakan pula formula BC pada filter Nuclepore polikarbonat sebagai berikut :

$$BC = \frac{A}{V} \left\{ \frac{1000 \times \text{LOG} \left( \frac{R_{\text{blank}}}{R_{\text{sampel}}} \right) + 239}{45,8} \right\} \quad (6)$$

*R<sub>blank</sub>* adalah nilai reflektans filter kosong (100%), *R<sub>sampel</sub>* adalah nilai reflektans filter sampel, *A* adalah luas area filter sampel (cm<sup>2</sup>) dan *V* adalah volume sampel (m<sup>3</sup>), dengan nilai 2,39 dan 45,8 adalah konstanta yang digunakan untuk filter Nuclepore Polikarbonat yang berasal dari eksperimen

perhitungan BC menggunakan pembakaran asetilen (Prof. Dr. M. O. Andreae, Max Planck Institute of Chemistry, Mainz, Germany) (10). Persamaan (5) dan (6) memberikan nilai yang hampir sama (~99%) untuk perhitungan BC pada area filter sampel yang sama.

### 3. TATA KERJA

Pengambilan sampel partikulat udara dilakukan seminggu dua kali selama 24 jam mulai Maret 2004 sampai Desember 2005, menggunakan *Gent stacked filter unit sampler* di dua lokasi sampling sebagai perwakilan daerah *suburban* (stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika – BMG Lembang) dan *urban* (Batan Bandung). Filter yang digunakan adalah filter jenis Nuclepore polikarbonat yang berukuran dua macam yaitu filter halus (berpori-pori 0,4 μm) dan filter kasar (berpori-pori 8 μm). Penentuan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dilakukan menggunakan metode gravimetri, yang diperoleh dari pengurangan hasil penimbangan berat sampel pada filter halus dengan berat filter halus kosong. Sebelum dilakukan penimbangan, filter dikondisikan pada ruang bersih dengan temperatur 18 - 25°C dan kelembaban maksimum kurang dari 55%. Penentuan reflektans dari filter sampel dilakukan menggunakan alat EEL Smoke Stain Reflectometer, Diffusion Systems, Ltd, Model 43D.

Tata cara pengukuran reflektans BC menggunakan EEL *smoke stain reflectometer* adalah sebagai berikut (11):

Sampel yang akan diukur harus disimpan (dikondisikan) minimal 12 jam pada kondisi yang sama dengan alat

#### EEL Smoke Stain Reflectometer.

Kondisi diusahakan berada pada rentang suhu 18 - 25°C dan kelembaban maksimum mencapai 55 %.

Sampel yang akan diukur harus ditangani menggunakan pinset yang bersih.

Alat dihubungkan dengan tegangan jala-jala 220 – 240 V, tombol ON ditekan lalu dibiarkan minimal selama ½ jam agar kondisi alat stabil.

Angka pada *display* diatur hingga menunjukkan angka 00,0 dengan memutar tombol ZERO tanpa memasang *Reflectometer Lead* (RL) pada soket INPUT.

Kabel RL dipasang pada soket INPUT, kemudian *Reflectometer Lead* (RL) diletakkan di atas standar putih. Tombol COARSE atau tombol FINE diputar hingga angka pada *display* menunjukkan angka 100.

Untuk pengukuran filter halus sampel partikulat udara, *Reflectometer Lead* (RL) diletakkan di atas standar abu-abu, kemudian tombol COARSE dan FINE diputar hingga angka pada *display* menunjukkan angka yang sesuai dengan nilai yang didapatkan dari pengukuran 5 filter halus kosong pada standar abu-abu.

Untuk pengukuran partikulat udara pada filter kasar, *Reflectometer Lead* (RL) diletakkan di atas standar abu-abu, kemudian tombol COARSE dan FINE diputar hingga angka pada *display* menunjukkan angka yang sesuai dengan nilai yang didapatkan dari nilai pengukuran 5 filter kasar kosong pada

standar abu-abu.

Sampel partikulat udara diletakkan pada standar putih dengan posisi sampel (debu) di atas, kemudian *Reflectometer Lead* (RL) diletakkan di atas sampel tersebut.

Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali untuk masing-masing sampel.

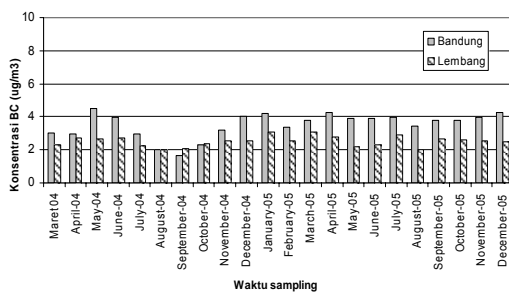
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan rata-rata bulanan konsentrasi BC pada PM<sub>2,5</sub> di lokasi sampling Bandung dan Lembang. Rata-rata tahunan konsentrasi BC pada tahun 2004 di daerah sampling Bandung dan Lembang masing-masing berkisar 3,16 dan 2,42 µg/m<sup>3</sup>, sedangkan pada tahun 2005 mengalami sedikit peningkatan dari tahun sebelumnya yaitu masing-masing berkisar 3,90 dan 2,61 µg/m<sup>3</sup>. Terjadinya peningkatan BC pada tahun 2005 dapat diprediksikan sebagai akibat dari kenaikan sumber utama BC, yaitu meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin dan solar dari tahun ke tahun (12). Pada tahun 2004, puncak konsentrasi BC di daerah sampling Bandung lebih tinggi 60% lebih dibandingkan pada daerah sampling Lembang, sedangkan pada tahun 2005 angka tersebut mencapai 70% lebih. Median konsentrasi BC untuk daerah lokasi sampling Bandung dan Lembang untuk periode tahun 2004-2005, masing-masing berkisar 3,81 µg/m<sup>3</sup> dan 2,56 µg/m<sup>3</sup>.

Pada kedua lokasi sampling, tergambar bahwa BC mengalami kenaikan pada saat musim penghujan (November – Mei) dibandingkan pada saat musim kemarau, hal ini kemungkinan disebabkan

oleh meningkatnya berbagai aktivitas yang menghasilkan kenaikan konsentrasi BC terkait musim penghujan seperti pembakaran biomassa untuk pemanasan, memasak air dan lain sebagainya.

Tabel 1 merupakan rangkuman nilai konsentrasi BC di kedua daerah sampling tahun 2004 dan tahun 2005. Rata-rata konsentrasi BC pada kedua tempat ini memberikan kontribusi sekitar 18 – 25 % dari partikulat massa halus PM<sub>2,5</sub>.



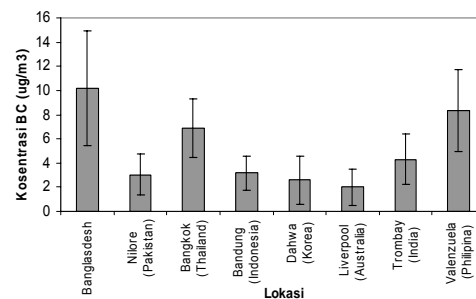
Gambar 1. Konsentrasi BC pada PM<sub>2,5</sub> di daerah sampling Bandung dan Lembang 2004 - 2005

Tabel 1. Nilai rata-rata, median dan maksimum konsentrasi BC

| Konsentrasi Black carbon (µg/m <sup>3</sup> ) | 2004     |          | 2005     |          |
|---|----------|----------|----------|----------|
|   | Ban dung | Lem bang | Ban dung | Lem bang |
| Rata-rata (µg/m <sup>3</sup> )                | 3,16     | 2,42     | 3,90     | 2,61     |
| Median (µg/m <sup>3</sup> )                   | 2,90     | 2,34     | 3,82     | 2,48     |
| Maksimum (µg/m <sup>3</sup> )                 | 7,79     | 4,18     | 7,22     | 5,34     |
| Presentase terhadap PM <sub>2,5</sub> (%)     | 24,8     | 18,3     | 23,0     | 21,9     |

Konsentrasi BC di beberapa negara Asia (13) yang ditentukan menggunakan metode dan formula yang sama ditunjukkan pada Gambar 2. Beberapa negara seperti Philipina, Thailand dan Bangladesh memiliki

rata-rata tahunan konsentrasi BC lebih tinggi dibandingkan negara lainnya seperti Australia, Pakistan, Indonesia, India dan Korea, yaitu berkisar di atas 7 µg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi BC di daerah lokasi sampling Bandung, masih relatif rendah dibandingkan dengan negara-negara tersebut. Walaupun demikian, hal ini bukan berarti bahwa tingkat pencemaran udara khususnya BC di Indonesia masih dalam kondisi aman.



Gambar 2. Perbandingan konsentrasi BC di beberapa negara di Asia tahun 2004

## 5. KESIMPULAN

Penentuan konsentrasi BC pada PM<sub>2,5</sub> di dua lokasi sampling, Bandung dan Lembang mulai bulan Maret 2004 – Desember 2005 menggunakan metode reflektans dengan 2 macam persamaan, memberikan hasil konsentrasi BC yang hampir sama (99%) untuk pengukuran pada filter yang sama. Konsentrasi BC dari dua lokasi tersebut menunjukkan terjadinya peningkatan pada tahun 2005 dibandingkan tahun sebelumnya. Konsentrasi BC pada daerah Bandung (*urban*) lebih tinggi 60-70% dibandingkan dengan daerah sampling Lembang yang merupakan daerah *suburban*. Umumnya puncak konsentrasi BC terlihat pada musim penghujan.

Konsentrasi BC memberikan kontribusi berkisar 18 – 25% pada  $PM_{2.5}$  sehingga penentuan BC secara akurat dan benar menjadi penting untuk dilakukan. Pemantauan tingkat konsentrasi BC dapat menjadi referensi dan sebagai peringatan dini apabila terjadi peningkatan konsentrasi, yang selanjutnya diharapkan dapat dimanfaatkan oleh pembuat kebijakan untuk menentukan langkah dan tindakan untuk mengurangi dan memperkecil sumber cemaran yang menjadi sumber utama cemaran BC.

#### **6. UCAPAN TERIMA KASIH**

Penelitian ini terlaksana atas bantuan secara teknis dan finansial melalui kerjasama regional di bawah koordinasi IAEA dalam proyek RAS/7/013. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh personil kelompok Teknik Analisis Radiometri yang terlibat dalam sampling dan pengukuran BC.

#### **7. DAFTAR PUSTAKA**

1. Goldberg E. Black Carbon in the Environment. NY: Wiley and Sons;1972
2. Hovarth H. Atmospheric light absorption – A review, Atmos Environ 1993;27:293-317
3. Hovarth H. Experimental calibration for aerosol light absorption measurements using the integrating plate method – Summary of the data, Aerosol Science 1997;28:1149-1161
4. Chung H, Senfeld HJ. Global Radioactive Effect of Particulate Black Carbon, California Air Resources Board

and the California Environmental Protection Agency;2005

5. Cohen DD, Taha G, Stelcer ED, Garton D, Box G. The Measurement and Sources of Fine Particle Elemental Carbon at Several Key Sites in NSW over the Past Eight Years, J Geoph 2000;102:485-490
6. Sato M, Hansen J, Koch D, Lacis A, Ruedy R, Dubovik O, Holben B, Chin M, and Novakov T. Global atmospheric black carbon inferred from AERONET, Proceeding Natural Academic Science 2003;100:6319–6324
7. Jacobson MZ. Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming, J. Geophys. Res. 2002;107(D19):4410
8. Begum AB, Swapan B. Assessment of Present Ambient Concentration of  $PM_{2.2}$  and  $PM_{10}$  in Dhaka city of Bangladesh, Manila, May 2007
9. Edrward JD, Ogren JA, Weiss RA, and Charlson RJ. Particle air pollutants, Atmos. Environ. 1983;17:2337-2341
10. Tompreter WJ, and Markwitz A. Ion Beam Analysis Results of Air Particulate Filters from Indonesia, 2005 (tidak dipublikasikan)
11. Anonymous. Manual EEL Smoke Stain Reflectometer, 2006
12. Kementrian Lingkungan Hidup. Status Lingkungan Hidup Indonesia 2005
13. Country report dari berbagai negara Asia dalam proyek RAS/7/013, New Zealand 2007 (tidak dipublikasikan)