

## **Analisis Karbon Hitam dan Karbon Monoksida di Kalimantan, Sumatera dan Jawa**

Rosida

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN

rosida2009@gmail.com

**ABSTRACT.** *Black carbon (BC) and carbon monoxide (CO) are by-products of incomplete combustion. The type of burned fuel determines the mass distribution concentration of BC and CO mass at the surface. The purpose of this research is to analyze the relationship between BC and CO from anthropogenic sources based on data of Reanalysis Modern Era-Retrospective Analysis for Research and Application (MERRA-2) model from 1997 to 2016 for Indonesia region with case study of Kalimantan, Sumatera and Java. The analysis includes daily, monthly and seasonal variations of BC and CO, as well as analysis of the impact of combustion sources on BC-CO linkages. The results of the analysis indicate that the type of burned fuel contributes differently from the concentrations of BC and CO. Time series trends for BC and CO distributions for the average of Indonesia and the study areas of Sumatra and Kalimantan show an equally declining trend. Time series trends for the Java study area indicate an increase in mass concentrations of BC and CO at the surface.*

**Keywords :** *black carbon, carbon monoxide, Sumatera, Kalimantan, Jawa*

**ABSTRAK.** *Black carbon (BC) dan carbon monoxide (CO) merupakan hasil sampingan dari pembakaran yang tidak sempurna. Jenis bahan bakar yang terbakar sangat menentukan besarnya distribusi konsentrasi massa BC dan CO di permukaan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis hubungan antara BC dan CO dari sumber antropogenik berdasarkan data model reanalisis Modern Era-Retrospective Analysis for Research and Application (MERRA-2) dari 1997 sampai 2016, untuk wilayah Indonesia dengan studi kasus wilayah Kalimantan, Sumatera dan pulau Jawa. Analisisnya meliputi variasi distribusi harian, bulanan dan musiman dari BC dan CO, serta analisis dampak dari sumber pembakaran terhadap keterkaitan BC-CO. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis bahan bakar yang terbakar memberikan kontribusi yang berbeda dari konsentrasi BC dan CO. Tren deret waktu untuk distribusi BC dan CO untuk rata-rata Indonesia dan wilayah kajian Sumatera dan Kalimantan menunjukkan tren yang sama-sama menurun. Tren deret waktu untuk wilayah kajian pulau Jawa menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi massa BC dan CO di permukaan.*

**Kata kunci :** *karbon hitam, karbon monoksida, Sumatera, Kalimantan, Jawa*

## 1. PENDAHULUAN

Industri, perumahan dan pembakaran biomasa merupakan sumber emisi terbesar karbon hitam atau *black carbon* (BC). Suspensi BC dapat mengganggu distribusi vertikal temperatur di atmosfer karena BC mampu mengabsorpsi radiasi matahari dalam jumlah yang banyak (Babu dkk., 2002; Chung and Seinfeld, 2005; Badarinath and Latha, 2006). Seperti yang telah dijelaskan Lohman dkk., (2000) dan Ackerman, dkk., 2000 dalam Rosida (2016), yang juga diperkuat oleh laporan IPCC (2013) dan penjelasan-penjelasan dari Nenes dkk., 2002; Liu dkk., 2009, bahwa BC di atmosfer dapat berfungsi sebagai inti kondensasi awan dengan memodifikasi sifat-sifat awan (seperti warna, bentuk, masa hidup awan dan albedo) dan mempengaruhi level radiasi yang mencapai permukaan. Partikel BC yang berukuran *fine-mode* dengan ukuran  $d < 0,1$  dapat meningkatkan "opacity" daerah atmosfer (Ramanathan dkk., 2005) dan memberikan pengaruh buruk pada kesehatan (Oberdorster and Yu, 1990). Pengaruhnya terhadap kesehatan dalam jangka panjang, BC dapat menyebabkan kanker dan penyakit kardiovaskular dan efek akut lainnya seperti alergi atau iritasi pada mata, hidung dan tenggorokan (Harrison and Yin, 2000; WHO, 2012).

Seperti halnya BC, karbon monoksida (CO) adalah juga produk sampingan lain dari pembakaran yang tidak sempurna. Selain dalam laporan IPCC yang dirilis pada tahun 2013, Girach dkk., 2014, juga menjelaskan bahwa CO adalah gas yang memberikan pengaruh pada rumah kaca secara tidak langsung melalui produksi ozon, metan dan karbon dioksida. CO juga dikenal sebagai polutan udara utama yang berdampak buruk pada kesehatan manusia (Girach dkk., 2014; OSHA, 2002).

Dari observasi dan pemodelan saat ini telah semakin memperkuat pendapat bahwa BC mempengaruhi *climate forcing* yang positif relatif kuat. *Forcing* BC di *top-of-atmosphere* (puncak atmosfer) diestimasi 55% besarnya dari *forcing* CO<sub>2</sub> dengan nilai rata-rata 0,9 Wm<sup>-2</sup> (dengan rentang dari 0,4 sampai 1,2 Wm<sup>-2</sup>) (Ramanathan and Carmichael, 2008). Tingkat pemanasan akibat BC sangat ditentukan oleh muatan konsentrasi massa partikel jelaga, lapisan organik dan sulfat bentuk partikel jelaga, dan kondisi campuran (Raatikainen dkk., 2016; Adachi dkk., 2010).

Menurut penjelasan Streets and Aunan (2005 dan Zhang dkk., 2009, bahwa emisi polutan BC dan CO yang signifikan yang terjadi di Asia Timur disebabkan oleh perkembangan industri yang sangat cepat yang diketahui berasal dari meningkatnya kepemilikan kendaraan pribadi, dan pembakaran bahan bakar biomassa yang rutin dilakukan secara musiman. Menurut perkiraan Bond dkk., 2004, jumlah BC yang diemisikan dari Asia Timur adalah sekitar 30% dari total emisi global antropogenik BC. Oleh karena itu, pengukuran BC dalam jangka waktu panjang adalah penting untuk dilakukan, terutama di area terpencil dan sangat terpolusi untuk dapat mengestimasi karakteristik regional yang lebih baik dan merupakan salah satu upaya dalam membatasi tingkat emisi BC (Huang and Fu, 2016; Fuzzi dkk., 2015).

Korelasi yang sangat kuat antara BC dan CO telah ditemukan dalam sejumlah penelitian seperti yang dilakukan oleh Badarinath dkk., 2007. Berkaitan dengan hal tersebut, Spackman dkk., 2008 dan Subramanian dkk., 2010, menentukan  $\Delta BC/\Delta CO$  sebagai indikator dalam studi kasus penentuan sumber polutan yang berbeda.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis hubungan antara BC dan CO dari sumber antropogenik berdasarkan data satelit untuk wilayah Indonesia. Analisisnya meliputi variasi distribusi bulanan dan musiman dari BC dan CO, serta analisis dampak dari sumber pembakaran terhadap keterkaitan BC-CO.

## 2. METODE PENELITIAN

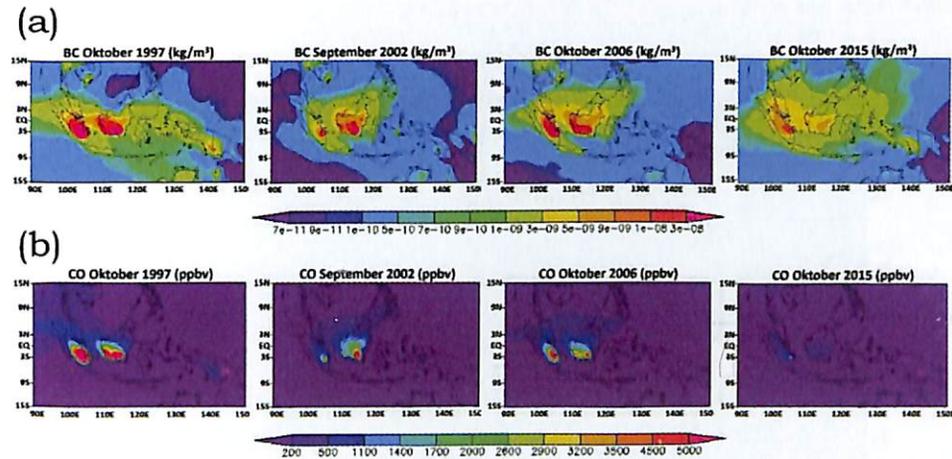
Data yang digunakan dalam kajian ini adalah data asimilasi model MERRA-2 yang mencakup parameter karbon hitam (BC) dan karbon monoksida (CO). Data model MERRA-2 memiliki resolusi spasial  $0,5 \times 0,625$  derajat dan resolusi temporal bulanan. Periode data yang digunakan untuk analisis adalah dari 1997 sampai 2016. Penentuan periode data tersebut didasarkan pada kesesuaian periode data yang tersedia. Analisis dilakukan untuk rata-rata wilayah Indonesia dalam batas ( $90^{\circ}$ - $150^{\circ}$  BT;  $15^{\circ}$  LS- $15^{\circ}$  LU) dan untuk 3 lingkup zona yang berbeda, yaitu Kalimantan ( $110,5^{\circ}$ - $116^{\circ}$  BT;  $-3,2^{\circ}$  LS- $0,6^{\circ}$  LU), Sumatera ( $101,5^{\circ}$  - $105,1^{\circ}$  BT;  $-4,6^{\circ}$  LS- $0,2^{\circ}$  LU) dan pulau Jawa ( $105,2^{\circ}$  - $114,5^{\circ}$  BT;  $-8,5^{\circ}$  LS -  $-5,7^{\circ}$  LS). Berdasarkan perbandingan tersebut diharapkan dapat memunculkan perbedaan karakteristik lokal yang lebih spesifik, dibandingkan dengan karakteristik secara umum yang terjadi untuk rata-rata wilayah Indonesia. Dari perbandingan tersebut juga diharapkan dapat dianalisis perbedaan dampak dari sumber pembakaran yang berbeda terhadap hubungan antara BC dan CO.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

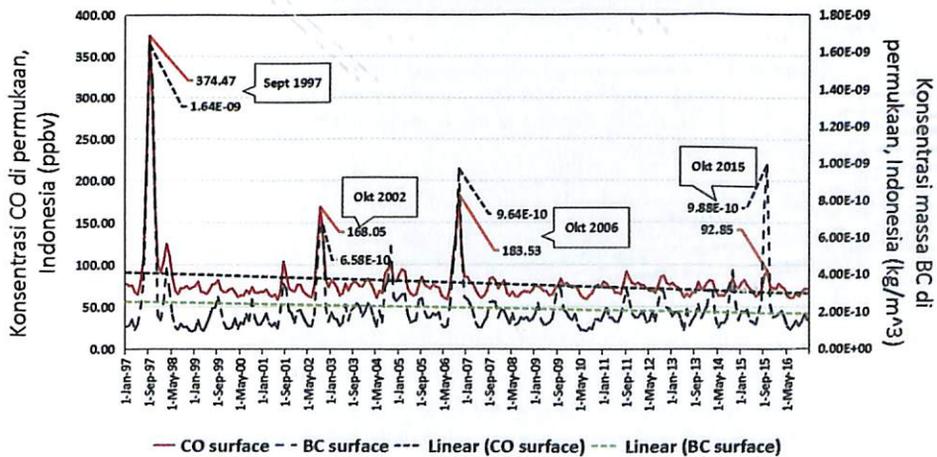
Dari hasil pengolahan data untuk rata-rata wilayah Indonesia, menunjukkan bahwa variasi spasial dan temporal dari emisi karbon hitam (BC) dan karbon monoksida (CO) adalah tinggi. Pada Gambar 1 ditunjukkan gambaran secara spasial sebaran dari emisi BC (a) dan CO (b) yang pada umumnya terjadi di wilayah Indonesia bagian barat, yaitu Kalimantan, Sumatera dan pulau Jawa, yang cenderung menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah Indonesia bagian timur. Berdasarkan hasil pengamatan data spasial, peningkatan konsentrasi BC-CO umumnya terjadi pada periode September-Oktober-November (SON). Secara temporal ditunjukkan pada Gambar 2, untuk rata-rata wilayah Indonesia, ditemukan perbedaan yang cukup signifikan antara konsentrasi massa BC dan konsentrasi CO di permukaan pada periode SON dibandingkan dengan periode musim lainnya.

Pada umumnya rentang konsentrasi massa BC dan CO dari pengamatan data 1997 sampai 2016, menunjukkan fluktuasi konsentrasi pada rentang  $\geq 4,0 \times 10^{10}$  kg/m<sup>3</sup> untuk BC dan  $\geq 100$  ppbv untuk CO. Peningkatan yang terjadi pada 1997 (2002 (2006 dan 2015 diperkirakan ada kaitannya dengan peristiwa kebakaran hutan yang sering terjadi di wilayah Kalimantan dan Sumatera. Duncan dkk., pada tahun 2003 melakukan kajian dengan menggunakan data dari *Total Ozone Mapping Spectrometer* (TOMS) terhadap dampak kimia troposfer di wilayah Indonesia pada saat peristiwa kebakaran hutan. Duncan dkk., menemukan puncak emisi dari komponen kimiawi seperti CO, BC, OC dan ozon yang  $> 69\%$  total emisi rata-rata tahun dan umumnya terjadi pada musim SON di sebelah selatan Kalimantan Tengah. Dalam penelitian ini, ditemukan konsentrasi massa BC dan CO

tertinggi pada tahun 1997 yang masing-masing mencapai  $1,64 \times 10^{-9}$  kg/m<sup>3</sup> untuk BC, dan 374,47 ppbv untuk CO. Dari variasi temporal untuk rata-rata wilayah Indonesia baik untuk konsentrasi massa BC maupun untuk konsentrasi CO di permukaan menunjukkan tren yang menurun.

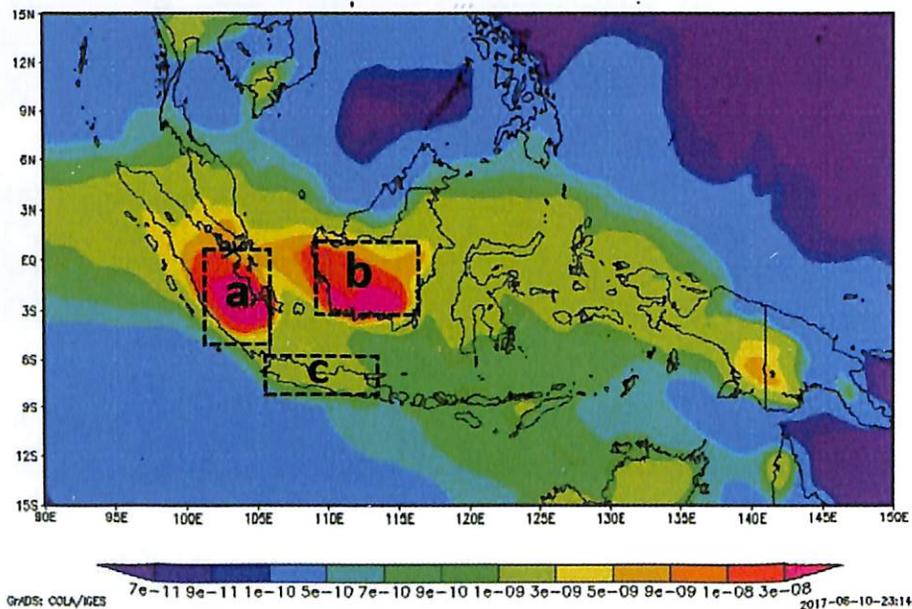


Gambar 1. Variasi spasial rata-rata karbon hitam (BC) (a) dan karbon monoksida (CO) (b), masing-masing pada Oktober 1997, September 2002, Oktober 2006 dan Oktober 2015 untuk rata-rata wilayah Indonesia.



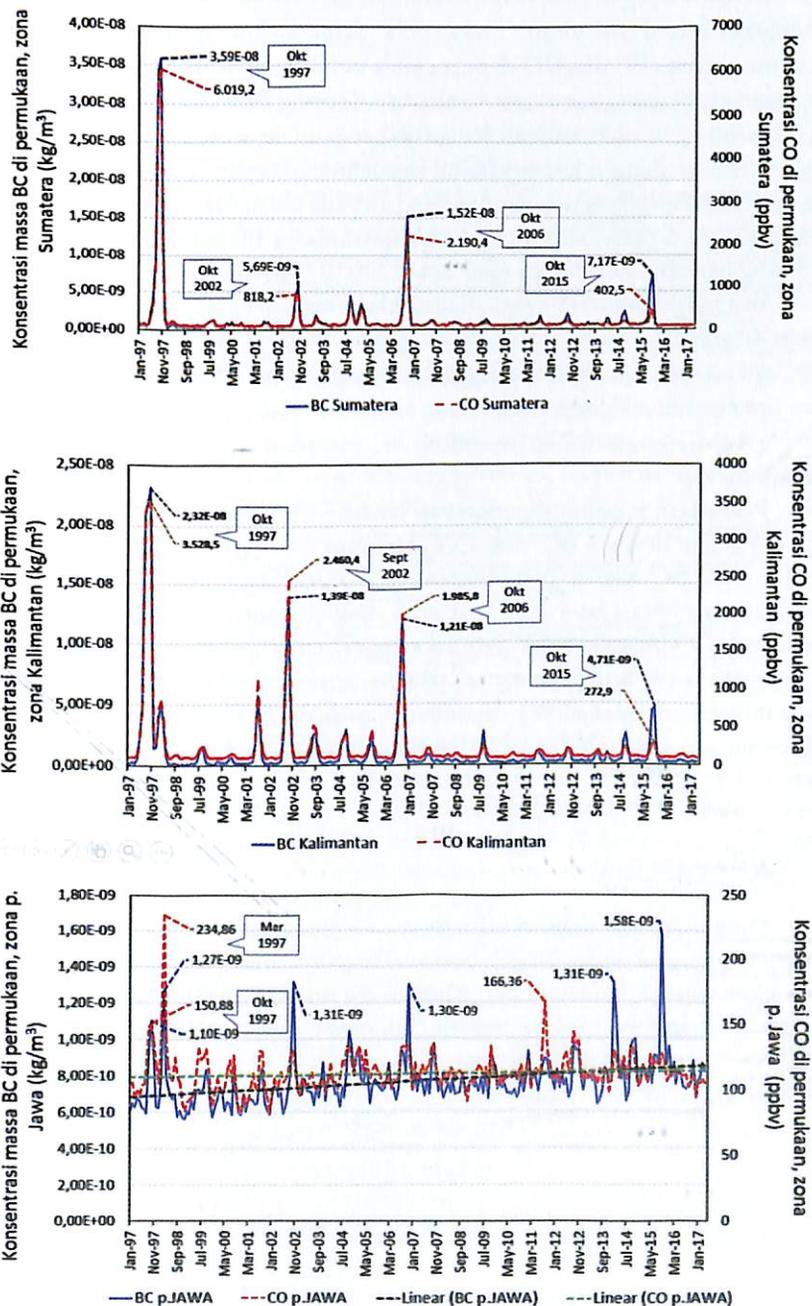
Gambar 2. Variasi temporal konsentrasi massa karbon hitam (BC) dan karbon monoksida (CO) di permukaan masing-masing dari 1997 sampai 2016 untuk rata-rata wilayah Indonesia.

Untuk melihat karakteristik dalam lingkup secara lokal, wilayah kajian kemudian ditentukan 3 lingkup yang berbeda atau 3 zona dalam batasan wilayah yang terfokus pada sumber dari emisi BC dan CO. Dari hasil analisis data spasial ditentukan tiga zona tersebut yaitu wilayah Kalimantan dalam batasan ( $110,5^{\circ}$  -  $116^{\circ}$  BT;  $-3,2^{\circ}$  LS -  $0,6^{\circ}$  LU), Sumatera dalam batas ( $101,5^{\circ}$  -  $105,1^{\circ}$  BT;  $-4,6^{\circ}$  LS- $0,2^{\circ}$  LU) dan pulau Jawa ( $105,2^{\circ}$ - $114,5^{\circ}$  BT;  $-8,5^{\circ}$  LS -  $-5,7^{\circ}$  LS).



**Gambar 3.** Pembagian tiga batas wilayah kajian, (a) Sumatera ( $101,5^{\circ}$  -  $105,1^{\circ}$  BT ;  $-4,6^{\circ}$  LS- $0,2^{\circ}$  LU), (b) Kalimantan ( $110,5^{\circ}$  -  $116^{\circ}$  BT;  $-3,2^{\circ}$  LS -  $0,6^{\circ}$  LU), dan (c.) pulau Jawa ( $105,2^{\circ}$  -  $114,5^{\circ}$  BT ;  $-8,5^{\circ}$  LS -  $-5,7^{\circ}$  LS ).

Dari hasil pengolahan data diperoleh tren menurun yang sama dengan rata-rata wilayah Indonesia untuk zona Kalimantan dan Sumatera, namun perbedaan yang cukup signifikan ditemukan dalam besarnya nilai emisi BC dan CO. Konsentrasi massa BC yang diemisikan di Sumatera dan Kalimantan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan nilai rata-rata emisi BC untuk rata-rata wilayah Indonesia. Besarnya peningkatan konsentrasi massa BC di Sumatera dan di Kalimantan yang tertinggi ditemukan pada tahun sama 1997, yang besarnya mencapai  $3,59 \times 10^{-8}$  kg/m<sup>3</sup> di Sumatera dan  $2,32 \times 10^{-8}$  kg/m<sup>3</sup> di Kalimantan. Demikain pula untuk besarnya peningkatan konsentrasi CO di Sumatera dan Kalimantan yang mencapai nilai cukup signifikan berbeda dengan rata-rata untuk wilayah Indonesia. Konsentrasi tertinggi untuk CO juga ditemukan pada tahun 1997 yang mencapai nilai lebih besar dari 6.019 ppbv untuk Sumatera dan 3.528 ppbv untuk Kalimantan.



Gambar 4. Variasi temporal konsentrasi massa BC dan CO di permukaan, masing-masing untuk (a) Sumatera, (b) Kalimantan, dan (c.) Pulau Jawa dengan periode data 1997 sampai 2016.

Berbeda dengan pola deret waktu dari data untuk Sumatera dan Kalimantan yang menunjukkan tren menurun, maka pola deret waktu yang ditunjukkan oleh data konsentrasi massa BC dan CO di pulau Jawa untuk periode data yang sama menunjukkan tren yang kebalikannya yaitu tren meningkat. Rentang data konsentrasi massa BC dan CO yang digambarkan oleh wilayah kajian pulau Jawa juga menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan dengan kedua wilayah kajian Sumatera dan Kalimantan. Konsentrasi CO tertinggi yang diemisikan di pulau Jawa terjadi pada bulan Maret 1998 yang besarnya hanya mencapai 234,86 ppbv, sementara konsentrasi massa BC tertinggi terjadi pada Oktober 2015 yang besarnya juga hanya mencapai  $1,58 \times 10^{-9}$  kg/m<sup>3</sup>.

Bila pola deret waktu yang ditunjukkan oleh data untuk Sumatera dan Kalimantan memperlihatkan kemiripan pola, maka sangat berbeda dengan pola deret waktu yang diperlihatkan oleh data untuk wilayah kajian pulau Jawa. Pola deret waktu wilayah kajian pulau Jawa menunjukkan pola data yang sangat fluktuatif dengan rentang data pada sekitar  $6 \times 10^{-10}$  sampai  $< 1,8 \times 10^{-9}$  kg/m<sup>3</sup> untuk BC dan pada rentang antara  $>50$  sampai  $<250$  ppbv untuk CO.

Perbedaan tersebut diperkirakan terjadi oleh karena adanya perbedaan sifat fisik yang berkaitan dengan BC dan CO. Menurut Baumgardner (2002) walaupun fraksi terbesar dari BC adalah pembakaran yang tidak sempurna, namun BC juga dapat dihasilkan dari abrasi ban di trotoar atau sumber noncombustion BC lainnya. Hampir sepenuhnya CO dihasilkan dari pembakaran, namun jenis bahan bakar yang menghasilkan BC mungkin berbeda dengan bahan bakar yang menghasilkan CO. (Baumgardner, 2002). Selain itu ukuran partikel BC dan ukuran molekul CO cukup berbeda dan kecepatan pemanasan dan koefisien baur CO lebih besar dibandingkan dengan BC (Baumgardner, 2002).

#### 4. KESIMPULAN

Pengaruh dari pembakaran hutan di Sumatera dan Kalimantan menunjukkan kondisi lingkungan yang sangat buruk. Tingginya nilai konsentrasi massa BC-CO di permukaan wilayah Sumatera dan Kalimantan rata-rata terjadi pada periode September-Oktober-November (SON) yang diperkirakan bersumber dari pembakaran hutan. Walaupun bersumber dari kebakaran hutan gambut yang sama, namun perbedaan distribusi BC dan CO yang terjadi di Sumatera dan Kalimantan diperkirakan oleh perbedaan dari kandungan bahan lahan yang terbakar. Berbeda dengan yang terjadi di Sumatera dan Kalimantan, kontribusi konsentrasi massa BC dan CO di permukaan wilayah pulau Jawa, diperkirakan lebih dipengaruhi oleh emisi dari aktifitas antropogenik seperti industri, transportasi atau jenis bahan bakar lainnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kepala Pusat Sains dan Atmosfer yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang sangat bermanfaat.

## DAFTAR RUJUKAN

- Ackerman, A.S., O.B. Toon, D.E. Stevens, A.J. Heymsfield, V. Ramanathan, E.J. Welton (2000). Reduction of tropical cloudiness by soot. *Science* 288, 1042–1047.
- Adachi, K., S. Chung and P. Buseck (2010). Shapes of soot aerosol particles and implications for their effects on climate, *J. Geophys. Res.*, 115(D15), D15206, doi:10.1029/2009JD012868.
- Babu, S. S., S.K. Satheesh and K.K. Moorthy (2002). Aerosol *radiative forcing* due to enhanced black carbon at an urban site in India, *Geophys. Res. Lett.*, 29(18), 4 pp., doi:10.1029/2002GL015826.
- Badarinath, K. V. S. and Latha, K. M (2006). Direct *radiative forcing* from black carbon aerosols over urban environment. *Adv. Space Res.*, 37(12), 2183–2188.
- Badarinath, K. V. S., S.K. Kharol, T.R.K. Chand, Y.G. Parvathi, T. Anasuya, and A.N. Jyothsna (2007). Variations in black carbon aerosol, carbon monoxide and ozone over an urban area of Hyderabad, India, during the forest *fire* season, *Atmos. Res.*, 85(1), 18–26 2007.
- Baumgardner, D., G. Raga, O. Peralta, I. Rosas, and T. Castro (2002). Diagnosing black carbon trends in large urban areas using carbon monoxide measurements, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. D21, doi:10.1029/2001JD000626.
- Bond, T.C., D.G. Streets, K.F. Yarber, S.M. Nelson, J.-H. Woo and Z. Klimont (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion, *J. Geophys. Res.*, 109(D14), D14203, doi:10.1029/2003jd003697.
- Chung, S. H. and J.H. Seinfeld (2005). Climate response of direct *radiative forcing* of anthropogenic black carbon, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 110(D11), 25 pp., doi:10.1029/2004JD005441.
- Duncan, B.N., I. Bey, M. Chin, L.J. Mickley, T.D. Fairlie, R.V. Martin and H. Matsueda (2003). Indonesian *Wildfires* of 1997). Impact on Tropospheric Chemistry. *Journal Of Geophysical Research*, Vol.108, No. D15, 4458, doi:10.1029/2002JD003195.
- Fuzzi, S., U. Baltensperger, K. Carslaw, S. Decesari, H. Denier van der Gon, M. C. Facchini, D. Fowler, I. Koren, B. Langford, U. Lohmann, E. Nemitz, S. Pandis, I. Riiipinen, Y. Rudich, M. Schaap, J. G. Slowik, D. V. Spracklen, E. Vignati, M. Wild, M. Williams and S. Gilardoni (2015). Particulate matter, air quality and climate). lessons learned and future needs. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 8217–8299. doi:10.5194/acp-15-8217-2015.
- Girach, I.A., S.N. Vijayakumar, S. S. Babu, R.N. Prabha (2017). Black carbon and carbon monoxide over Bay of Bengal during W\_ICARB). Source characteristics, *Atmospheric Environment* 94, 508–517., doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.054.
- Harrison, R.M., Yin, J. (2000). Particulate matter in the atmosphere). which particle properties are important for its effects on health? *The Sci. Total Environ.* 249, 85–101.
- Huang, K and J.S. Fu (2016). A global gas flaring black carbon emission rate dataset from 1994 to 2012. *SCIENTIFIC DATA* | 3:160104 | DOI:10.1038/sdata.2016.104.
- IPCC (2013). *Clouds and Aerosols*. *Climate Change 2013*). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
- Liu, X. H., J.E. Penner, and M. Wang (2009). Influence of anthropogenic sulfate and black carbon on upper tropospheric clouds in the NCAR CAM3 model coupled to the IMPACT global aerosol model, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 114, D03204, doi:10.1029/2008JD010492.
- Lohmann, U., J. Feichter, J.E. Penner, W.R. Leaitch (2000). Indirect effect of sulfate and carbonaceous aerosols). a mechanistic treatment. *Journal of Geophysical Research* 105, 12193–12206.
- Nenes, A., W.C. Conant, and J.H. Seinfeld (2002). Black carbon radiative heating effects on cloud

- microphysics and implications for the aerosol indirect effect – 2. Cloud microphysics, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 107(D21), 4605.
- Oberdorster, G. and C. Yu (1990). The carcinogenic potential of inhaled diesel exhaust). a particle effect?, *J. Aerosol Sci.*, 21, S397–S401.
- OSHA, (2002). Carbon monoxide poisoning, U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), diunduh pada tanggal 14 September 2017 dari [https://www.osha.gov/OshDoc/data\\_General\\_Facts/carbonmonoxide-factsheet.pdf](https://www.osha.gov/OshDoc/data_General_Facts/carbonmonoxide-factsheet.pdf)
- Ramanathan, V., and G. Carmichael (2008). Global and regional climate changes due to black carbon, *Nat. Geosci.*, 1(4), 221–227.
- Raatikainen, T., D. Brus, R.K. Hooda, A.P. Hyvärinen, E. Asmi, V.P. Sharma, A. Arola, H. Lihavainen (2016). Size-selected black carbon mass distributions and mixing state in polluted and clean environments of northern India. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, doi:10.5194/acp-2016-435.
- Ramanathan, V., C. Chung, D. Kim, T. Bettge, L. Buja, J. T. Kiehl, W. M. Washington, Q. Fu, D. R. Sikka, M. Wild (2005). Atmospheric brown clouds). Impacts on South Asian climate and hydrological cycle. *PNAS*, Vol.102, No. 15, 5326-5333. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0500656102](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0500656102)
- Rosida (2016). Distribusi spasial-temporal aerosol black carbon di Indonesia, Buku bunga rampai Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer tahun 2016, Sains dan Teknologi Atmosfer Benua Maritim Indonesia, ISBN). 978-602-6465-04-7, 74-87.
- Spackman, J. R., J.P. Schwarz, R.S. Gao, L.A. Watts, D.S. Thomson, D.W. Fahey, J.S. Holloway, J.A. de Gouw, M. Trainer and T.B. Ryerson (2008). Empirical correlations between black carbon aerosol and carbon monoxide in the lower and middle troposphere, *Geophys. Res. Lett.*, 35(19), L19816, doi:10.1029/2008GL035237.
- Streets, D. G. And K. Aunan (2005). The importance of China's household sector for black carbon emissions, *Geophys. Res. Lett.*, 32(12), L12708, doi:10.1029/2005GL022960.
- Subramanian, R., G.L. Kok, D. Baumgardner, A. Clarke, Y. Shinozuka, T.L. Campos, C.G. Heizer, B.B. Stephens, B. de Foy, P.B. Voss and R.A. Zaveri (2010). Black carbon over Mexico). the effect of atmospheric transport on mixing state, mass absorption cross-section, and BC/CO ratios, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 219–237, doi:10.5194/acp-10-219-2010.
- WHO (2012). Health effects of black carbon. Report of World Health Organization (WHO) European Centre for Environment and Health, WHO Regional Office for Europe, 37-46.
- Zhang, Q., D.G. Streets, G.R. Carmichael, K.B. He, H. Huo, A. Kannari, Z. Klimont, I.S. Park, S. Reddy, J.S. Fu, D. Chen, L. Duan, Y. Lei, L.T. Wang and Z.L. Yao (2009). Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 5131–5153, doi:10.5194/acp-9-5131-2009.