

Analisis Temporal dan Spasial serta Karakteristik Lokasi Suspended Particulate Matter (SPM) di Jawa dan Bali

Sumaryati, Tuti Budiwati, Asri Indrawati
sumary.bdg@gmail.com

ABSTRACT. *Suspended Particulate Matter (SPM) is a small matter with aerodynamic diameter less than or equal 100 μm , which affects on climate, atmospheric chemistry, and health problems. This paper analyzed SPM in Jawa and Bali during 2011-2014. The sampling of SPM is carried out by BMKG during 24 hour every a week. The SPM analysis was carried out temporally and spatially, and the possibilities of long range transport (LRTAP) effect. The results show that seasonal variation in urban areas located far from the coast vary significantly, while in sub-urban areas near the coast this phenomenon have not clearly detected. During the study, contribution of SPM in Jawa and Bali was dominated by local sources and it was not observed contribution of long distance sources due to long range transport air pollution*

Keywords : SPM, spatial, temporal, LRTAP

ABSTRAK. *Suspended Particulate Matter (SPM) merupakan partikel berukuran kecil dengan ukuran diameter aerodinamik kurang dari 100 μm , yang memberikan pengaruh pada iklim, kimia atmosfer, dan mengganggu kesehatan. Makalah ini menganalisis di wilayah Jawa dan Bali tahun 2011 – 2014. Sampling SPM dilakukan oleh BMKG selama 24 jam setiap minggunya. Analisis SPM dilakukan secara temporal dan spasial, serta kemungkinan adanya efek long range transport air pollution (LRTAP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi musiman di daerah perkotaan yang jauh dari pantai terlihat jelas, sedangkan daerah sub urban dekat pantai tidak ada variasi musiman yang jelas. Selama periode penelitian, SPM di Jawa dan Bali didominasi oleh sumber lokal dan tidak teramati adanya sumbangan dari sumber jauh karena adanya long range transport air pollution.*

Kata kunci : SPM, spasial, temporal, LRTAP

1. PENDAHULUAN

Suspended Particulate Matter (SPM) atau *total suspended particle* (TSP) merupakan partikel berukuran kecil, kurang dari 100 μm , dapat berupa zat padat maupun cair yang tersuspensi dalam udara. SPM tersebut dihasilkan dari proses alamiah maupun antropogenik. Aktivitas alam yang bisa menjadi sumber SPM antara lain adalah aktivitas gunung api, debu dan badai pasir, air laut, serta kebakaran hutan dan savanna. Sedangkan sumber antropogenik yang dapat menghasilkan SPM banyak didominasi oleh pembakaran bahan bakar fosil, serta beberapa proses industri.

SPM menjadi masalah serius bagi kesehatan dan bahkan sudah menjadi polutan yang paling berbahaya di Dakha-India (Begum, 2013; Scharze, 2010). SPM merupakan polutan yang tidak mengalami reaksi kimiawi di atmosfer, yang pembersihannya dari atmosfer melalui proses deposisi basah yaitu tercuci oleh air hujan dan deposisi kering karena efek gravitasi (Santachiara dkk., 2012). Kecepatan jatuh partikel selain dipengaruhi oleh ukurannya, juga dipengaruhi oleh faktor kelembapan (Sumaryati, 2009) karena terdapat partikulat yang bersifat higroskopis. Pertukaran dengan udara laut juga menyebabkan pengurangan konsentrasi SPM (Jiang dkk., 2004).

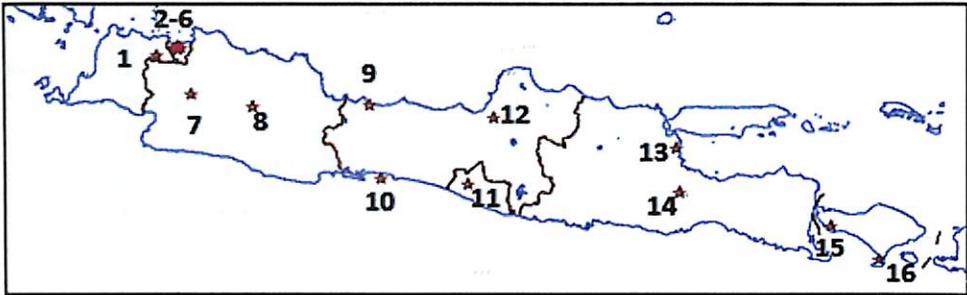
Pembersihan partikel di atmosfer melalui proses deposisi atau pengendapan. Kecepatan mengendap partikel dipengaruhi oleh gaya geseknya yang melawan gaya gravitasi. Semakin kecil partikel, semakin besar gaya geseknya, sehingga semakin kecil ukuran partikel semakin sulit partikel mengendap. Selain karena gaya geseknya di atmosfer yang tinggi, partikel yang halus semakin mudah terbawa aliran angin. Oleh karena itu partikel yang berukuran kecil berpotensi menyebar dalam jarak yang jauh dari sumbernya yang dikenal dengan istilah *long range transport air pollution* (LRTAP).

Penyebaran polutan dari sumbernya dapat dikatakan LRTAP jika jaraknya melebihi 100 km. Kejadian ini dapat terjadi jika ada sumber yang sangat besar seperti kejadian kebakaran hutan, gunung api yang aktif atau meletus, dan badai pasir. Untuk mengkaji adanya kejadian LRTAP dapat digunakan *back trajectory*, yang salah satunya dengan menggunakan model Hysplit. Makalah ini akan membahas SPM di wilayah Jawa dan Bali. Pembahasan meliputi bagaimana distribusi spasial dan variasi musimannya, karakteristik menurut lokasi pengamatan, serta kemungkinan adanya efek *long range transportair pollution* (LRTAP).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Data dan Lokasi Pengamatan

Data yang digunakan adalah data SPM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) yang diukur oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dari tahun 2010-2014, yang meliputi wilayah Jawa dan Bali. Pengamatan dilakukan seminggu sekali dengan lama sampling satu hari. Lokasi titik sampling ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi titik sampling bintang (*). titik sampling, garis biru). garis pantai, garis coklat batas provinsi
 Keterangan lokasi). 1) Ciledug, 2) Bandengan, 3) Monas, 4) Glodok, 5) Ancol, 6) Kemayoran, 7) Citeko, 8) Bandung, 9) Tegal, 10) Cilacap, 11) Yogyakarta, 12) Semarang, 13) Juanda, 14) Malang, 15) Nagara, 16) Ngurah Rai

2.2 Metodologi

Analisis data SPM ($\mu\text{g}/\text{m}_3$) dilakukan secara spasial dan temporal. Secara spasial data dikelompokkan sesuai kriteria kondisi wilayahnya, yaitu meliputi daerah pantai seperti Tegal, Cilacap dan Ngurah Rai, daerah urban seperti Jakarta dan Bandung, daerah sub urban seperti di Tegal, Yogyakarta, Semarang, dan Juanda, serta daerah rural seperti di Citeko, Malang dan Nagara. Analisis temporal berdasarkan musiman ditujukan pada tiap kriteria lokasi dan untuk mengetahui pengaruh variasi musimannya.

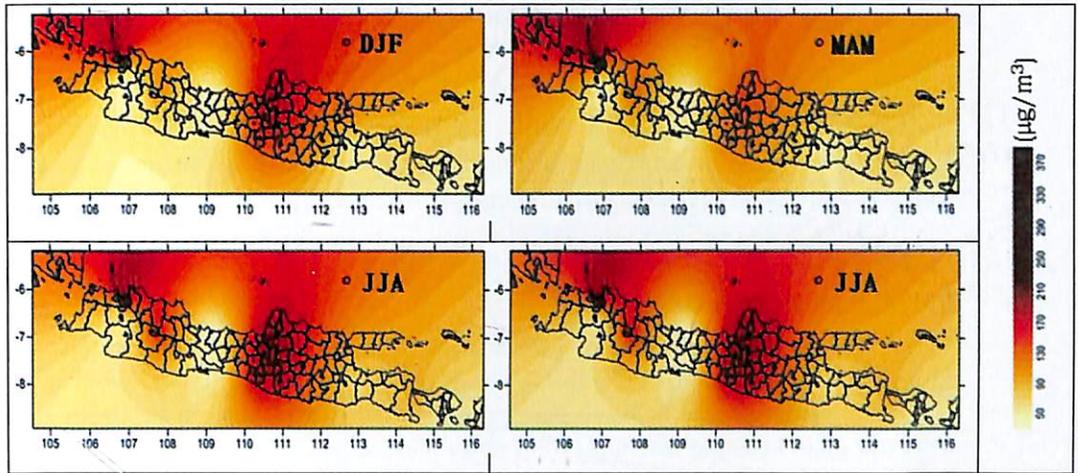
Analisis potensi adanya efek LRTAP digunakan model (*Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory*) (HYSPLIT). Model HYSPLIT adalah model komputer yang digunakan untuk menghitung lintasan paket udara dan dispersi atau pengendapan polutan di atmosfer. Model ini dikembangkan dengan system yang disebut *real-time environmental applications and display* (READY) oleh the *Air Resources Laboratory* (ARL). Running model dilakukan server NOAA-ARL dengan alamat <https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>. Model ini telah banyak digunakan untuk mengkaji pergerakan polutan udara pada skala regional (Ashrafi dkk., 2014).

Untuk mengetahui adanya LRTAP terlebih dahulu dianalisis data time series dari SPM untuk mencari jika ada konsentrasi yang menunjukkan nilai yang tinggi di atas pola normalnya. Pada kejadian ada lonjakan konsentrasi ini, diprediksi trayektori mundur (*back trajectory*) dengan menggunakan model HYSPLIT. Dalam menjalankan model HYSPLIT ini digunakan data meteorologi reanalysis global dari *Global Data Assimilation System* (GDAS, 1 degree global 2006)-Ready-NOAA. Selanjutnya pada daerah yang dilintasi *back trajectory* (lintasan mundur ke belakang) dilihat ada fenomena besar apa yang menghasilkan emisi SPM tinggi misalnya badai pasir, gunung api meletus, kebakaran hutan/savanna. Fenomena besar sepanjang lintasan trayektori mundur dapat dilihat pada pengamatan yang dilakukan oleh NASA (www.earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Peta distribusi SPM secara spasial dan musiman

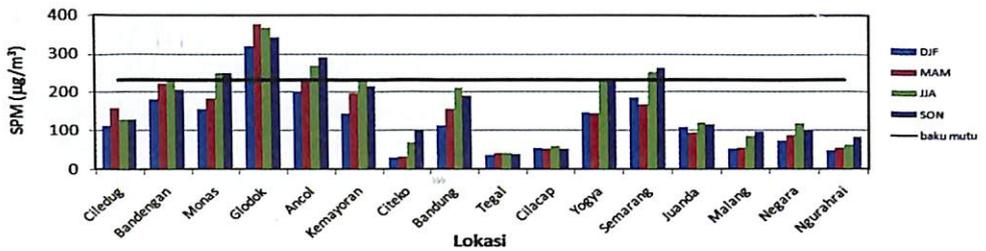
Pemetaan SPM di Jawa dan Bali dibuat rata-rata pada musim hujan (DJF), musim peralihan hujan ke kemarau (MAM), musim kemarau (JJA), dan musim peralihan kemarau ke hujan (SON). Peta musiman tersebut ditunjukkan Gambar 2, sedangkan rata-rata variasi musimannya digambarkan dengan diagram batang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. SPM di Jawa dan Bali dalam empat musim (2010-2014)

Pola SPM di Jawa dan Bali hampir sama sepanjang tahun, tetapi nilai konsentrasinya berbeda. Secara umum konsentrasi tinggi terjadi pada musim kemarau dan musim peralihan dari musim kemarau ke musim hujan, dan yang terendah musim hujan. Hal itu dikarenakan selain rendahnya curah hujan, pada musim kemarau banyak terjadi pembakaran biomasa yang menghasilkan partikulat, demikian juga musim peralihan ke musim hujan. Di daerah lintang tinggi dengan empat musim, konsentrasi SPM tertinggi terjadi pada musim dingin dan berlanjut sampai musim semi (Gholampour dkk., 2014; Jiang dkk., 2004), karena pada musim dingin terjadi peningkatan pembakaran bahan bakar.

Dari Gambar 3 terlihat bahwa SPM tinggi terjadi di daerah Jakarta, Semarang, dan Yogyakarta. SPM di Jakarta tinggi karena Jakarta dan sekitarnya merupakan daerah padat penduduk dan yang berdampak pada tingginya aktivitas transportasi dan juga beberapa industri ada di kawasan sekitar Jakarta. Selain itu tanaman yang dapat mereduksi partikulat (Nowak, 2013), sudah semakin berkurang di daerah Jakarta. Sedangkan tingginya SPM di daerah antara Semarang dan Yogyakarta dikarenakan Semarang dari sumber industri dan transportasi.

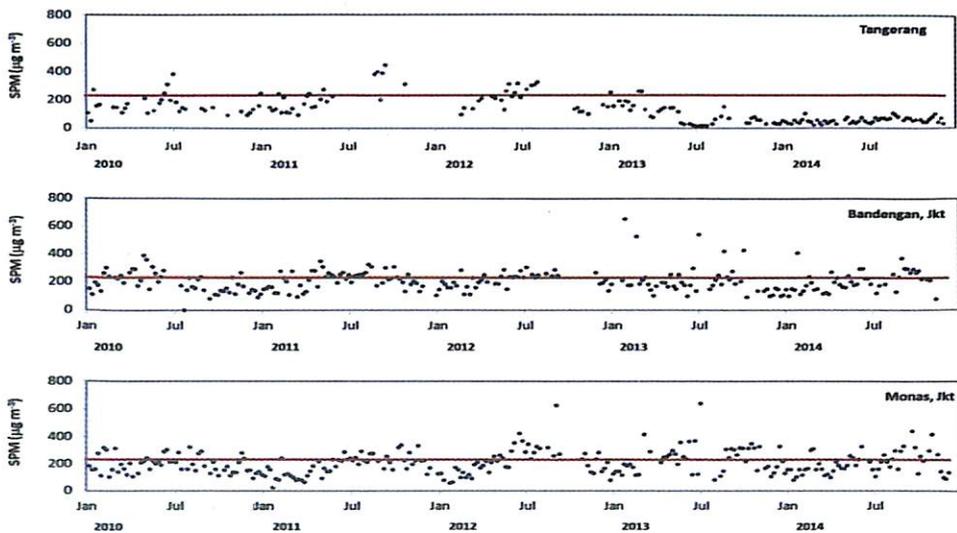


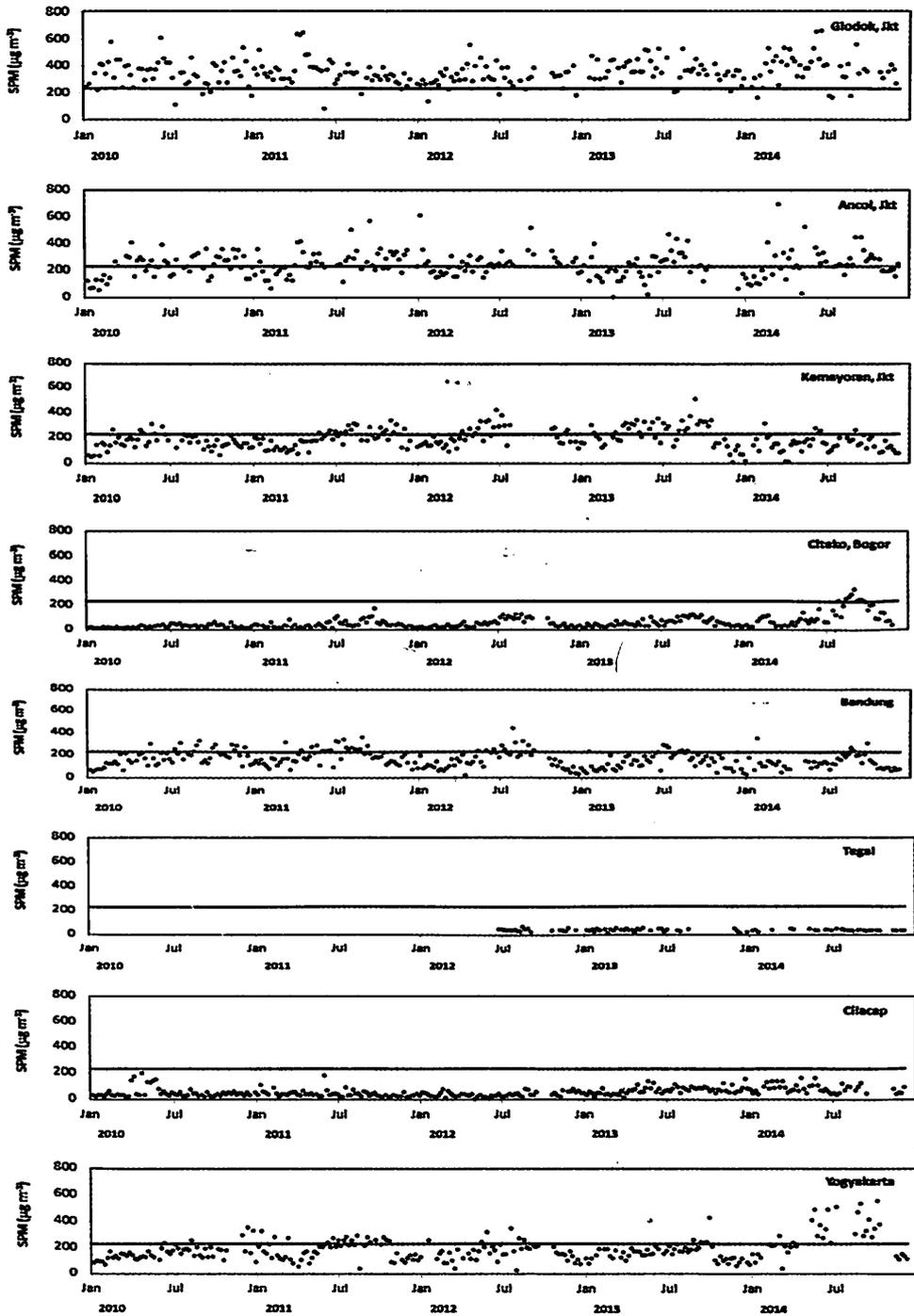
Gambar 3. Konsentrasi SPM rata-rata musiman tahun 2010-2014 di Jawa dan Bali

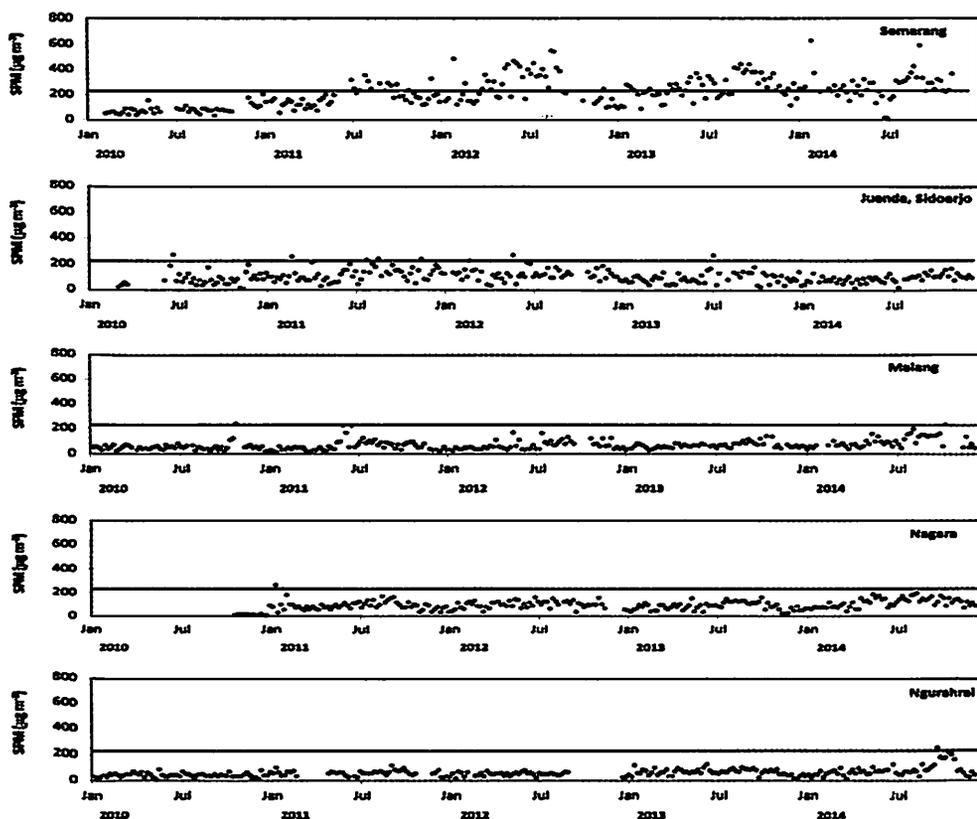
SPM rendah terjadi di lokasi pengamatan di Tegal dan Cilacap. Selain konsentrasinya yang sangat rendah juga tidak ada pola musiman, sepanjang tahun hampir sama dengan nilai yang rendah, hal itu kemungkinan disebabkan kegiatan antropogeniknya sangat rendah dan posisinya yang di tepi pantai.

3.2 Analisis Time series SPM

Data pengamatan SPM di beberapa lokasi Jawa dan Bali dalam tampilan grafik time series ditunjukkan pada Gambar 4. Secara umum konsentrasi SPM meningkat sekitar bulan Juli ketika musim kemarau dan menurun pada musim hujan pada bulan Januari. Pola musiman kemarau dan hujan SPM sangat kuat terjadi di Bandung, dimana Bandung merupakan kota besar yang letaknya jauh dari pantai dan topografinya berbentuk cekungan. Sedangkan di daerah dekat pantai pola musiman kemarau-hujan tidak terlihat pada grafik *time series*.







Gambar 4. Grafik time series SPM

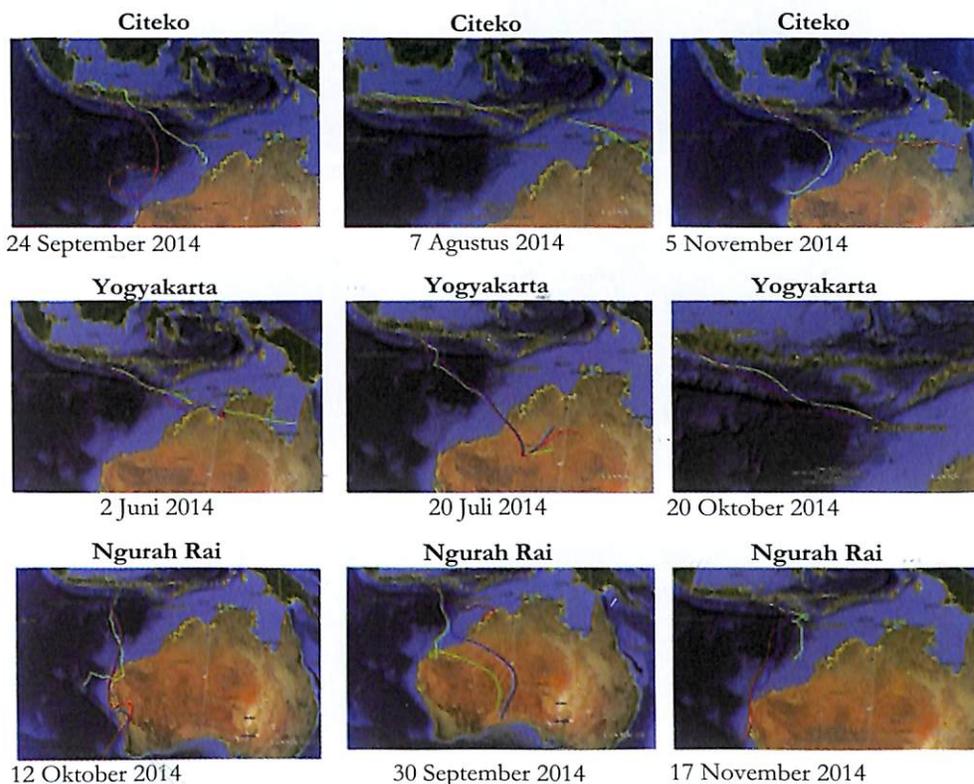
Ada beberapa periode dimana SPM melonjak lebih tinggi dari “pola normal”. Diduga ini adalah sumbangan insidental dari sumber partikulat yang sangat tinggi seperti kejadian kebakaran hutan, gunung api meletus, ataupun badai pasir dari padang pasir. Periode ketika terjadi lonjakan partikulat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Periode SPM tinggi

Lokasi	Periode	puncak konsentrasi tinggi
Citeko, Bogor	7 Agt – 5 Nov 2014	24 September 2014
Yogyakarta	2 Jun – 20 Okt 2014	20 Juli 2014
Ngurah Rai	30 Sep – 17 Nov 2014	12 Oktober 2014

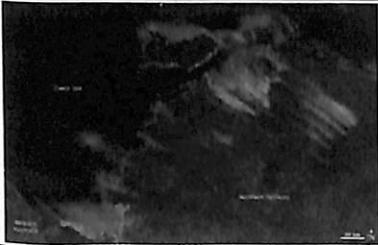
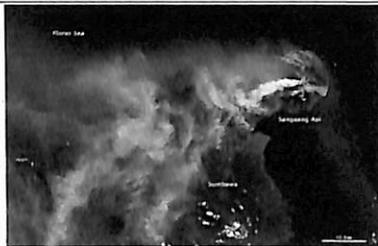
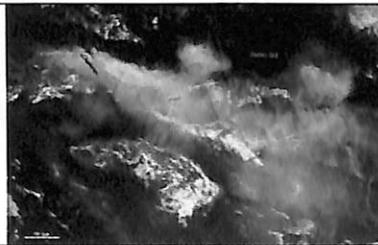
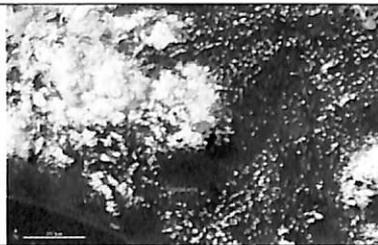
Hasil *back trajectory* dengan menggunakan model Hysplit periode ketika SPM melonjak tinggi dari pola normalnya ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan hasil *back trajectory* ini, pada semua kejadian ketika SPM tinggi menunjukkan bahwa lintasan polutan berasal dari arah tenggara melintasi Samodera Indonesia dan Benua Australia. Oleh karena itu kejadian yang berpotensi menyebabkan SPM tinggi pada periode ini adalah sumber

emisi dari Australia dan wilayah Indonesia bagian selatan sepanjang pulau Jawa sampai Nusa Tenggara.



Gambar 5. Back trajectory pada saat SPM tinggi (jam 06:00, jam 12:00, jam 18:00 waktu setempat)

Pengamatan NASA tentang bencana alam yang mengemisikan polutan besar pada tahun 2014 yang berpotensi terjadi *long range transport* adalah sebagai berikut (Gambar 6). Tidak ada waktu yang bersesuaian antara konsentrasi SPM tinggi dengan kejadian bencana alam. Oleh karena itu tingginya konsentrasi SPM pada pertengahan tahun 2014 bukan dampak *long range transport* dari sumber yang menghasilkan emisi partikulat besar dalam jarak yang jauh. Lonjakan kenaikan konsentrasi partikulat ini terjadi karena ada sumber lokal yang dekat dengan lokasi sampling yang meningkat sesaat. Kejadian kenaikan emisi ini relatif kecil, sehingga tidak menjadi perhatian dalam pengamatan global. Meskipun kenaikan emisi sumbernya kecil, tetapi karena jaraknya dekat sehingga berpengaruh pada hasil pengamatan.

	
Kebakaran hutan di Australia bagian utara (sekitar 9 Juni 2014)	Kebakaran hutan di Australia bagian utara (sekitar 9 Mei 2014)
	
G. Kelud meletus 14 Februari 2014	G. Sangeang api aktif, posisi Sumbawa, 1 Juni 2014
	
G. Sangeang api aktif, posisi Sumbawa, 29 Mei 2014	G. Merapi, 27 Maret 2014

Gambar 6. Pengamatan kejadian alam oleh NASA, Sumber).
<http://www.earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/>

3.3 Prosentase pencemaran SPM

Tingkat bahaya partikel tergantung pada ukuran dan jenis partikelnya. Semakin kecil ukuran partikel semakin berbahaya, karena ukuran partikel yang semakin kecil dalam udara yang terhirup melalui pernafasan berpotensi masuk sampai ke pembuluh darah (Zannaria dkk., 2009). Oleh karena itu dalam PP No. 41 tahun 1999 baku mutu udara ambien untuk partikulat dengan ukuran semakin kecil semakin ketat. Baku mutu udara ambien untuk partikel dengan ukuran mulai dari yang terkecil yaitu $PM_{2.5}$, PM_{10} dan SPM adalah sebagai berikut). $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Timbal yang merupakan partikel yang sangat berbahaya, maka partikulat timbal memiliki baku mutu udara ambien khusus.

Terlihat bahwa beberapa kota di Jawa terutama Jakarta dan Semarang konsentrasinya sudah banyak yang melebihi baku mutu. Bahkan di Glodok sudah hampir keseluruhan data pengamatan menunjukkan angka di atas baku mutu. Meskipun dampak

pada kesehatan lebih rendah dibanding PM₁₀ ataupun PM_{2.5}, kajian Arbex dkk (2010) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi SPM dapat menyebabkan hipertensi dengan jeda waktu sekitar satu sampai 3 hari. SPM juga merupakan aerosol yang dapat mengurangi jarak pandang (Harrison, 2012), yang dengan berkurangnya jarak pandang yang mengganggu kenyamanan dan transportasi.

Tingginya partikulat di daerah perkotaan, terutama Jakarta dan Semarang sudah seharusnya dilakukan pengelolaan yang serius. Pengelolaan ini dilakukan dengan menekan sumber emisi pembentuknya dan menambah media yang dapat membantu membersihkan dari atmosfer. Emisi partikulat dapat direduksi dengan menggunakan peralatan seperti filter magnetik dan elektrostatik (Son dkk., 2014; Kim dkk., 2014) dan beberapa jenis tanaman dapat membantu mereduksi partikulat dari atmosfer (Nowak dkk., 2013).

4. KESIMPULAN

SPM sudah menjadi masalah polusi udara dengan konsentrasi melebihi baku mutu yang terjadi banyak di Jakarta dan Semarang. Variasi musiman di daerah perkotaan yang jauh dari pantai terlihat jelas, sedangkan daerah sub urban dekat pantai tidak ada variasi musiman yang jelas. Ada beberapa waktu terjadi lonjakan konsentrasi SPM dari kondisi normalnya di Citeko, Yogyakarta, dan Ngurah Rai, tetapi analisa dengan *back trajectory* dan kejadian alam yang teramati dengan satelit tidak menunjukkan bahwa lonjakan konsentrasi tersebut karena efek *long range transport air pollution*. Selama periode pengamatan ini konsentrasi SPM hanya disebabkan sumber lokal saja

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada NOAA yang menyediakan akses bebas untuk running model Hysplit dan NASA yang menyajikan pengamatan kejadian bencana alam, BMKG yang telah menyediakan data SPM, dan PSTA yang memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arbex M.A., P. H. N. Saldiva, L. A. A. Pereira, dan A. L. F. Braga (2010). Impact of outdoor biomass *air pollution* on hypertension hospital admissions, *J Epidemiol Community Health* 2010;64:573-579 doi:10.1136/jech.2009.094342
- Ashrafi K., M. Shafiepour-Motlagh, A. Aslemand, dan S. Ghader. (2014). Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 2014, 12:9
- Begum B.A., Hopke P.K., Markwitz A., (2013). *Air pollution* by fine particulate matter in Bangladesh, *Atmospheric Pollution Research* 4:75-86.
- Gholampour A., R. Nabizadeh, S. Naseri, M. Yunesian, H. Taghipour, N. Rastkari, S. Nazmara, S. Faridi, dan Mahvi. A. H., (2014). Exposure and health impacts of outdoor particulate matter in two urban and industrialized area of Tabriz, Iran. *J Environ Health Sci Eng.* 2014; 12). 27. 10.1186/2052-336X-12-27.

- Harrison, R.G., (2012). Aerosol-induced correlation between visibility and atmospheric electricity. *Journal of Aerosol Science*, 52. pp. 121-126. ISSN 0021-8502 doi). 10.1016/j.jaerosci.2012.04.011.
- Jiang W., Pohlmann T., Sunc J., Starkeb A., (2004). SPM transport in the Bohai Sea). field experiments and numerical modeling, *Journal of Marine Systems* 44). 175 – 188.
- Kim JH., HJ Yoo, YS Hwang, dan HG Kim, (2012), Removal of Particulate Matter in a Tubular Wet Electrostatic Precipitator Using a Water Collection Electrode. *Scientific World Journal*. 2012). 532354. doi). 10.1100/2012/532354.
- NASA, Earth Observatory, <http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/>, diakses Desember 2015.
- NOAA, Air Research Laboratory. <https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php> diakses November 2015.
- Nowak D.J, S. Hirabayashi, A. Bodine, dan R. Hoehn, (2013), Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects, *Elsevier Environmental Pollution* 178). 395-402.
- Republik Indonesia, (1999), Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Lembaran Negara RI No 41, Jakarta). Sekretariat Negara.
- Santachiara G., F. Prodi, dan Belosi F., (2012), A Review of Termo- and Diffusio-Phoresis in the Atmospheric Aerosol Scavenging Process. Part 1). Drop Scavenging. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2, 148-158 <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2012.22016>.
- Scharze P.E., A. I. Totlandsdal, J. A. Holme1, M. Låg, M. Refsnes, J. Øvrevik, W. J. Sandberg and A. K. Bølling. (2010) Importance of sources and components of particulate *air pollution* for cardio-pulmonary inflammatory responses, dalam buku *Air pollution* (Vanda Villanyi editor),
- Son YS.,TV. Dinh, SG. Chung, JH Lee, dan JC. Kim., (2014), Removal of Particulate Matter Emitted from a Subway Tunnel Using Magnetic Filters. *Environ. Sci. Technol.*, 48 (5), pp 2870–2876 DOI). 10.1021/es404502x.
- Sumaryati, (2009) Efektifitas Air Hujan dan Kelembapan Udara terhadap Pembersihan PM₁₀ di Cekungan Bandung.
- Zannaria N.D., D. Roosmini, M Santosa, (2009), Karakteristik Kimia Paparan Partikulat Terrespirasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, IX, No.1 /37-50.