

VARIASI SPASIAL DAN TEMPORAL KETEBALAN OPTIK AEROSOL DI INDONESIA DARI SNPP/VIIRS

Nani Cholianawati dan Rosida

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN

Pos-el : nani.cholianawati@lapan.go.id

Abstract

Aerosol effect on human health, weather, and climate. Sources of aerosols can be pollution from factories and smoke from fires. Aerosol Optical Thickness (AOT) obtained from the sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) on the satellite Suomi National Polar-Orbiting Partnership (SNPP) during the three years of observation (2013 to 2015) shows the region of western Indonesia, namely Sumatra, Java and Kalimantan has AOT larger than the eastern part. Western part of Java and Riau have higher AOT values (> 0.5) than any other region. AOT value of the highest monthly average was found in October 2015 in Sumatra ($6^{\circ} N-6^{\circ} S$ dan $95^{\circ} E-108^{\circ} E$) 0.97, part of Kalimantan ($2^{\circ} N-4^{\circ} S$ dan $108^{\circ} E-120^{\circ} E$) at 0.90, and Java ($8^{\circ}45' S-6^{\circ} S$ dan $105^{\circ} E-115^{\circ} E$) of 0.57. AOT average annual show in 2013 has AOT with a smaller value than in 2014 and 2015. The minimum AOT in Sumatra and Kalimantan occurred in May 2013, while in Java in December 2013. The increase in the value of AOT in Sumatra comparable to the increase the number of hot spots that have a correlation of 0.89, while in Kalimantan also apply the same thing with a correlation value of 0.94.

Keywords : aerosol optical thickness, SNPP / VIIRS

Abstrak

Aerosol berpengaruh pada kesehatan manusia, cuaca, dan iklim. Sumber aerosol dapat berupa polusi dari pabrik dan asap dari kebakaran. Ketebalan optik aerosol (AOT) yang diperoleh dari sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) pada satelit *Suomi National Polar-Orbiting Partnership* (SNPP) selama tiga tahun pengamatan (2013 sampai 2015) menunjukkan kawasan Indonesia bagian barat yaitu Sumatra, Jawa, dan Kalimantan memiliki AOT lebih besar dibanding bagian timur. Wilayah Jawa bagian barat dan Riau memiliki nilai AOT lebih tinggi ($>0,5$) dibanding wilayah lainnya. Nilai AOT rata-rata bulanan tertinggi dijumpai pada bulan Oktober 2015 di Sumatra ($6^{\circ} LU-6^{\circ} LS$ dan $95^{\circ} BT-108^{\circ} BT$) sebesar 0,97, sebagian Kalimantan ($2^{\circ} LU-4^{\circ} LS$ dan $108^{\circ} BT-120^{\circ} BT$) sebesar 0,90, dan Jawa ($8^{\circ}45' LS-6^{\circ} LS$ dan $105^{\circ} BT-115^{\circ} BT$) sebesar 0,57. AOT rata-rata tahunan menunjukkan tahun 2013 memiliki AOT dengan nilai yang lebih kecil dibanding tahun 2014 dan 2015. AOT minimum di Sumatra dan sebagian Kalimantan terjadi pada bulan Mei 2013, sementara di Jawa pada bulan Desember 2013. Peningkatan nilai AOT di Sumatra sebanding dengan peningkatan jumlah titik panas yaitu memiliki korelasi sebesar 0,89, sementara di Kalimantan juga berlaku hal yang sama dengan nilai korelasi 0,94.

Kata kunci : ketebalan optik aerosol, SNPP/VIIRS

1. PENDAHULUAN

Atmosfer terdiri atas molekul gas yang sangat kecil dan partikel kecil tersuspensi yang disebut aerosol. Aerosol berupa partikel padat atau cair yang berukuran nanometer hingga puluhan mikrometer. Aerosol berasal dari berbagai sumber alami (90%) dan antropogenik (10%). Contoh aerosol yang berasal dari sumber alami yaitu abu vulkanik, “asap” kebakaran, garam laut, dan debu badai pasir. Sementara aerosol yang bersumber dari aktivitas manusia yaitu asap kebakaran hasil pembukaan lahan dan polutan.¹

Bagian timur Amerika Serikat dan area urban di Eropa merupakan pusat produksi penghasil aerosol dari manusia khususnya sulfat dari pembangkit listrik batubara dan karbon hitam dan organik dari kemacetan kendaraan. Namun kini, emisi aerosol telah berubah secara signifikan. Emisi antropogenik meningkat pesat di Asia sebagai akibat dari urbanisasi dan industrialisasi², sementara Amerika Utara dan Eropa mengalami penurunan aerosol karena banyak pabrik yang berpindah ke negara berkembang serta adanya peraturan udara bersih (*clean air regulation*).¹

Aerosol memiliki waktu hidup empat hari hingga satu minggu. Namun, aerosol dapat berpindah 5 m/s dan dalam seminggu dapat menempuh jarak ribuan kilometer.¹ Aerosol mempengaruhi cuaca dan iklim bumi karena mengubah jumlah cahaya matahari yang mencapai permukaan bumi. Ketebalan optik aerosol (*Aerosol Optical Thickness / AOT*) menunjukkan ukuran berapa banyak cahaya yang terhalang oleh partikel udara saat merambat di atmosfer. AOT tidak berdimensi (*dimensionless*). Aerosol menyerap dan menghamburkan cahaya yang masuk, sehingga mereduksi visibilitas dan meningkatkan ketebalan optiknya. Keberadaan aerosol sangat rapat (nilai AOT mendekati 1) menyebabkan matahari sulit terlihat meskipun pada siang hari.¹ Selain menggunakan *sunphotometer*³, untuk memahami distribusi aerosol secara global, para ahli memanfaatkan data satelit dari AURA/OMI⁴, Terra-Aqua/MODIS^{5,6}, dan *Suomi National Polar-Orbiting Partnership/Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (SNPP/VIIRS).

Pada kondisi *background*, nilai ketebalan optik aerosol menunjukkan maksimum pada Mei dan Juni sebagai akibat dari pemanasan yang cepat dan atmosfer menunjukkan ketidakstabilan vertikal terbesar yang berakibat debu dan produk pembakaran terangkat dari bawah (*ground*) ke atmosfer.⁷ Dengan menggunakan OMI/Aura dan MODIS, selama 2004 hingga 2008, Kalimantan menunjukkan titik api maksimum pada bulan September-Oktober setiap tahun, begitu pula dengan ketebalan optik aerosol. Kejadian kebakaran hutan dan ketebalan optik aerosol mencapai maksimum di waktu yang bersamaan.⁸

Penelitian ini bertujuan untuk memahami variasi spasial dan temporal ketebalan optik aerosol dengan memanfaatkan data VIIRS pada satelit SNPP. Selain itu juga dipelajari keterkaitan nilai ketebalan optik aerosol terhadap kejadian kebakaran yang diwakili oleh nilai akumulasi titik panasnya.

2. METODE PENELITIAN

VIIRS merupakan satu dari lima instrumen yang terdapat pada satelit SNPP. VIIRS menggunakan *scanning radiometer* dengan kemampuan untuk memperluas dan memperbaiki AVHRR dan MODIS. Data VIIRS digunakan untuk mengukur properti awan dan aerosol, warna laut, suhu permukaan laut dan darat, suhu dan pergerakan es, kebakaran, dan albedo Bumi. Satelit NPP memiliki waktu lintasan siang jam 13.30 WIB. VIIRS memiliki cakupan global dan siklus berulang sekitar 16 hari dengan sapuan selebar 3040 km.⁹

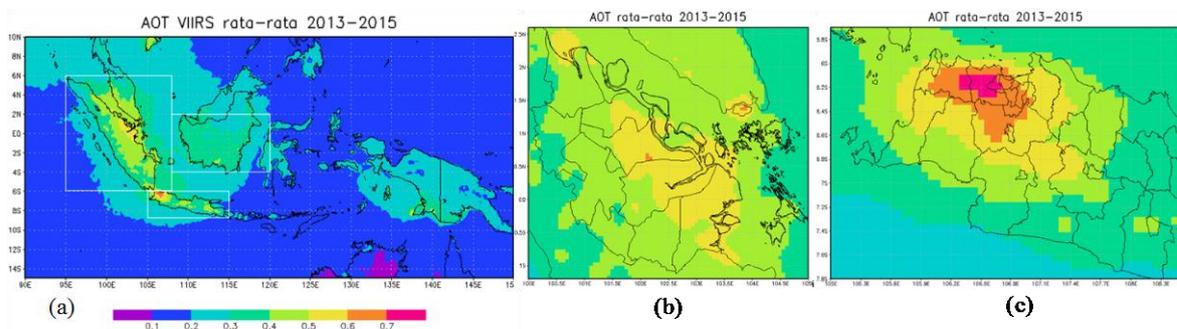
Produk aerosol dari sensor VIIRS pada satelit SNPP berupa ketebalan optik aerosol, parameter ukuran partikel aerosol, dan partikel tersuspensi. Validasi ketebalan optik aerosol yang diukur oleh SNPP/VIIRS telah dilakukan terhadap hasil pengamatan instrumen lainnya yaitu terhadap MODIS dengan koefisien korelasi mencapai 0,93 dan terhadap pengamatan stasiun *Aerosol Robotic Network* (AERONET) sebesar 0,88.^{9,10}

Data AOT pada VIIRS dengan resolusi spasial 0,25° dan temporal harian diunduh dari http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/viirs_aerosol/products_gridded.php dalam format hdf5 untuk periode pengamatan 1 Januari 2013 sampai 31 Desember 2015. AOT harian dirata-ratakan menjadi bulanan dan tahunan menggunakan GrADS. AOT bulanan diplot menggunakan diagram *Hovmoller* untuk melihat pergerakan zonal dan meridionalnya. AOT bulanan dihitung korelasinya

terhadap akumulasi titik panas bulanan. Data titik panas diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (http://sipongi.menlhk.go.id/home/karhutla_monitoring_system) berupa akumulasi bulanan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketebalan optik aerosol di daratan lebih tinggi dibanding di lautan seperti terlihat pada Gambar 1a. Area lautan yang dekat dengan pantai memiliki nilai ketebalan optik aerosol yang lebih tinggi dibanding keseluruhan lautan. Hal ini mengindikasikan aerosol terestrial berkontribusi besar terhadap muatan aerosol di lautan dan kontribusi tersebut menurun seiring dengan jarak yang semakin jauh dari daratan.² Kawasan Indonesia bagian barat yaitu Sumatra, Jawa, dan Kalimantan memiliki ketebalan optik aerosol lebih besar dibanding bagian timur. Wilayah dengan ketebalan optik aerosol tertinggi (lebih besar dari 0,5) yaitu provinsi Riau (terutama sekitar Bengkalis, Siak, Pelalawan, dan Indragiri Hilir) dan Jawa bagian barat¹¹ (sebagian besar provinsi Banten, provinsi DKI Jakarta, dan sebagian provinsi Jawa Barat) ditunjukkan oleh Gambar 1b dan 1c.

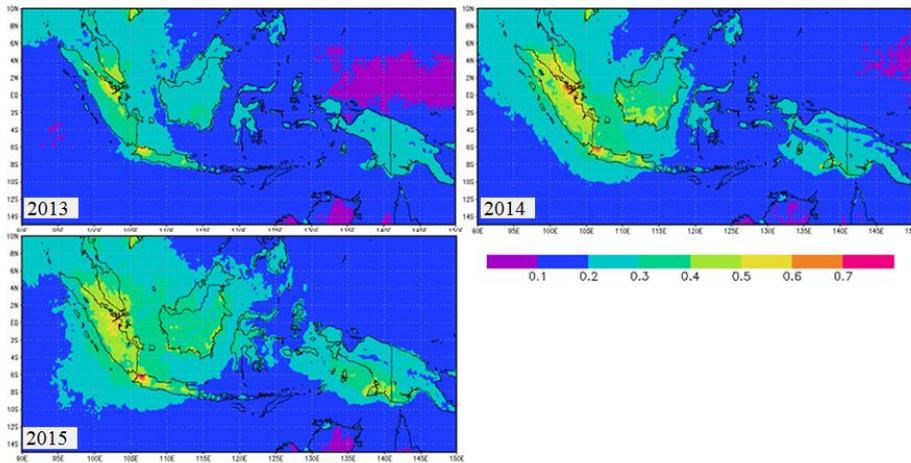


Gambar 1. Ketebalan optik aerosol rata-rata tahun 2013 hingga 2015 di (a) Indonesia, (b) Riau, dan (c) Jawa bagian barat

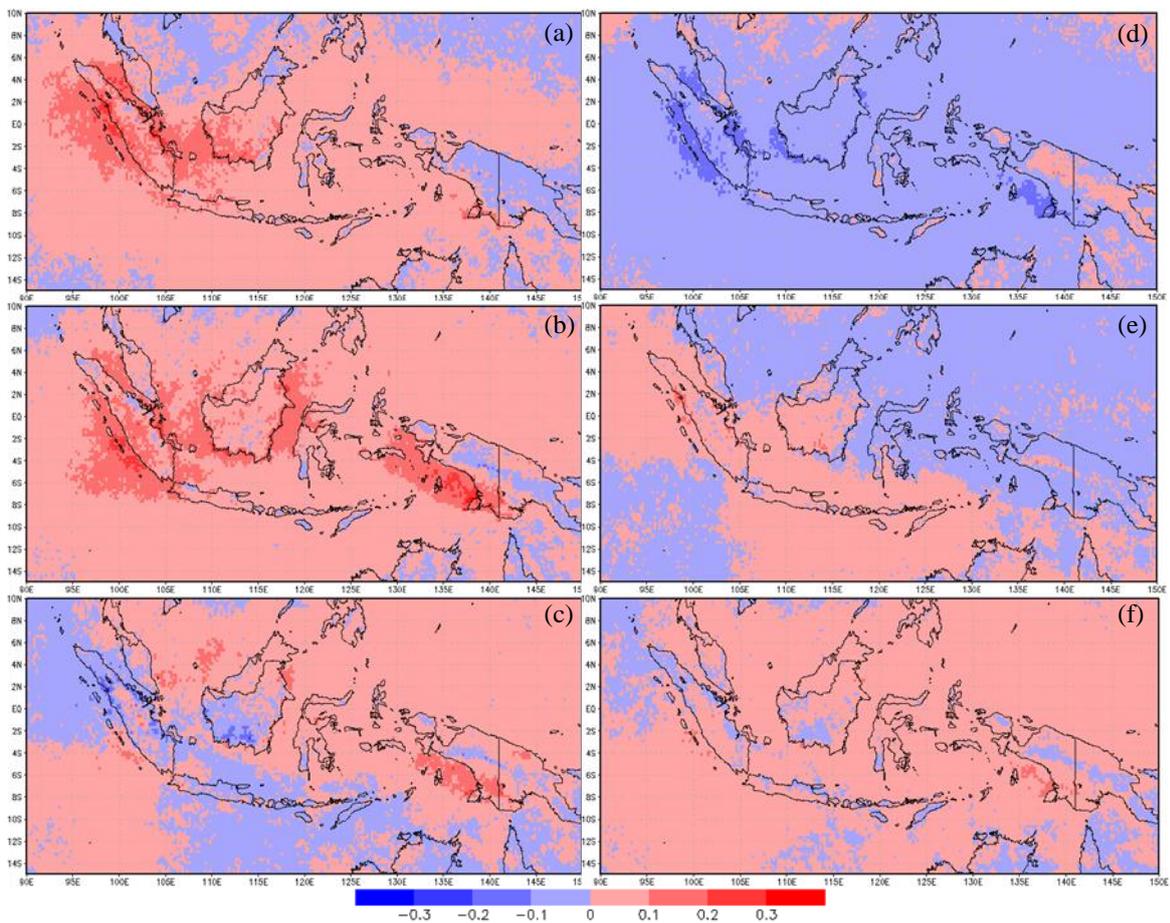
Gambar 2 menunjukkan ketebalan optik aerosol rata-rata tahunan tahun 2013, 2014, dan 2015. Meskipun setiap tahunnya kawasan bagian barat memiliki AOT yang lebih tinggi, namun tahun 2014 dan 2015 kawasan timur (wilayah Papua) memiliki nilai AOT yang tinggi ($>0,5$).

Ketebalan optik aerosol pada tahun 2013 bernilai lebih kecil dibanding tahun 2014 (Gambar 3a) dan 2015 (Gambar 3b) pada hampir seluruh wilayah Indonesia. Sementara dari tahun 2014 ke tahun 2015 (Gambar 3c), sebagian wilayah mengalami peningkatan ketebalan optik aerosol dan sebagian lainnya mengalami penurunan. Jumlah titik panas di Sumatra dan Kalimantan yang terus meningkat dari tahun 2013 hingga 2015 (Gambar 7) diduga turut serta berkontribusi pada kenaikan ketebalan optik aerosol.

Secara umum, AOT tahun 2013 bernilai lebih rendah dibanding rata-rata tiga tahun pengamatan (Gambar 3d). AOT tahun 2014 bervariasi dengan sebagian wilayah bernilai lebih tinggi dari rata-rata dan sebagian lainnya lebih rendah (Gambar 3e). Sebagian besar wilayah Indonesia pada tahun 2015 memiliki nilai AOT yang lebih besar dari rata-rata (Gambar 3f). Hal ini diduga berkaitan dengan kejadian kebakaran hebat pada tahun 2015 yang ditandai dengan peningkatan jumlah titik panas dari tahun sebelumnya, dari 61049 menjadi 90572 (48%).



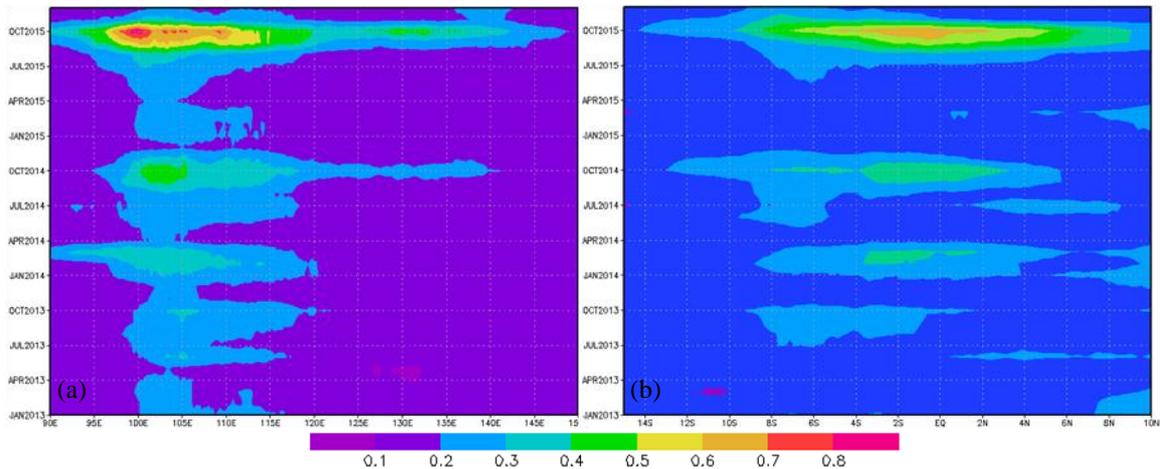
Gambar 2. Ketebalan optik aerosol rata-rata tahunan tahun 2013, 2014, dan 2015



Gambar 3. (a-c) Selisih ketebalan optik aerosol rata-rata tahunan (a) tahun 2014 terhadap tahun 2013, (b) tahun 2015 terhadap tahun 2013, (c) tahun 2015 terhadap tahun 2014; (d-f) Selisih ketebalan optik aerosol rata-rata tahunan (a) 2013, (b) 2014, (c) 2015 terhadap rata-rata tiga tahun pengamatan (2013 hingga 2015)

Pergerakan AOT secara zonal menunjukkan wilayah barat memiliki nilai AOT lebih besar dibanding timur dan AOT terus meningkat selama tiga tahun pengamatan (Gambar 4a). Wilayah barat yang meliputi Sumatra, Kalimantan, dan Jawa merupakan sumber emisi yang tinggi. Pada

bulan September dan Oktober tahun 2015, AOT berada pada nilai tertinggi dan seluruh wilayah Indonesia memiliki nilai AOT yang lebih besar dari 0,3. Sementara pergerakan AOT secara meridional (Gambar 4b) menunjukkan wilayah selatan ekuator memiliki nilai AOT lebih tinggi dibanding utara. Wilayah selatan ekuator yaitu Jawa, Sumatra bagian selatan, dan Papua bagian selatan menyumbang emisi yang tinggi.

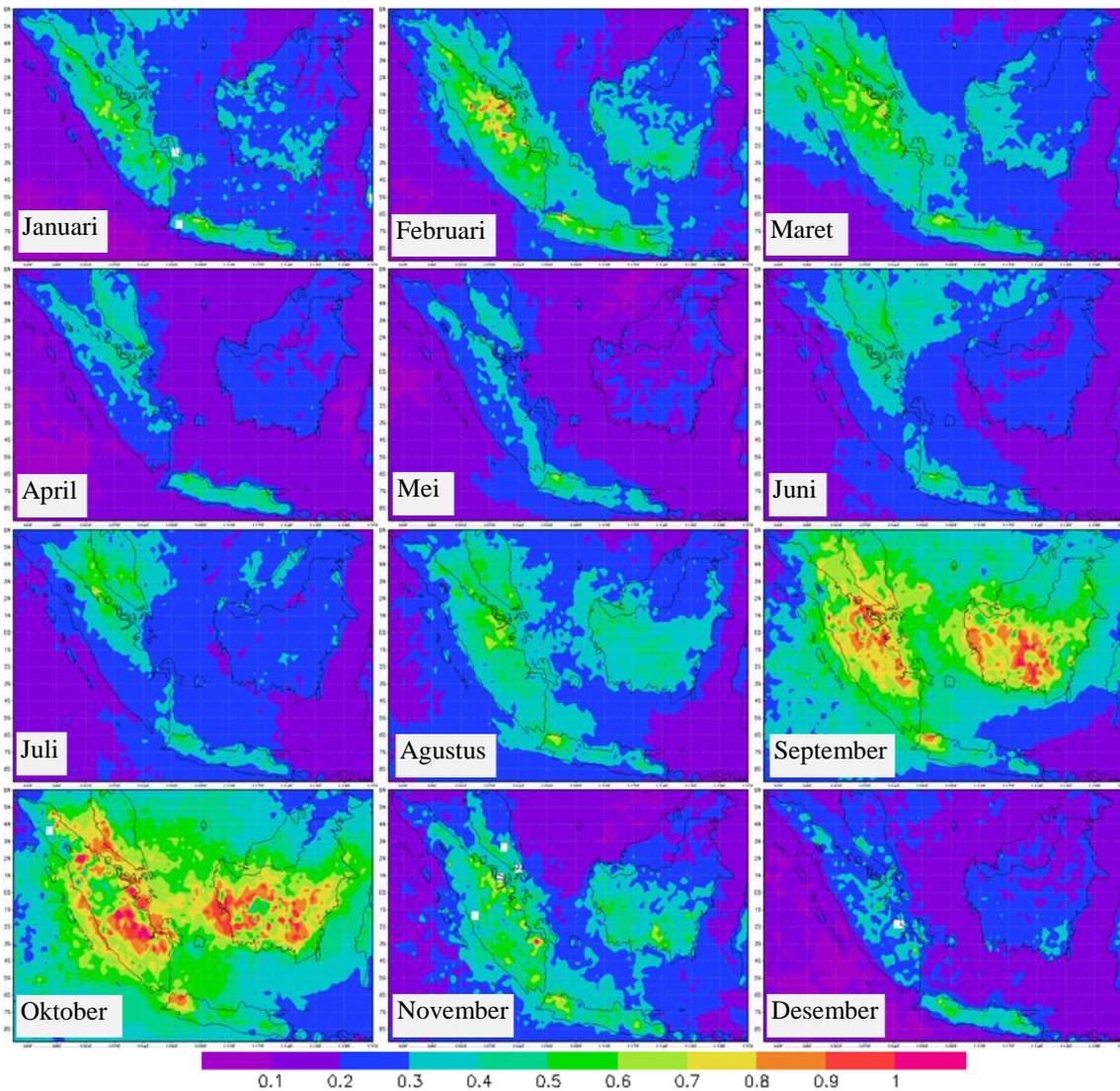


Gambar 4. Diagram *Hovmoller* ketebalan optik aerosol rata-rata bulanan (a) zonal dengan wilayah 10°LU-15°LS, (b) meridional dengan wilayah 90°BT-150°BT

Gambar 5 menunjukkan ketebalan optik aerosol rata-rata bulanan untuk wilayah barat Indonesia. Bulan September dan Oktober menjadi puncak ketebalan optik aerosol sedangkan minimumnya terjadi pada bulan Mei dan Desember. Grafik pada Gambar 6a menunjukkan deret waktu ketebalan optik aerosol untuk wilayah Sumatra, Kalimantan, dan Jawa. Setiap tahunnya selama tahun 2013 hingga 2015, ketebalan optik aerosol tertinggi di Kalimantan terjadi pada bulan Oktober dan terendah pada bulan Mei sama seperti tahun 2004 hingga 2008 yang diteliti oleh Honda⁷. Sementara untuk Jawa dan Sumatra nilai AOT minimum dan maksimumnya terjadi tidak dalam bulan yang sama setiap tahunnya.

Ketebalan optik aerosol di Sumatra dan Kalimantan terendah dijumpai pada bulan Mei 2013 sebesar 0,17 dan 0,16. Sementara ketebalan optik aerosol di Jawa minimum pada bulan Desember 2013 sebesar 0,21. Bulan Oktober 2015 menjadi waktu dengan ketebalan optik aerosol tertinggi di Sumatra, Kalimantan, maupun Jawa, dengan nilai berturut-turut 0,97; 0,90; dan 0,57.

Grafik pada Gambar 6b menunjukkan ketebalan optik aerosol rata-rata bulanan untuk ketiga wilayah. Nilai maksimum ketebalan optik aerosol pada ketiga wilayah tersebut ditemukan pada bulan Oktober. Nilai minimum untuk Sumatra dan Jawa dijumpai pada bulan Desember, sementara untuk Kalimantan pada bulan Mei. Nilai minimum tersebut diduga berkaitan dengan musim hujan. Pada bulan tersebut, Sumatera dan Jawa mengalami musim hujan, begitu pula dengan Kalimantan yang sebagian besar memiliki tipe hujan ekuatorial. Meskipun aktivitas industri yang dapat menghasilkan polusi udara di Sumatra dan Kalimantan tidak setinggi di Jawa (berdasarkan emisi *black carbon* dan *PM 2,5* dari INTEXB 2006 pada Gambar 6c) namun menunjukkan nilai ketebalan optik aerosol yang tinggi. Hal ini diduga dikarenakan bersumber dari pembakaran biomassa yang disebut pula asap dari kebakaran hutan.



Gambar 5. Ketebalan optik aerosol rata-rata bulanan wilayah barat Indonesia selama tiga tahun (2013-2015)

Grafik pada Gambar 7a dan 7c menunjukkan deret waktu ketebalan optik aerosol dan akumulasi titik panas di Sumatra dan Kalimantan. Akumulasi titik panas dan AOT tertinggi kedua wilayah tersebut dijumpai pada September-Oktober 2015. Titik panas terbanyak terjadi pada bulan September 2015 namun ketebalan optik aerosol terbesar terlihat pada bulan Oktober 2015. Hal ini diduga akibat efek perpindahan aerosol yang sangat cepat.

Scatter plot pada Gambar 7b dan 7d menunjukkan peningkatan nilai AOT di Sumatra sebanding dengan peningkatan jumlah titik panas yaitu memiliki korelasi sebesar 0,89, sementara di Kalimantan juga berlaku hal yang sama dengan nilai korelasi 0,94.

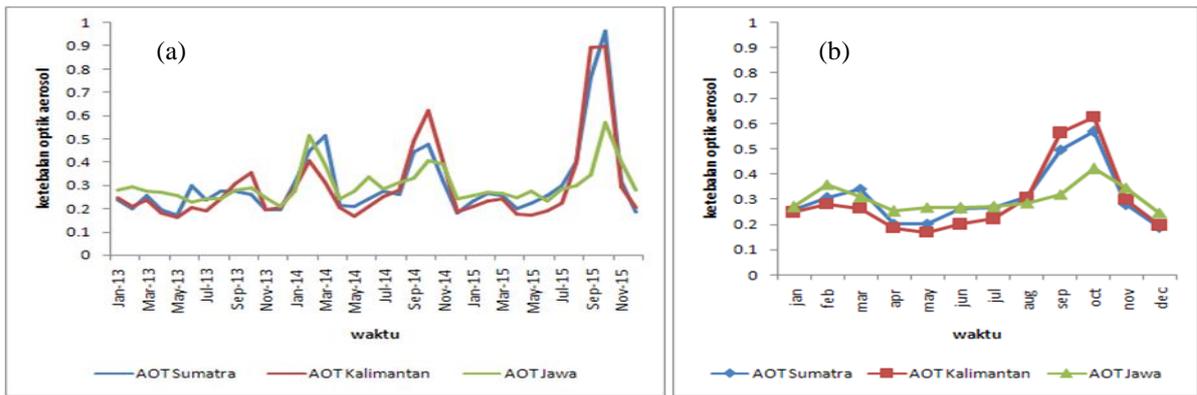
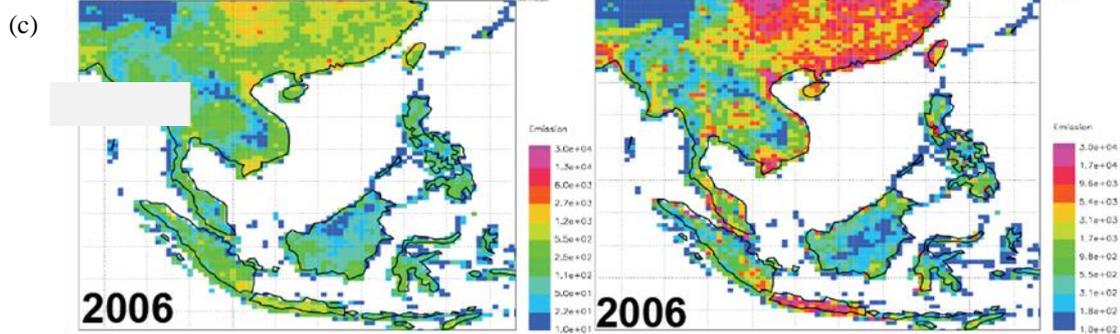
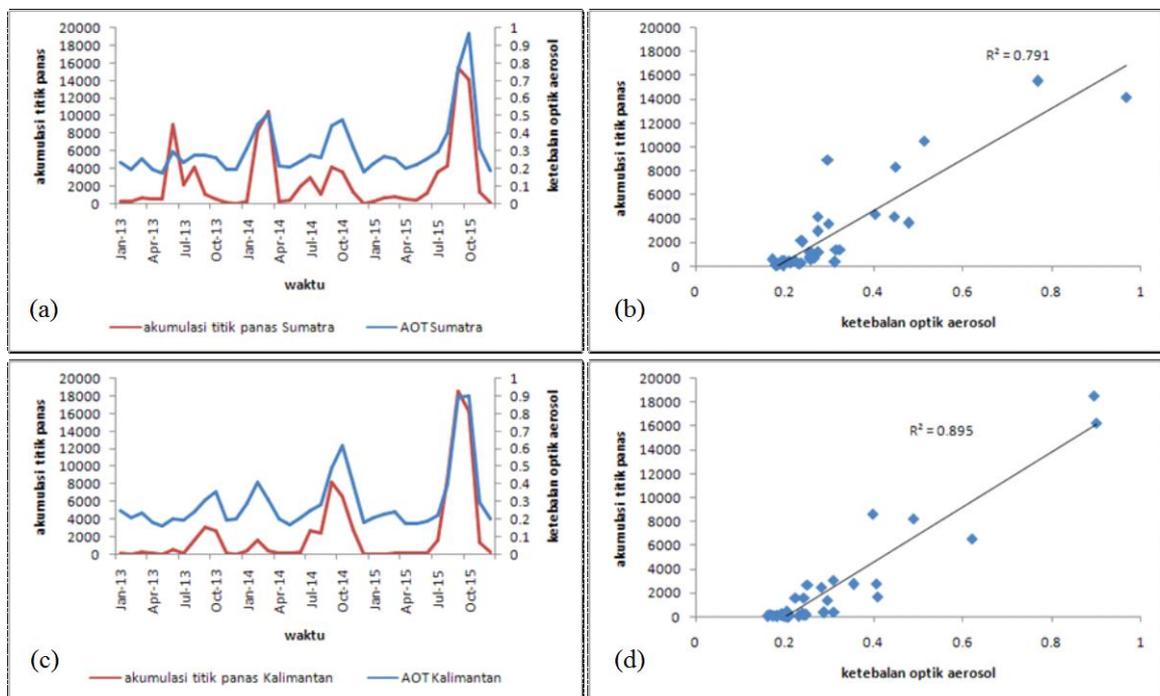


Fig.1. BC

PM2p5



Gambar 6. (a) Deret waktu ketebalan optik aerosol rata-rata bulanan Januari 2013-Desember 2015; (b) Ketebalan optik aerosol rata-rata bulanan; (c) Nilai emisi dari aktivitas industri dari *Intercontinental Chemical Transport Experiment-Phase B (INTEX-B)*^{8,12}



Gambar 7. Deret waktu ketebalan optik aerosol terhadap akumulasi titik panas di (a) Sumatra dan (c) Kalimantan. *Scatter plot* ketebalan optik aerosol terhadap akumulasi titik panas di (b) Sumatra dan (d) Kalimantan

4. KESIMPULAN

Ketebalan optik aerosol (AOT) yang diperoleh dari sensor VIIRS pada satelit SNPP selama tiga tahun pengamatan (2013 sampai 2015) menunjukkan kawasan Indonesia bagian barat yaitu Sumatra, Jawa, dan Kalimantan memiliki AOT lebih besar dibanding bagian timur. Wilayah Riau dan Jawa bagian barat memiliki nilai AOT lebih tinggi dibanding wilayah lainnya. AOT rata-rata tahunan pada tahun 2013 memiliki nilai yang lebih kecil dibanding tahun 2014 dan 2015. Nilai AOT rata-rata bulanan tertinggi dijumpai pada bulan Oktober 2015 di Sumatra sebesar 0,97, sebagian Kalimantan sebesar 0,90, dan Jawa sebesar 0,57. AOT minimum di Sumatra dan sebagian Kalimantan terjadi pada bulan Mei 2013, sementara di Jawa pada bulan Desember 2013.

Peningkatan nilai AOT di Sumatra sebanding dengan peningkatan jumlah titik panas yaitu memiliki korelasi sebesar 0,89, sementara di Kalimantan juga berlaku hal yang sama dengan nilai korelasi 0,94. Nilai AOT dari SNPP/VIIRS menunjukkan kaitan yang erat antara aerosol dan sumbernya yaitu kejadian kebakaran lahan (Sumatra dan Kalimantan) dan polusi udara (Jawa).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *reviewer*, rekan Tiin Sinatra, dan anggota kelompok penelitian Lingkungan Atmosfer Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional atas saran dan masukan demi kesempurnaan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Sarkar, S., R. Chokngamwong, G. Cervone, R.P. Singh, dan M. Kafatos, 2005. *Variability of aerosol optical depth and aerosol forcing over India*. COSPAR. doi:10.1016/j.asr.2005.09.043.
- ²Voiland, A., 2010. *Aerosols: Tiny Particles, Big Impact*. (<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols/>, diakses 17 Maret 2016).
- ³Retalis, A., 2010. Comparison of aerosol optical thickness with in situ visibility data over Cyprus. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10, 421–428.
- ⁴Qi, L., W.D. Ding, dan Y.F. Fui, 2011. The Seasonal Variations of Aerosols over East Asia as Jointly Inferred from MODIS and OMI. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 4:6, 330-337, DOI: 10.1080/16742834.2011.11446952.
- ⁵Prasad, A.K., 2004. Variability of Aerosol Optical Depth Over Indian Subcontinent Using MODIS Data. *Journal of Indian Society of Remote Sensing* V. 32, No. 4 (December, 2004).
- ⁶Puruitaningrum, W.A., 2010. *Penentuan Kandungan Aerosol di Atmosfer Menggunakan Data Terra/Aqua MODIS*. Skripsi. Fakultas Teknik. Jakarta : Universitas Indonesia.
- ⁷Wehrli, C. J., 2008. *Remote Sensing of Aerosol Optical Depth in a Global Surface Network*. Disertasi. ETH ZURICH : Doctor of Sciences.
- ⁸Honda, Y., M. Kuji, dan S. Hayashida, 2016. *Spatial and temporal variations in trace gases and aerosols from biomass burning in Southeast Asia as measured from space* (<http://www.nara-wu.ac.jp/initiative-MPI/images/Kokunai.Gakkai/Honda/Honda-file.pdf>, diakses 14 Maret 2016).
- ⁹National Aeronautics and Space Administration, 2015. *Joint Polar Satellite System (JPSS) VIIRS Aerosol Optical Thickness (AOT) and Particle Size Parameter Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*. Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland. 116 hlm.
- ¹⁰Bhaskaran, S., 2011. Applications of Satellite Data for Aerosol Optical Depth (AOD) Retrievals and Validation with AERONET Data. *Atmospheric and Climate Sciences*, 1, 61-67 doi: 10.4236/acs.2011.12007.
- ¹¹Lestari, S., 2011. *Pola Distribusi Aerosol Di Jawa Bagian Barat Tahun 2007 dan 2008*. Skripsi. Fakultas Teknik. Jakarta : Universitas Indonesia.
- ¹²Zhang, 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, dan Z.L. Yao, 2009. Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission. *Atmospheric Chemistry and Physics* 9, pp 5131-5153.