

Pengaruh Komponen Meteorologi terhadap Pergerakan Aerosol di Kota Bandung berdasarkan Data NCEP/NCAR dan Model Hysplit-4 Backward Trajectory Model

Amalia Nurlatifah^{1,2} dan R. Driejana² ...

¹Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN

²Program Magister Teknik Lingkungan, ITB

E-mail). amaliaatifah@students.itb.ac.id dan driejana@tl.itb.ac.id

ABSTRACT. *The forest fires have occurred in Indonesia in last 25 years. One of the worst forest fire occurred in October 2015. Aerosol is one of the forest fire emission which can do long-range transport and may cause respiratory problems. It's important to do a research for tracing aerosol trajectory in Bandung and knowing the impact of meteorology aspect to aerosol movement during the forest fire in October 2015. This research use MOD04 aerosol data from MODIS for measure the approach of aerosol concentration. And also used NCEP/NCAR Meteorology data for meteorology analysis and HYSPLIT-4 Back trajectory model for tracing the aerosol sources. In October 2015, AOD value was high and have maximum value at 1.406 (the normal value is 0.1). This is an indication that aerosol concentration at the moment in Bandung was high. In October 2015, NCEP/NCAR data shows that wind blow from the southeast of Bandung to Bandung. Trajectory plot from HYSPLIT shows that aerosol in Bandung is from southeast too. High AOD value indicate there was massive aerosol production before the trajectory arrive in Bandung. Forest fires in southeast of Bandung such as in Kareumbi, Sumedang, forest fire in Papandayan, Garut, and forest fire in Masigit, Padalarang was believed as main source for aerosol production in Bandung.*

Keywords : *aerosol, backward trajectory model, NCEP/NCAR data*

ABSTRAK. *Kebakaran hutan telah terjadi di Indonesia dalam 25 tahun terakhir. Salah satu kebakaran hutan terburuk terjadi pada bulan Oktober 2015. Aerosol adalah salah satu emisi kebakaran hutan yang dapat melakukan transportasi jarak jauh dan dapat menyebabkan masalah pernafasan. Sangat penting untuk melakukan penelitian dalam melacak lintasan aerosol di Bandung dan mengetahui pengaruh komponen meteorologi terhadap pergerakan aerosol selama kebakaran hutan pada bulan Oktober 2015. Penelitian ini menggunakan data MOD04 aerosol dari MODIS untuk mengukur pendekatan konsentrasi aerosol dan data Meteorologi NCEP/NCAR untuk analisis meteorologi, serta model HYSPLIT-4 Back trajectory untuk menelusuri sumber aerosol. Pada bulan Oktober 2015, nilai AOD tinggi dan memiliki nilai maksimum pada 1,406 (nilai normal adalah 0,1). Ini merupakan indikasi bahwa konsentrasi aerosol saat itu di Bandung termasuk tinggi. Pada bulan Oktober 2015, data NCEP/NCAR menunjukkan bahwa angin bertiup dari arah tenggara Bandung ke Bandung. Lintasan dari HYSPLIT menunjukkan bahwa aerosol di Bandung berasal dari daerah tenggara juga. Nilai AOD tinggi menunjukkan ada produksi aerosol masif sebelum lintasan tiba di Bandung. Kebakaran hutan di sebelah tenggara Bandung seperti di Kareumbi, Sumedang, kebakaran hutan di Papandayan, Garut, dan kebakaran hutan di Masigit, Padalarang diperkirakan sebagai sumber utama produksi aerosol di Bandung.*

Kata kunci : *aerosol, backward trajectory model, data NCEP/NCAR*

1. PENDAHULUAN

Fenomena kebakaran hutan pernah terjadi beberapa kali di Indonesia dalam kurun 25 tahun terakhir. Salah satunya adalah kebakaran hutan di Indonesia tahun 2015 yang menjadi kebakaran hutan terparah di dunia karena telah menimbulkan kabut asap tidak hanya di Indonesia, tetapi juga di Singapura, Malaysia, Filipina, dan Thailand (Lin dkk., 2017). Kebakaran hutan merupakan fenomena yang terjadi di dunia dan menjadi bagian dari siklus yang terjadi di biosfer sebagai upaya pelestarian keanekaragaman hayati. Artinya, dalam beberapa kasus tertentu kebakaran hutan memang terjadi secara alami di lingkungan dan jika kita lihat dari proses biologi hal ini justru diperlukan untuk menjaga keseimbangan keanekaragaman hayati agar rantai makanan senantiasa seimbang (Pyne, 1995).

Namun demikian, tidak semua kebakaran hutan terjadi karena proses alami lingkungan atau sebagai akibat dari kekeringan berkepanjangan. Terkadang kebakaran hutan juga disebabkan karena ulah manusia yang sengaja membakar lahan ataupun kawasan hutan dengan tujuan tertentu. Jika kita lihat dari segi lingkungan, terdapat beberapa dampak negatif dari terjadinya kebakaran hutan. Salah satunya adalah teremisikannya beberapa polutan ke udara yang dapat berpotensi mencemari udara. Beberapa polutan yang berpotensi teremisikan akibat terjadinya kebakaran hutan diantaranya adalah gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 , dan H_2O), CO, NO, PM_{2.5}, dan PM₁₀ (Ahmad dan Hashim, 2000).

Pencemaran udara dapat disebabkan oleh kondisi sehari-hari seperti akibat asap hasil kendaraan bermotor atau rumah tangga, dapat pula disebabkan oleh kondisi yang bersifat episodik seperti kebakaran hutan. Pada kondisi pencemaran udara akibat kasus kebakaran hutan khususnya di Indonesia, emisi yang dikeluarkan sering kali dalam jumlah besar dan dapat menurunkan kualitas udara secara drastis (Show dan Chang, 2016). Dalam hal ini penting untuk mengetahui dan menganalisa kondisi pencemaran udara akibat kebakaran hutan agar kedepan kondisi ini dapat dimitigasi dan dampaknya dapat diminimalisasi. Selain itu penting pula untuk melihat pengaruh dan dampak dari komponen meteorologi terhadap kondisi pergerakan polutan akibat kebakaran hutan. Dalam beberapa tahun terakhir ini model trajektori banyak digunakan oleh negara-negara di dunia baik untuk memprediksi arah trajektori polutan maupun menelusuri sumbernya (Zhao dkk., 2015 dan Xu dkk., 2009). Dalam hal analisis terhadap dampak kebakaran hutan, model ini penting digunakan untuk memprediksi arah persebaran asap kebakaran hutan. Dalam hal fitur *backward trajectory*, model ini pun umum digunakan dalam menelusuri arah datang maupun sumber polutan yang ada di suatu daerah.

Salah satu model trajektori adalah HYSPLIT (*HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*) (Draxler, 2011). HYSPLIT sendiri adalah sistem yang lengkap yang digunakan untuk menghitung dan memperkirakan trajektori parsel udara seperti transportasi, dispersi, transformasi kimia, dan simulasi deposisi (Draxler, 2011). Penelitian tentang HYSPLIT pernah dilakukan pada tahun 2014 dengan menggunakan data citra satelit MODIS sebagai perbandingan. Hasilnya model HYSPLIT cukup representatif untuk menggambarkan penelusuran trajektori debu yang diakibatkan oleh badai debu di Iran (Ashrafi dkk., 2014).

2. METODE PENELITIAN

Tempat penelitian adalah di Kota Bandung, tepatnya di koordinat 6,89 LS; 107,6 BT. Waktu yang digunakan untuk studi kasus dalam penelitian adalah Oktober 2015. Dalam penelitian kali ini secara umum metode yang digunakan adalah pemodelan dengan HYSPLIT-4 *backward trajectory* dan analisis kenaikan konsentrasi aerosol dengan nilai AOD dari MODIS. AOD atau *Aerosol Optical Depth* merupakan ukuran distribusi ketebalan aerosol dalam satu kolom atmosfer, pada kondisi udara normal dan bersih AOD bernilai 0,1-0,15 (Hao dkk., 2005). Sementara itu, untuk membantu komprehensifnya hasil analisis, digunakan pula analisis kondisi meteorologi berdasarkan data NCEP/NCAR dan data curah hujan GSMaP.

HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) transport model adalah sistem yang lengkap yang digunakan untuk menghitung dan memperkirakan trajektori parsel udara seperti transportasi, dispersi, transformasi kimia, dan simulasi deposisi (Draxler, 2014).

Model ini dapat dijalankan secara interaktif di web melalui sistem ARL berdasarkan konfigurasi default yang diberikan oleh NOAA ataupun dapat dijalankan melalui PC. Dalam penggunaan web, konfigurasi model yang digunakan dibatasi beberapa kelemahan misalnya mengenai data meteorologi yang digunakan. Dalam HYSPLIT versi web, data meteorologi yang dapat digunakan adalah data meteorologi default yang sudah disediakan oleh NOAA. Sedangkan pada HYSPLIT yang sudah diinstall di PC, data yang digunakan dapat lebih beragam. Data input meteorologi misalnya dapat menggunakan data output WRF-ARW ataupun ERA Interim.

Konfigurasi model HYSPLIT pun beragam, dapat menggunakan *clustering analysis* ataupun *concentration analysis*. *Clustering analysis* merupakan teknik analisis trajektori dengan mempertimbangkan perbedaan trajektori dalam satu kluster dengan cara meminimalisasi perbedaan itu. Secara komputasional, seluruh trajektori dikomputasikan hingga jumlah variansi dari setiap trajektori secara individu dalam rata-rata kluster tersebut meningkat. Sedangkan *Concentration analysis* merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengetahui arah dan konsentrasi suatu polutan.

Pada penelitian kali ini data meteorologi yang dipakai adalah data medan angin, temperatur, dan tekanan udara. Keseluruhan data tersebut adalah data reanalysis NOAA berbentuk Netcdf beresolusi spasial $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ dan resolusi temporal harian. Data diolah memakai software matlab dan GRADS. Data komponen meteorologi ini dicrop di wilayah Indonesia dan sekitar Australia (BBS) dengan koordinat $95^{\circ}\text{BT}-160^{\circ}\text{BT}$, $45^{\circ}\text{LS}-10^{\circ}\text{LU}$. Data NCEP/NCAR sendiri (esrl.noaa.gov) merupakan data meteorologi yang umum digunakan baik dalam analisis kondisi meteorologi permukaan maupun beberapa level ketinggian. Data ini baik dalam mengestimasi kondisi angin di troposfer bagian bawah di daerah Sumatera, Indonesia (Seto dkk., 2009). Data ini juga cukup baik ketika digunakan dalam memprediksi Monsun Asia dengan menggunakan dataset selama 50 tahun (Stickler dkk., 2010).

GSMaP (sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP) adalah database curah hujan yang disediakan oleh JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) (Misako dkk., 2016). Pada penelitian ini data GSMaP akan digunakan dalam membantu analisa hasil keluaran

HYSPLIT untuk membantu analisa ada atau tidaknya proses deposisi basah. Data GSMaP yang digunakan kali ini mempunyai resolusi spasial $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ dan resolusi temporal perhari. Curah hujan bulanan didapat dengan menjumlahkan 31 hari curah hujan harian di Bulan Oktober 2015. Data GSMaP umum digunakan baik untuk analisa hidrologi seperti analisa debit maupun analisa kondisi presipitasi biasa. Data GSMaP cukup baik digunakan dalam mengestimasi kondisi DAS Citarum (Nastiti dkk., 2015). Pada bagian akhir, dilakukan pula uji statistika terhadap nilai komponen meteorologi (temperatur, kecepatan angin, tekanan, dan curah hujan) yang digunakan di penelitian ini.

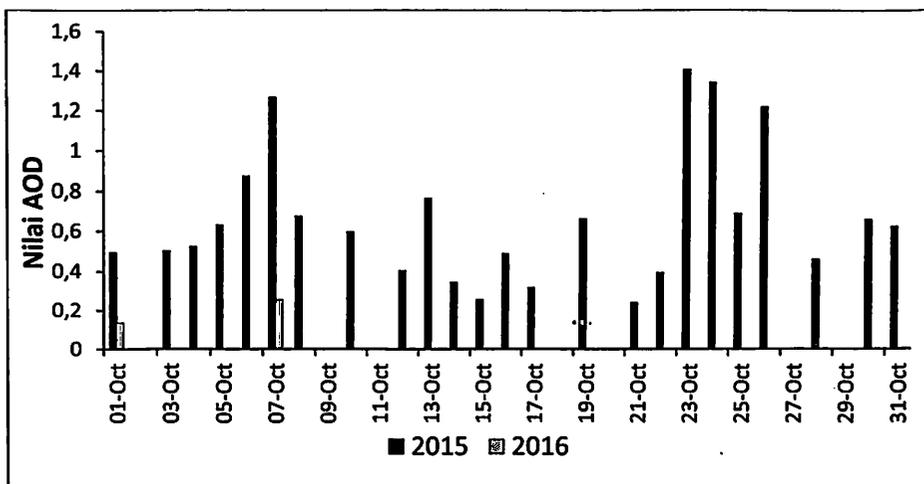
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 1 terlihat bahwa hampir sepanjang bulan Oktober 2015 nilai AOD sangat tinggi dan berada diatas ambang normal (0,1-0,15), dan nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai AOD pada Oktober 2016. Terlihat bahwa sepanjang hari di bulan Oktober 2015 nilai AOD di Kota Bandung mencapai rata-rata sekitar 0,66. Bahkan nilai AOD terendah adalah sekitar 0,242 (diatas ambang normal) dan berada di tanggal 15 Oktober. Tingginya nilai AOD berarti tinggi pula aerosol atau objek yang menutupi atmosfer Bandung. Hal ini dapat diartikan pula sebagai tingginya konsentrasi aerosoldi daerah ini.

Sementara itu nilai AOD tertinggi berada di pekan keempat bulan Oktober 2015 sekitar tanggal 23 Oktober hingga 26 Oktober dengan nilai AOD berada di kisaran 1,4 di tanggal 23, kisaran 1,3 di tanggal 24, dan 0,7 di tanggal 25, serta 1,2 di tanggal 26 (Gambar 1). Hal ini berarti pada waktu-waktu tersebut terdapat objek atau aerosol yang menutupi atmosfer Bandung. Jika kita lihat peristiwanya ke belakang, pada pekan ini terjadi kabut asap yang sangat pekat di Bandung hingga menyebabkan tertundanya berbagai penerbangan di Bandara Husein Sastranegara (Kompas, 2015). Hal ini kembali menegaskan bahwa pada pekan ini nilai AOD yang tinggi berakibat pada semakin pekatnya kabut asap di Bandung dan tingginya nilai aerosol di Kota Bandung.

Pada hasil pemodelan HYSPLIT yang terdapat di Gambar 2, terlihat bahwa pada umumnya aerosol yang berada di Kota Bandung berasal dari daerah timur ataupun timur laut dan tenggara Kota Bandung. Hal ini dapat dilihat dari gambaran trajektori bulan Oktober 2015 dengan lama penelusuran 24 jam kebelakang bahwa umumnya aerosol di Kota Bandung berasal dari Samudera Hindia bagian selatan Jawa Tengah dengan selanjutnya memasuki kawasan darat melalui daerah sekitar Cilacap dan Nusakambangan untuk berikutnya masuk ke daerah timur laut Kota Bandung dan masuk ke Bandung melalui daerah sekitar Sumedang, Subang, ataupun Padalarang (Gambar 2).

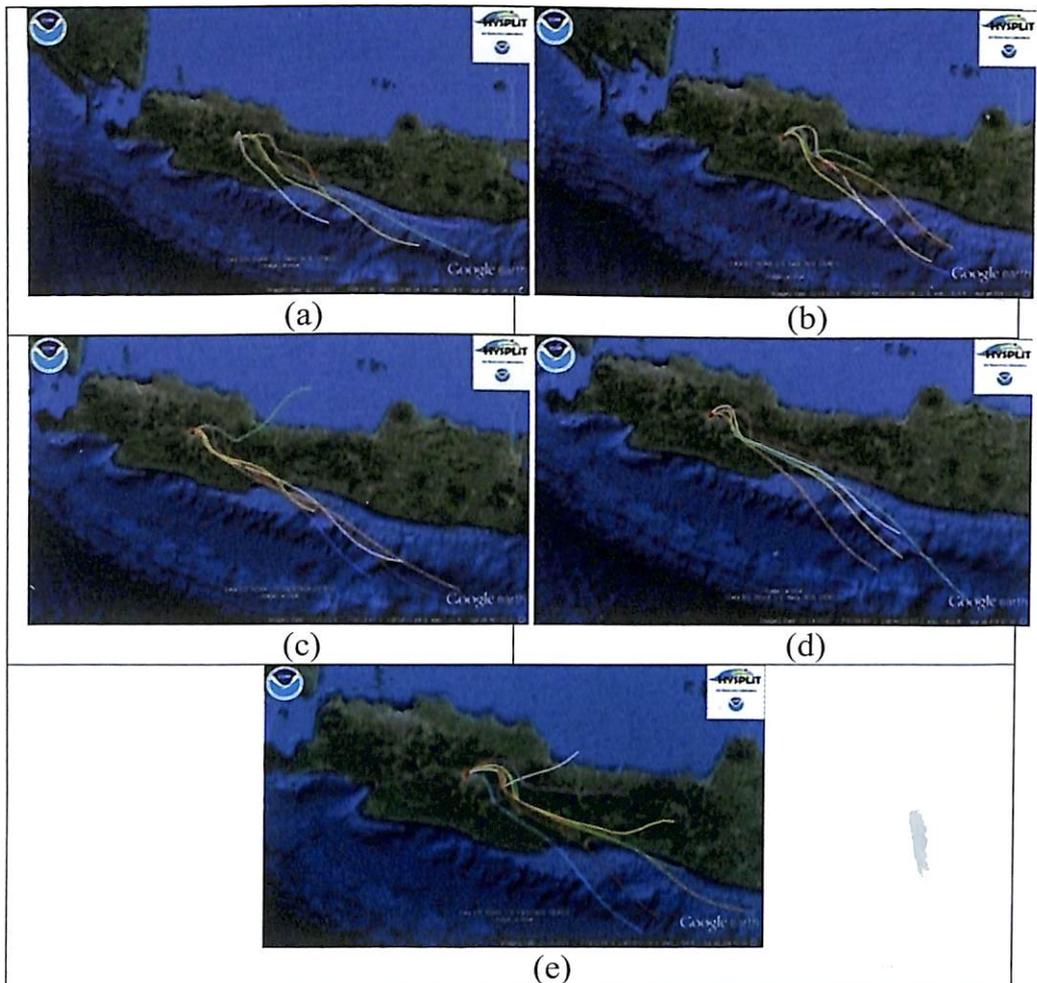
Gambar 2 menunjukkan trajektori aerosol menuju Kota Bandung yang cukup panjang dengan penelusuran 24 jam ke belakang. Hal ini dapat memicu dugaan minimnya sirkulasi vertikal pada saat kejadian dan rendahnya kemungkinan proses deposisi basah pada Oktober 2015. Hal ini dapat dibuktikan dengan rendahnya nilai curah hujan di bagian selatan Indonesia pada bulan ini yang terlihat di keterangan pada tabel 1.



Gambar 1. Grafik Nilai AOD pada tahun 2015 dan tahun 2016

Pada tahun 2015 nilai AOD cenderung tinggi bila dibandingkan dengan nilai AOD pada tahun 2016. Jika dilihat dari segi kondisi meteorologi, diduga ada beberapa kondisi meteorologi yang menyebabkan hal tersebut. Tabel 1 memperlihatkan analisa statistik dari beberapa parameter meteorologi di Kota Bandung berdasarkan meta data dari data reanalysis NCEP/NCAR dan data curah hujan dari GSMaP.

Sementara untuk kecepatan angin, terdapat perbedaan cukup besar antara kondisi pada tahun 2015 dan tahun 2016. Pada tahun 2015 rata-rata kecepatan angin cenderung besar dengan nilai mencapai 3,02 m/s jauh lebih tinggi dari rata-rata kecepatan angin pada tahun 2016 yang hanya mencapai 1,86 m/s. Hal ini diduga berkaitan erat dengan kondisi curah hujan yang minim pada tahun 2015 dengan curah hujan bulanan yang hanya mencapai 0,41 mm. Rendahnya curah hujan membuat friksi udara lebih kecil sehingga kecepatan angin menjadi besar (Subaid dan Maria, 2002). Pada kondisi angin pada tahun 2015 standar deviasi cenderung rendah (hanya mencapai 0,96) bila dibandingkan dengan tahun 2016 yang mencapai 1,52. Hal ini mengindikasikan bahwa kecepatan angin pada tahun 2015 nilainya cenderung stabil dan simpangannya kecil dari nilai rata-rata yang besar. Ini membuktikan hasil plot trajektori keluaran HYSPLIT-4 model yang menyatakan bahwa trajektori aerosol menuju Bandung cukup panjang salah satunya disebabkan tingginya nilai kecepatan angin di daerah Bandung. Tingginya kecepatan angin di Kota Bandung dapat menyebabkan distribusi aerosol menuju kota ini menjadi lebih cepat sehingga trajektorinya cenderung lebih panjang.



Gambar 2. Trajektori aerosol di Kota Bandung 24 jam ke belakang pada periode (a)1-6 Oktober 2015, (b)7-12 Oktober 2015, (c)13-18 Oktober 2015, (d)19-24 Oktober 2015, (e)25-31 Oktober 2015. (keterangan). warna hijau toska menunjukkan hari pertama untuk setiap periode, warna kuning menunjukkan hari kedua, warna jingga menunjukkan hari ketiga, warna ungu menunjukkan hari keempat, warna merah menunjukkan hari kelima, warna perak menunjukkan hari keenam, dan warna biru menunjukkan hari ketujuh)

Pada bulan Oktober 2015 terjadi El-Niño yang dibuktikan dengan tingginya nilai MEI dengan nilai mencapai 2,225. Fenomena El-Niño merupakan fenomena memanasnya temperatur permukaan laut Samudera Pasifik di pantai barat Peru daerah sekitar Niño 3,4 yang menyebabkan rendahnya tekanan udara di pantai barat Peru. Sementara karena adanya siklus walker secara meridional, letak konveksi massa udara bergeser pada saat memanasnya pantai barat Peru dan menyebabkan tekanan udara di Pulau Jawa dan sekitarnya menjadi lebih tinggi. Proses ini berakibat tingginya nilai curah

hujan di Pulau Jawa menjadi rendah dan curah hujan di pantai barat Peru menjadi tinggi (Liu dkk., 2014). Hal ini juga dapat dilihat bahwa pada tahun 2015 rata-rata tekanan udara cenderung tinggi bila dibandingkan dengan rata-rata tekanan udara pada tahun 2016. Rata-rata tekanan udara pada Bulan Oktober 2015 lebih tinggi sekitar 228 Pa bila dibandingkan dengan Bulan Oktober 2016 (Tabel 1).

Sementara untuk data curah hujan, dari Tabel 1 terlihat jelas bahwa adanya fenomena El-Niño membuat curah hujan bulanan di Kota Bandung pada tahun 2015 sangat rendah dengan nilai hanya mencapai 0,41 mm. Sementara nilai curah hujan pada tahun 2016 mencapai 16,84 mm. Hal ini menegaskan kembali bahwa pada Oktober 2015 minimnya curah hujan membuat minimnya kejadian deposisi basah sehingga trajektori aerosol menuju Kota Bandung cenderung panjang.

Tabel 1 Analisis Statistika Terhadap Data Meteorologi di Kota Bandung Tahun 2015 dan 2016

	2015				2016			
	Temperatur (Kelvin)	Kecepatan Angin (m/s)	Tekanan (Pa)	Curah Hujan (mm)	Temperatur (Kelvin)	Kecepatan Angin (m/s)	Tekanan (Pa)	Curah Hujan (mm)
Mean	298,7484	3,019177	99.904,6	0,410236 (CH Bulanan)	298,8645	1,865107	99.686,77	16,84522 (CH Bulanan)
Median	298,6	2,881405	99.882,5	0	298,825	1,520897	99.670	0,44516
Standard Deviasi	0,651466	0,962381	100,1646	0,05281	0,522603	1,233434	84,34847	0,49805
Nilai Minimum	297,825	1,350926	99.757,5	0	297,95	0,285042	99.542,5	0
Nilai Maksimum	300,125	4,932354	100.080	0,27911	299,725	4,56625	99.882,5	1,53740
P-Value (Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov)	9,15E-29	5,60E-24	9,15E-29	1,64E-07	9,15E-29	2,44E-12	9,15E-29	1,64E-07

4. KESIMPULAN

Pada Bulan Oktober 2015 nilai AOD di Kota Bandung cukup tinggi dengan nilai minimal 0,242 dan rata-rata berada di kisaran 0,66. Sementara nilai maksimum berada di kisaran 1,406. Hal ini dapat diartikan bahwa pada bulan ini nilai konsentrasi aerosol di Kota Bandung cukup tinggi. Berdasarkan peta trajektori, diketahui bahwa aerosol di Kota Bandung cenderung berasal dari daerah sekitar Samudera Hindia sebelah selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur, daerah Cilacap, Ciamis, Garut, Sumedang, Cimahi, dan Padalarang. Pada Bulan Oktober 2015, BBS cenderung lebih dingin dibandingkan dengan ekuator. Hal ini berakibat tingginya tekanan udara di BBS dibanding ekuator sehingga angin bergerak dari BBS menuju ekuator dan mengakibatkan angin yang bergerak ke arah Kota Bandung cenderung berasal dari tenggara. Angin ini pula yang dipercaya membawa aerosol dari tenggara atau timur Bandung menuju Kota Bandung.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad, A., Hashim, M., (2000). Determination of haze API from forest *fire* emission during the 1997 thick haze episode in Malaysia using NOAA AVHRR data. *Malaysian Journal of Remote Sensing and GIS* Vol. 1.
- Ashrafi, K., Shafie-Pour, M., Aslemand, A., Ghader, S., (2014). Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*.
- Draxler, dkk. 2014. HYSPLIT-4 User Guide. NOAA.
- Hao, W. M., D. E. Ward, R. A. Susott, R. E. Babbitt, B. L. Nordgren, Y. J. Kaufman, B. N. Holben, and D. M. Giles (2005), Comparison of aerosol optical thickness measurements by MODIS, AERONET Sun photometers, and Forest Service handheld Sun photometers in southern Africa during the SAFARI 2000 campaign, *Int. J. Remote Sens.*, 26, 4169 – 4183
- KOMPAS (2015, Bandara Husein Sastranegara Tertutup Kabut, Penumpang Terlantar <<http://regional.kompas.com/read/2015/10/23/13321401/Bandara.Husein.Sastranegara.Tertutup.Kabut.PenumpangTelantar>>. Diakses tanggal 11 September 2016.
- Lin, Y., Wijedasa, L., Chisholm, R., (2017). Singapore's willingness to pay for mitigation of transboundary forest-*fire* haze from Indonesia. *IOP Science*.
- Liu, Zhengyu, Zhengyao Lu , Xinyu Wen, B. L. Otto-Bliesner, A. Timmermann, K. M. Cobb. 2014. Evolution and forcing mechanisms of El Niño over the past 21,000 years.
- Kachi, Misako, Aonashi Kazumasa, Kubota Takuji, Shige Shoichi, Ushio, Tomoo, Mega Tomoaki, Yamamoto Munehisa, Hamada Atsushi, Seto Shinta, Takayabu Yukari N., Oki Riko, (2016). Developments and applications of the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) for the Global Precipitation Measurement (GPM)
- Nastiti, K., Kim, Y., Jung, K., An, H., (2015). The application of Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model for inundation case in upper Citarum Watershed, West Java-Indonesia. *Procedia Engineering* 125(2015) 166 – 172.
- Pyne, S.J. (1995). *World fire*. The culture of *fire* on earth. University of Washington Press, 384 pp. [ISBN 0-295-97593-8]
- Seto, T., Tabata, Y., Yamamoto, M., Hashiguchi, H., Mega, T., Kudsy, M., Yamanaka, M., Fukao, S., (2009). Comparison Study of Lower-tropospheric Horizontal Wind over Sumatra, Indonesia Using NCEP/NCAR Reanalysis, Operational Radiosonde, and the Equatorial Atmosphere Radar. *SOLA* (2009, Vol. 5, 021–024, doi:10.2151/sola.2009–00
- Show, D., Chang, S., (2016). Atmospheric impacts of Indonesian *fire* emissions). Assessing remote sensing data and air quality during 2013 Malaysian haze. *Procedia Environmental Sciences*, 36(2016) 176 – 179.
- Stickler, A., Bronnimann, S., (2010). Significant bias of the NCEP/NCAR and twentieth-century reanalyses relative to pilot balloon observations over the West African Monsoon region(1940–1957). *Q.J.R.Meteorol.Soc.* (2011) 137). 1400–1416.
- Subaid, Maria Sheryl. 2002. Pengaruh Suhu Udara, Curah Hujan, Kelembapan Udara, dan Kecepatan Angin Terhadap Fluktuasi Konsentrasi Gas-Gas NO₂, O₃, dan SO₂ di Area PLTP Gunung Salak, Sukabumi. Laporan Tugas Akhir. Bogor). FMIPA IPB
- Xu, J., Betha, R., He, J., Balasubramanian, R., (2014). Comparison of physical and chemical properties of ambient aerosols during the 2009 haze and non-haze periods in Southeast Asia. *Environ Geochem Health*. DOI 10.1007/s10653-014-9667-7.
- Zhao, S., Yin, D., Qu, J., (2015). Identifying sources of dust based on CALIPSO, MODIS satellite data and backward trajectory model, *Atmospheric Pollution Research*, 6 (2015) 36-44.