

# **PENELUSURAN TRAJEKTORI AEROSOL DI KOTA BANDUNG MENGUNAKAN HYSPLIT-4 BACK TRAJECTORY MODEL STUDI KASUS: KEJADIAN KABUT ASAP TANGGAL 23-28 OKTOBER 2015**

## ***AEROSOL TRAJECTORY TRACING IN BANDUNG CITY USING HYSPLIT-4 BACK TRAJECTORY MODEL CASE STUDY: OCTOBER, 23<sup>RD</sup>-25<sup>TH</sup> 2015 SMOG***

**Amalia Nurlatifah<sup>1\*</sup>, R. Driejana<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN, Jl. Dr. Djunjunan No. 133 Bandung 40173

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB, Jl. Ganesha Nomor 10 Bandung 40132

\*E-mail: amalianurlatifah92@gmail.com

---

Naskah masuk: 09 Juli 2019; Naskah diperbaiki: 09 Agustus 2019; Naskah diterima: 26 September 2019

---

### **ABSTRAK**

Kebakaran hutan pernah terjadi beberapa kali di Indonesia dalam kurun waktu 25 tahun terakhir, salah satu yang terparah adalah kebakaran hutan pada Bulan Oktober 2015. Pada Oktober 2015 terjadi kebakaran hutan di Pulau Kalimantan, Sumatera, dan Jawa. Aerosol adalah polutan hasil emisi kebakaran hutan yang dapat bertransportasi secara long-range dan dapat menimbulkan masalah pernafasan. Dalam penelitian ini dilakukan penelusuran trajektori aerosol di Kota Bandung pada masa terjadinya kebakaran hutan pada Oktober 2015 menggunakan HYSPLIT-4 Back Trajectory Model dengan data masukan GDAS 0,5°x0,5°. Analisis pengaruh kebakaran hutan terhadap peningkatan konsentrasi aerosol direpresentasikan dengan kenaikan nilai AOD. Nilai AOD yang digunakan adalah data AOD dari MODIS. Hasil keluaran model dianalisis bersama data curah hujan GSMaP, data meteorologi NCEP/NCAR, dan data topografi SRTM CGIAR-CSI. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan analisis yang lebih akurat dalam penelusuran trajektori aerosol di Kota Bandung. Pemodelan trajektori aerosol menggunakan HYSPLIT-4 *Back Trajectory Model*. Pada periode Oktober 2015 terlihat bahwa nilai AOD di Kota Bandung cenderung tinggi bahkan mencapai nilai maksimum 1,406. Hal ini mengindikasikan adanya kenaikan konsentrasi aerosol pada Bulan Oktober 2015. Plot trajektori menyatakan aerosol di Kota Bandung cenderung berasal dari tenggara dan timur Kota Bandung diantaranya diduga berasal dari Samudera Hindia, Cilacap, Ciamis, Garut, Sumedang, Padalarang, ataupun Cimahi. Tingginya nilai AOD mengindikasikan adanya sumber aerosol yang mengemisikan aerosol secara masif sebelum trajektorinya sampai di Kota Bandung. Dari hasil analisis didapat bahwa kebakaran Hutan Kareumbi di Sumedang, kebakaran Hutan Papandayan di Garut, dan kebakaran hutan di kawasan Gunung Masigit di Padalarang pada Bulan Oktober 2015 adalah pemicu utama tingginya nilai konsentrasi aerosol di Kota Bandung.

**Kata kunci:** Aerosol, AOD, HYSPLIT-4 back trajectory model, Kebakaran hutan, MOD04

### **ABSTRACT**

*The forest fires have occurred in Indonesia in last 25 years. One of the worst forest fire occurred in October 2015. In October 2015, forest fire occurred in Borneo, Sumatera, and Java. Aerosol is one of the forest fire emission that can do long-range transport and may cause respiratory problems. In this research, the study about aerosol trajectory was carried out in Bandung during forest fires in October 2015 using HYSPLIT-4 Back Trajectory Model with GDAS 0.5°x0.5° as input data.. Analysis of the effect of forest fires to aerosol concentration is associated with AOD from MODIS. The model output was analysed with rainfall data from GSMaP, NCEP/NCAR meteorology data, and SRTM CGIAR-CSI topography data. This procedure was done to obtain more accurate analysis in aerosol trajectory tracing in Bandung. Modelling of aerosol trajectory was done using HYSPLIT-4 Back Trajectory Model. In October 2015, AOD value was high and have maximum value at 1.406. This event indicate that aerosol concentration in Bandung was high. Trajectory plot from HYSPLIT shows that aerosol in Bandung came from Indian Ocean, Cilacap, Ciamis, Garut, Sumedang, Padalarang, or Cimahi. High AOD value indicate that there was massive aerosol production before the trajectory arrive in Bandung. Forest fires in Kareumbi, Sumedang, forest fire in Papandayan, Garut, and forest fire in Masigit, Padalarang was believed as main source for aerosol production in Bandung city.*

**Keywords:** aerosol, AOD, HYSPLIT-4 back trajectory model, forest fires, MOD04

## 1. Pendahuluan

Fenomena kebakaran hutan di Indonesia pernah terjadi beberapa kali dalam kurun waktu 25 tahun terakhir. Salah satu kebakaran hutan yang pernah terjadi di Indonesia dan paling parah adalah kebakaran hutan pada Bulan Oktober 2015 karena tak hanya hutan di Sumatera dan Kalimantan yang terbakar, tetapi juga hutan di Jawa seperti Hutan Gunung Kareumbi [23].

Salah satu partikel hasil emisi kebakaran hutan adalah aerosol [1]. Partikel ini patut menjadi perhatian karena dapat terhirup oleh paru-paru dan mengendap sehingga dapat menyebabkan berbagai masalah pernafasan serius [2]. Aerosol bersifat *long-range transport* yang artinya dapat berpindah secara jauh dan dapat mencemari daerah lain selain sumber asalnya.

Kota Bandung merupakan salah satu kota terbesar dan terpadat di Indonesia disamping Jakarta, Surabaya, dan Medan dengan jumlah penduduk pada tahun 2015 sebanyak 2,8 Juta Jiwa [3]. Mengingat penduduk yang banyak ini, Kota Bandung perlu dijaga dan dipastikan kualitas udaranya, salah satunya memastikan konsentrasi aerosol baik berupa *particulate matter* maupun total *suspended particulate* di wilayah ini tetap dalam batas baku mutu yang aman.

Oleh karena itu, perlu ditelusuri apakah konsentrasi aerosol di Kota Bandung pada Oktober 2015 berasal dari hutan di Jawa Barat yang terbakar. Hal ini disebabkan pada bulan tersebut angin monsun di Kota Bandung bertiup dari arah timur yang artinya ada kemungkinan angin bertiup terlebih dahulu ke arah hutan yang terbakar dan membawa aerosol sebelum akhirnya sampai di Kota Bandung.

HYSPLIT-4 Back Trajectory Model dewasa ini banyak digunakan dalam beberapa penelitian baik untuk menentukan arah persebaran polutan maupun menyusuri trajektori dan sumber polutan. Pada tahun 2015 Pan dkk menggunakan model ini dalam menyusuri sumber partikulat di Tiongkok Utara dan menemukan bahwa model ini cukup baik dalam menyusuri sumber polutan [4]. Selain itu, performa HYSPLIT juga memuaskan untuk menelusuri sumber dan trajektori aerosol di Thessaloniki, Helsinki, dan Sregeed [5]. Bahkan HYSPLIT juga dewasa ini digunakan untuk menelusuri area sumber serbuk sari yang tersebar di barat daya Polandia [6]. Model ini dapat dijalankan secara interaktif di web NOAA atau melalui PC dengan eksekusi kode dan unduh data meteorologi manual sehingga model ini termasuk model yang fleksibel dalam hal penggunaan [7]. HYSPLIT mempunyai user interface yang cukup ramah serta proses instalasi dan run yang tidak memerlukan banyak waktu,

sumber daya data, maupun tenaga. Oleh karena itu diharapkan model ini baik dalam mengestimasi trajektori aerosol di Kota Bandung dengan dukungan sumber daya maupun data yang tersedia di Kota Bandung.

Penelitian tentang HYSPLIT pernah dilakukan oleh Ashrafi dkk pada tahun 2014 [8] 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. Metode penelusuran debu dengan menggunakan HYSPLIT juga pernah dilakukan Zhao dkk pada tahun 2015 [9]. Pada penelitiannya, Zhao dkk menggunakan satelit MODIS dan satelit CALIPSO sebagai pendukung analisis dan menemukan sumber dominan berdasarkan analisis dari ketiga instrumen tersebut.

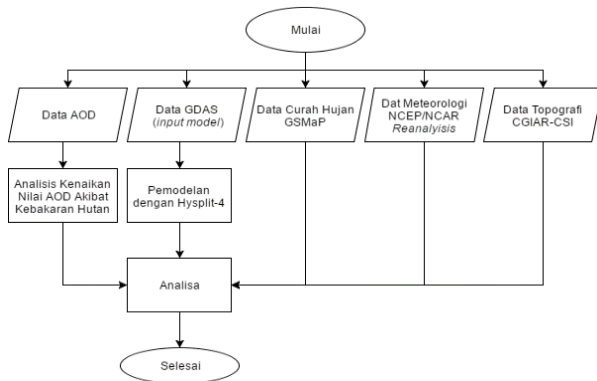
Konsentrasi aerosol dapat dihitung menggunakan beberapa metode salah satunya adalah menghitung nilai AOD dari satelit. Konsentrasi aerosol dan nilai AOD (*aerosol optical depth*) dipercaya mempunyai korelasi yang tinggi dimana jika konsentrasi aerosol bernilai tinggi maka nilai AOD akan tinggi begitupun sebaliknya [10].

Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisis trajektori aerosol di Kota Bandung serta pengaruh kebakaran hutan terhadap konsentrasi aerosol di Kota Bandung pada Oktober 2015 yang direpresentasikan dengan nilai AOD. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mengenai analisis dan identifikasi trajektori aerosol di Kota Bandung berdasarkan peta keluaran model dari HYSPLIT, analisis pengaruh komponen meteorologi seperti tekanan, temperatur, dan angin serta analisis pengaruh topografi terhadap peta pergerakan aerosol.

## 2. Metode Penelitian/Methods

Dalam penelitian kali ini hal pertama yang akan dilakukan adalah mengidentifikasi peningkatan konsentrasi aerosol berdasarkan data nilai AOD ketika terjadi kebakaran hutan pada Oktober 2015 dengan menggunakan data MODIS. Selanjutnya adalah melakukan pemodelan dengan HYSPLIT. Hasil keluaran HYSPLIT yang telah dijalankan untuk simulasi pada Oktober 2015 dianalisis dengan bantuan data meteorologi dari NCEP/NCAR dan data topografi dari CGIAR-CSI. Hal tersebut dilakukan untuk memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai identifikasi trajektori aerosol di Kota Bandung.

Secara singkat, tahapan penelitian dapat digambarkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

Tempat penelitian adalah di Kota Bandung, tepatnya di Badan Tenaga Nuklir Nasional dengan koordinat 6,89 LS; 107,6 BT. Waktu penelitian adalah Oktober 2015. Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data GDAS sebagai data input model HYSPLIT, data AOD dari MODIS, data meteorologi (tekanan, temperatur udara, dan angin) yang merupakan data reanalysis NCEP/NCAR, data curah hujan dari GSMaP, dan data topografi.

Data input yang digunakan untuk pemodelan dengan HYSPLIT adalah data GDAS dengan resolusi spasial  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$  yang sudah tersedia di sistem HYSPLIT. Data GDAS (Global Data Assimilation System) sendiri merupakan sistem yang digunakan National Center America untuk NCEP (National Center for Environmental Prediction) untuk menempatkan data observasi kedalam format grid yang dikenali model agar dapat digunakan untuk initial data, starting, ataupun melakukan ramalan cuaca dengan model. GDAS menggunakan macam-macam data observasi diantaranya data observasi permukaan, data balloon, data windprofiler, aircraft report, observasi radar, dan observasi satelit [11].

Data AOD yang dipakai adalah data dari satelit Terra level 2 dengan jenis produk MOD04\_L2-MODIS/Terra Aerosol 5-Min L2 Swath 10 km dengan nama variabel Land and Ocean Optical Depth. Data ini mempunyai resolusi spasial 10 km x 10 km dan resolusi temporal perhari.

GSMaP (Global Satellite Mapping Precipitation) adalah database curah hujan yang disediakan oleh JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency). Data GSMaP berasal dari gabungan sensor beberapa satelit geostasioner seperti TRMM TMI, Aqua AMSR-E, DMSP SSM/I, SSMIS, dan NOAA&MetOp AMSU-A/MHS. 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 meteorologi NCEP/NCAR Reanalysis merupakan data set yang berisi data global

berbentuk grid yang merepresentasikan kondisi atmosfer di bumi dari tahun 1948 hingga sekarang. Data ini didapat dari gabungan data observasi dan data NWP (Numerical Weather Prediction). Data ini tersedia bermacam-macam resolusi dan parameter dalam beberapa format seperti Netcdf dan GRIB file di NCAR CISL Research Data Archive. Data tekanan dan temperatur sendiri mempunyai resolusi spasial  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  dan resolusi temporal perhari. Data topografi didapat dari CGIAR-CSI berupa data elevasi SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Model HYSPLIT yang dijalankan pada penelitian ini adalah model yang dijalankan secara online melalui alamat URL

[http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT\\_traj.php](http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php) [7][12][13][14] dengan pilihan archive trajectory karena pertimbangan kebutuhan penelitian kali ini adalah untuk simulasi, bukan forecast. Tipe trajectory yang dipilih adalah normal trajectory dengan trajectory directions adalah backward trajectory. Pada penelitian kali ini level ketinggian yang akan dijalankan yaitu 10 meter diatas permukaan tanah. Sementara lamanya running adalah 24 jam penelusuran kebelakang.

### 3. Hasil dan Pembahasan

**Nilai AOD di Kota Bandung.** Bulan Oktober 2015 merupakan bulan dimana terjadi kasus kebakaran hutan besar-besaran di Indonesia. Pada bulan ini terjadi kabut asap tersebar di hampir seluruh wilayah barat Indonesia bahkan hingga menyebar ke daerah Singapura, Malaysia, bahkan Thailand. Tak terkecuali di Bandung, kabut asap pun berdampak pada tingginya nilai AOD di Kota Bandung. Hal ini terlihat pada plot grafik nilai AOD di Kota Bandung yang terdapat pada Gambar 2. Tingginya nilai AOD dapat disimpulkan sebagai tingginya nilai konsentrasi aerosol di Kota Bandung.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa hampir sepanjang Bulan Oktober 2015 nilai AOD sangat tinggi dan berada di atas ambang normal (0,1-0,15) [16], 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 aerosol di 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, 1,3 di tanggal 24, 0,7 di tanggal 25, dan 1,2 di tanggal 26 (Gambar 2). 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 [17]. 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.

**Hasil Pemodelan dengan HYSPLIT.** Pada hasil pemodelan HYSPLIT yang terdapat di Gambar 3, 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 3).

Gambar 3 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 Gambar 4.

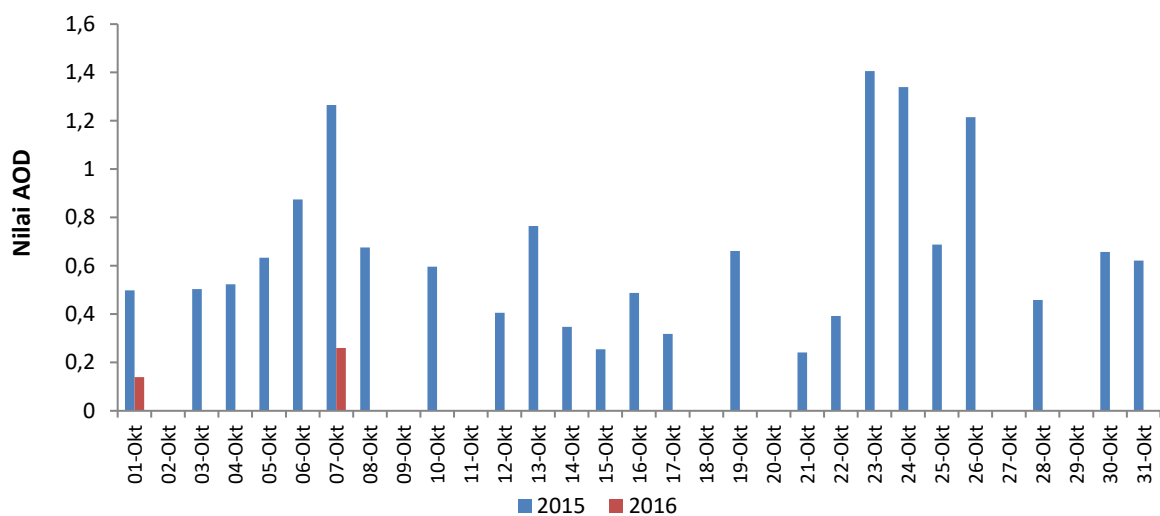
HYSPLIT telah melakukan simulasi penelusuran trajektori untuk studi kasus pada tanggal 23-28 Oktober 2015 atau saat nilai AOD di Kota Bandung

mencapai nilai maksimum. Pada periode ini pula, terjadi kabut asap yang parah di Kota Bandung hingga menyebabkan tertundanya beberapa penerbangan di Bandara Husein Sastranegara.

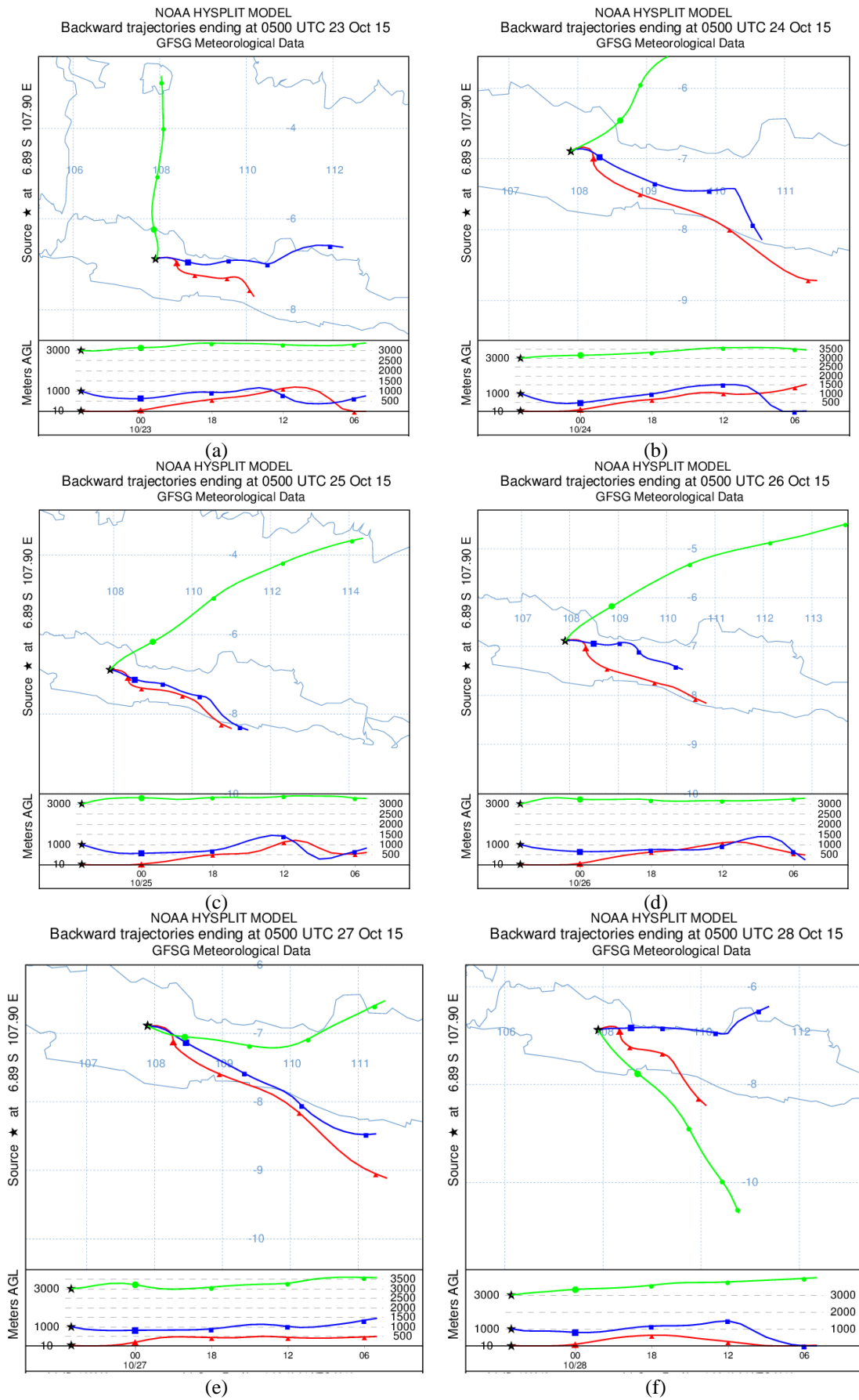
Pada umumnya keluaran model HYSPLIT menunjukkan pada periode ini polutan yang berada di ketinggian 10 meter diatas permukaan tanah di Kota Bandung berasal dari daerah timur dan tenggara Kota Bandung. Berdasarkan model tersebut terlihat bahwa sebelum mencapai Kota Bandung trajektori aerosol melewati sekitar daerah Sumedang, Subang, dan Padalarang terlebih dahulu (Gambar 3).

Pada tanggal 23 Oktober 2015, aerosol di Kota Bandung berasal dari daerah tenggara dimana 24 jam sebelum mencapai Kota Bandung aerosol berada di Samudera Hindia sebelah selatan Jawa Tengah. (Gambar 3). Pada tanggal 24 Oktober 2015 plot HYSPLIT menunjukkan bahwa aerosol di Kota Bandung dominan berasal dari arah timur. Pada tanggal 25 Oktober 2015, aerosol di Kota Bandung dengan tinggi 10 meter cenderung berasal dari Samudera Hindia bagian selatan Jawa Tengah, melewati daerah timur Jawa Barat sebelum akhirnya sampai di Kota Bandung (Gambar 3).

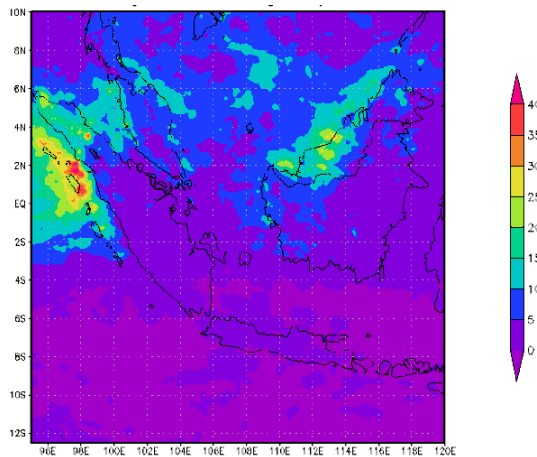
Tanggal 26 Oktober 2015, aerosol di Kota Bandung di ketinggian 10 meter berasal dari daerah Jawa Tengah. Pada tanggal 27 Oktober 2015, aerosol dengan ketinggian 10 meter mempunyai trajektori yang hampir sama baik secara vertikal maupun horizontal dengan trajektori pada tanggal 23, 24, dan 25 Oktober 2015 yang berasal dari Samudera Hindia sebelah selatan Jawa Tengah sehingga trajektori cukup panjang. Pada tanggal 28 Oktober 2015, aerosol yang berada di Kota Bandung 24 jam sebelumnya cenderung berasal dari daerah Timur Bandung (Gambar 3).



Gambar 2. Grafik Nilai AOD di Kota Bandung [18]



Gambar 3. Hasil pemodelan HYSPLIT (a)23 Oktober 2015, (b)24 Oktober 2015, (c)25 Oktober 2015, (d)26 Oktober 2015, (e)27 Oktober 2015, (f)28 Oktober 2015



**Gambar 4. Plot curah hujan bulanan Oktober 2015 Indonesia Barat (satuan: mm)**

Pada Gambar 4 terlihat plot curah hujan bulanan yang berasal dari akumulasi nilai curah hujan harian di Indonesia bagian barat pada Bulan Oktober 2015. Terlihat bahwa pada bulan ini daerah selatan Indonesia mempunyai jumlah curah hujan yang rendah dan cenderung kering (Gambar 4). Hal inilah yang memicu minimnya kejadian deposisi basah untuk aerosol pada bulan ini.

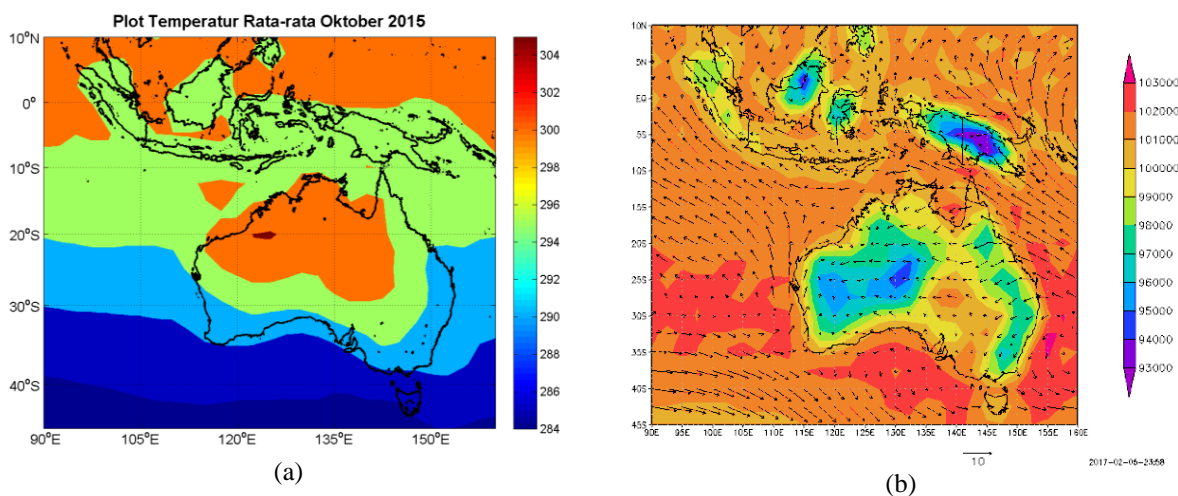
**Analisis Pengaruh Komponen Meteorologi.** Pada umumnya, pada Bulan Oktober temperatur udara di bumi bagian selatan cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan ekuator. Hal ini disebabkan pada musim ini matahari cenderung maksimal menyinari daerah ekuator jika dibandingkan dengan daerah Bumi Bagian Selatan (daerah Australia dan Selandia Baru).

Berdasarkan siklus revolusi bumi, matahari cenderung maksimal menyinari belahan bumi utara (BBU) di musim Juni-Juli-Agustus (JJA). Hal ini menyebabkan pada musim ini BBU cenderung

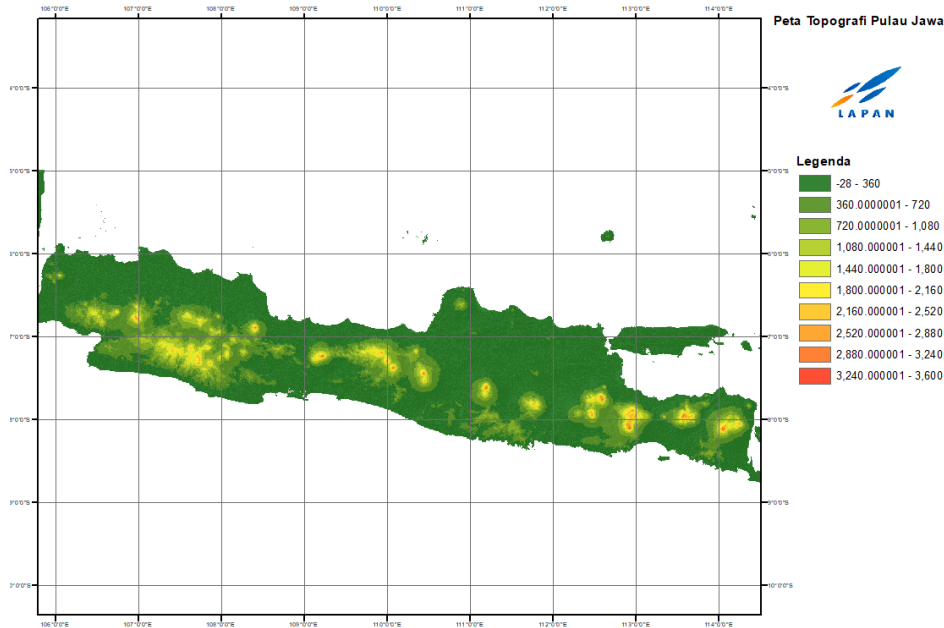
mengalami musim panas, dan belahan bumi selatan (BBS) cenderung mengalami musim dingin. Sedangkan Indonesia yang berada di ekuator cenderung mengalami musim kering karena rendahnya tekanan di BBU dan tingginya tekanan di BBS menyebabkan angin monsun bergerak dari BBS ke ekuator dan membawa uap air yang sedikit dari Australia atau hal ini disebut pula sebagai Monsun Australia.

Pada musim Desember-Januari-Februari (DJF), matahari cenderung maksimal menyinari BBS. Oleh karena itu, hal berkebalikan dengan musim JJA terjadi. Temperatur udara di BBU musim DJF cenderung dingin dan temperatur udara di BBS cenderung panas. Hal ini berakibat pada perbedaan tekanan diantara BBS dan BBU yang menyebabkan angin bergerak dari BBU menuju ekuator. Pada musim ini angin monsun bergerak dari daerah Samudera Hindia menuju Indonesia dan membawa uap air yang banyak. Hal ini menyebabkan minimnya hujan terjadi pada musim ini atau disebut pula Monsun Asia.

Akibat perbedaan temperatur dan perbedaan tekanan tersebut pada bulan Oktober 2015, angin dominan cenderung bergerak dari daerah Australia dan Selandia Baru menuju ekuator. Hal ini disebabkan cenderung rendahnya temperatur udara di BBS yang menyebabkan tekanan di daerah ini cenderung tinggi (Gambar 5b). Selain itu pada musim ini diketahui indeks MEI (Multivariate ENSO Index) mencapai angka 2,225 [19][20]. Indeks yang bernilai sangat positif ini mengindikasikan terjadinya fenomena El Nino yang cukup kuat. Hal ini pula yang menyebabkan pada bulan ini wilayah Indonesia cenderung kering (Gambar 4) dan memperparah terjadinya kebakaran hutan dan lahan di Indonesia.



**Gambar 5. (a)Plot rata-rata temperatur bulanan (satuan: Kelvin), (b)Plot rata-rata tekanan (satuan: Pa) dan arah angin**



**Gambar 6. Peta topografi daerah Indonesia Barat**

**Analisis Pengaruh Topografi.** Bentuk muka bumi atau topografi dapat berpengaruh banyak terhadap pergerakan polutan [21][22]. Seperti yang telah kita ketahui bersama bahwa Indonesia dikelilingi oleh pegunungan di bagian terluar Sumatera dan Jawa yang dikenal sebagai ring of fire. Hal ini dipercaya mempengaruhi pula pergerakan polutan disekitar Pulau Jawa dan Sumatera.

Pada Gambar 6 terlihat bahwa Jawa bagian selatan dikelilingi oleh dataran tinggi sekitar 1.400-3.400 meter diatas permukaan tanah. Hal ini berakibat pada pergerakan polutan di Kota Bandung dimana pada periode Oktober terlihat polutan di Kota Bandung tidak bergerak langsung dari arah tenggara melainkan dari arah timur (Gambar 3). Pada awalnya, polutan bergerak dari arah tenggara (Australia) namun karena tingginya topografi, polutan melewati celah dataran rendah untuk selanjutnya bergerak ke Barat ke arah Kota Bandung (Gambar 3 dan Gambar 6).

**Analisis dan Identifikasi Trajektori Aerosol di Kota Bandung.** Identifikasi trajektori aerosol menggunakan HYSPLIT-4 di Kota Bandung telah dilakukan. Pada plot backward trajectory HYSPLIT terlihat bahwa umumnya pada Bulan Oktober 2015 aerosol yang berada di Kota Bandung berasal dari daerah timur ataupun tenggara Kota Bandung. Hal ini disebabkan pada bulan ini tekanan udara di BBS cenderung tinggi yang disebabkan rendahnya temperatur udara di BBS sehingga angin mengalir dari BBS menuju ekuator.

Pada Bulan Oktober 2015, indeks MEI bernilai positif yang artinya pada bulan ini terjadi El Nino

yang menyebabkan minimnya curah hujan di Indonesia. Hal ini turut memperparah kejadian kebakaran hutan di Indonesia dan menyebabkan minimnya deposisi basah dan diduga menjadi penyebab udara yang semakin kering sehingga trajektori aerosol di Kota Bandung cenderung jauh secara horizontal.

Jika dilihat dari trajektorinya, aerosol di Kota Bandung cenderung berasal dari Samudera Hindia daerah selatan Jawa Tengah atau Jawa Timur, bergerak masuk ke daratan melalui daerah Cilacap yang memiliki topografi cenderung rendah jika dibandingkan daerah selatan Jawa yang lain. Selanjutnya aerosol bergerak ke daerah barat laut, masuk ke daerah Garut, Sumedang, dan bahkan Padalarang sebelum akhirnya sampai ke Bandung.

Tingginya nilai AOD pada Bulan Oktober 2015 mengindikasikan tingginya nilai aerosol di Kota Bandung. Pada Bulan Oktober 2015 nilai AOD berada di kisaran 0,5 dengan nilai maksimum berada pada tanggal 1,406 pada tanggal 23 Oktober dan nilai minimum adalah 0,242 pada tanggal 21 Oktober 2015. Hal ini cukup mengkhawatirkan mengingat pada kondisi normal nilai AOD seharusnya ada di kisaran 0,1. Sedangkan pada Bulan Oktober 2015 nilainya sangat diatas ambang batas.

Jika kita kembali melihat trajektorinya, pada Bulan Oktober 2015 aerosol di Kota Bandung diketahui melewati daerah Samudera Hindia, sekitar Cilacap, Ciamis, Garut, dan Sumedang dan terkadang melewati daerah utara sekitar Cimahi dan Padalarang sebelum akhirnya sampai di Kota

Bandung. Artinya, umumnya pada Bulan Oktober 2015 sumber aerosol di Kota Bandung berasal dari daerah tersebut. Namun konsentrasi aerosol yang direpresentasikan dengan nilai AOD menunjukkan tingginya nilai AOD yang mengindikasikan bahwa dalam trajektorinya aerosol di Kota Bandung berasal dari sumber dominan atau daerah yang mengemisikan aerosol secara masif.

Pada Bulan Oktober 2015 diketahui telah terjadi kebakaran hutan besar-besaran di Indonesia yang tidak hanya terjadi di daerah Sumatera dan Kalimantan, tetapi juga di Jawa. Pada bulan ini terjadi kebakaran hutan di daerah Jawa Barat tepatnya di Gunung Kareumbi sekitar Sumedang, Gunung Papandayan di Garut, dan Gunung Masigit di sekitar Padalarang. Kebakaran hutan pada kurun waktu Bulan Oktober 2015 setidaknya melenyapkan 966 Hektar hutan di Jawa Barat [23]. Kebakaran hutan di Gunung Kareumbi dan Gunung Masigit diketahui mencapai maksimal pada kurun 23-28 Oktober 2015 sehingga pada kurun waktu ini pula nilai AOD mencapai nilai paling tinggi jika dibandingkan dengan hari lain dan diduga menjadi penyebab kabut asap yang cukup parah di Kota Bandung. Kejadian ini kemudian menyebabkan tertundanya beberapa penerbangan di Bandara Husein Sastranegara. Berdasarkan analisis trajektori HYSPLIT, dapat diduga kebakaran hutan di Gunung Kareumbi, Gunung Masigit, dan Gunung Papandayan menjadi sumber pengemisi aerosol terbesar di Kota Bandung pada kurun Bulan Oktober 2015.

#### 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.

Topografi merupakan salah satu komponen yang berpengaruh terhadap pergerakan aerosol menuju

Kota Bandung. Banyaknya pegunungan di bagian selatan Pulau Jawa cenderung mempengaruhi pergerakan aerosol sehingga aerosol yang berasal dari Samudera Hindia masuk ke daratan melalui celah-celah daratan rendah sekitar Cilacap.

Hasil analisis trajektori menunjukkan aerosol di Kota Bandung cenderung berasal dari Samudera Hindia, Cilacap, Ciamis, Garut, Sumedang, ataupun sekitar Subang dan Padalarang. Tingginya nilai AOD di Kota Bandung juga mengindikasikan adanya sumber dominan yang mengemisikan aerosol secara masif. Kebakaran hutan di Gunung Kareumbi, Gunung Masigit, dan Gunung Papandayan dipercaya menjadi sumber utama aerosol yang berupa kabut asap di Kota Bandung pada Oktober 2015.

#### Daftar Pustaka

- [1] Rea, G., Paton-Walsh, C., Turquety, S., Cope, M., Griffith, D. "Impact of the New South Wales fires during October 2013 on regional air quality in eastern Australia", *Atmospheric Environment*, 131: 150-163, 2016.
- [2] Awaluddin. "Keluhan Masyarakat Akibat Kabut Asap Kebakaran Hutan dan Lahan di Kota Pekanbaru", *Journal Endurance* 1(1) 25 February 2016 (37-46). DOI: <http://doi.org/10.22216/jen.v1i1.1079>.
- [3] BPS. "Proyeksi Penduduk dan Laju Pertumbuhan Penduduk di Kota Bandung, 2012 – 2017". Internet: <https://bandungkota.bps.go.id/statictable/2019/01/04/181/proyeksi-penduduk-dan-laju-pertumbuhan-penduduk-di-kota-bandung-2012---2017.html>, diakses tanggal 20 September 2019.
- [4] Pan, Y., Tian, S., Li, X., Sun, Y., Li, Y., Wentworth, G., Wang, Y. "Trace elements in particulate matter from metropolitan regions of Northern China: Sources, concentrations and size distributions", *Science of the Total Environment*, 537: 9-22, 2015.
- [5] Makra, L., Matyasovszky, I., Guba, Z., Karatzas, K., Antilla, P. "Monitoring the long-range transport effects on urban PM10 levels using 3D clusters of backward trajectories", *Atmospheric Environment*, 45: 2630-2641, 2011.
- [6] Bilinska, D., Carsten Ambelas, Małgorzata Werner, Maciej Kryza. "Source Regions of Ragweed Pollen Arriving in South-western Poland and the Influence of Meteorological Data on the HYSPLIT Model Results". DOI 10.1007/s10453-017-9471-9, 2017.
- [7] Draxler, R.R. "HYSPLIT4 user's guide. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-230", NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 1999.



- [8] Ashrafi, K., Shafiepour-Motlagh, M., Aslemand, A., Ghader, S. "Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT". *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 12. 9. 10.1186/2052-336X-12-9, 2014.
- [9] Zhao, S., Yin, D., Qu, J. Identifying sources of dust based on CALIPSO, MODIS satellite data and backward trajectory model, *Atmospheric Pollution Research*, 6: 36-44, 2015.
- [10] Holben B.N., T.F.Eck, I.Slutsker, D.Tanre, J.P.Buis, A.Setzer, E.Vermote, J.A.Reagan, Y.Kaufman, T.Nakajima, F.Lavenu, I.Jankowiak, and A.Smironov. "AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization", *Rem. Sens. Environ.*, 66: 1-16, 1998.
- [11] NCDC NOAA, 2016, Data GDAS, <<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-data-assimilation-system-gdas>>. Diakses tanggal 28 Juli 2016.
- [12] Stein, A.F., Draxler, R.R, Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F. "NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system", *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 2059-2077, <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>, 2015.
- [13] Draxler, R.R., and G.D. Hess. "An overview of the HYSPLIT\_4 modeling system of trajectories, dispersion, and deposition". *Aust. Meteor. Mag.*, 47, 295-308, 1998.
- [14] Draxler, R.R., and G.D. Hess. "Description of the HYSPLIT\_4 modeling system. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-224", NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 24 pp, 1997.
- [16] Gerasopoulos, E., Andreae, M. O., Zerefos, C. S., Andreae, T.W., Balis, D., Formenti, P., Merlet, P., Amiridis, V. and Papastefanou, C. "Climatological aspects of aerosol optical properties in Northern Greece". *Atmos. Chem. Phys.*, 3, 2025–2041, 2003.
- [17] KOMPAS, 2015, Bandara Husein Sastranegara Tertutup Kabut, Penumpang Terlantar <<http://regional.kompas.com/read/2015/10/23/13321401/Bandara.Husein.Sastranegara.Tertutup.Kabut.Penumpang.Telantar>>. Diakses tanggal 11 September 2016.
- [18] Nurlatifah, A. dan Driejana. "Pengaruh Komponen Meteorologi terhadap Pergerakan Aerosol di Kota Bandung berdasarkan Data NCEP/ NCAR dan Model Hysplit-4 Backward Trajectory Model".
- [19] Kalnay, E. "The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project", *Amer. Meteor. Soc*, 77: 437-470, 1996.
- [20] ESRL NOAA, 2017, Data MEI <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>>. Diakses tanggal 3 Februari 2017.
- [21] Perkins, Henry C. "Air Pollution". Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, 1974.
- [22] Jacobson, Mark Z. *Atmospheric Pollution: History, Science, and Regulation*. Inggris: Cambridge, 2002.
- [23] <https://nasional.tempo.co/read/713187/kebakaran-hutan-966-hektare-hutan-di-jawa-barat-musnah>. Judul artikel: Kebakaran Hutan, 966 Hektare Hutan di Jawa Barat Musnah.