

POTENSI *LONG-RANGE TRANSPORT* POLUTAN UDARA DARI CEKUNGAN BANDUNG

Sumaryati

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN
Jl. Dr Djundjuran 133 Bandung
Pos-el : sumary.bdg@gmail.com, sumaryati@lapan.go.id

Abstract

The studies of air pollution dispersion have been carried out in Bandung Basin recently show that the pollutants tend to trapped in this area due to terrain shape. This research is applied HYSPLIT model to study potency of Long Range Transport Air Pollutant (LRTAP) emitted in this area. Pollutant sources are simulated as gridding pattern. Gridding by distance of 0,05° or about 5.55 km pollutant air sources in the centre of research domain are simulated in 2015 for representing each month by a simulation starting in the day and night respectively. Potency LRTAP can be shown by forward trajectory of the air pollutant sources emitted. The study of forward trajectory by HYSPLIT model shows that pollutant emitted in Bandung Basin has potency to be LRTAP phenomenon, although some event show that pollutant trapped in this area and trajectory direction turned due to the high terrain in its border. The most potential of LRTAP from Bandung Basin is occurred in SON (September October November) period.

Keywords : HYSPLIT, LRTAP, Bandung Basin, pollutant, forward trajectory.

Abstrak

Kajian terhadap penyebaran polusi udara yang telah dilakukan di Bandung menunjukkan bahwa faktor topografi yang berbentuk cekungan menyebabkan polutan dari kota Bandung cenderung terperangkap di dalamnya. Penelitian ini mengaplikasikan model HYSPLIT untuk mengkaji potensi terjadinya *Long-range Transport Air Pollutant* (LRTAP) dari kawasan tersebut. Sumber polutan disimulasikan secara *gridding* dengan jarak terdekat 0,05° atau sekitar 5,55 km pada pusat domain penelitian, tahun 2015 yang diwakili setiap bulan masing-masing satu kali simulasi mulai dari siang dan malam hari. Potensi LRTAP dapat dilihat pada trayektori maju dari sumber polutan yang disimulasikan tersebut. Hasil kajian trayektori maju dengan model HYSPLIT menunjukkan bahwa polutan yang berasal dari Cekungan Bandung berpotensi terjadi LRTAP, meskipun emisi polutan pada waktu tertentu terperangkap di dalamnya dan mengalami pembelokan arah akibat topografi yang tinggi di bagian tepinya. Potensi LRTAP paling tinggi terjadi pada periode September Oktober November (SON).

Kata kunci : HYSPLIT, LRTAP, Cekungan Bandung, polutan, trayektori maju,

1. PENDAHULUAN

Perpindahan polutan dari sumbernya dapat terjadi melalui proses transportasi, dispersi, dan deposisi.¹ Pada prinsipnya, transportasi perpindahan polutan karena gerakan angin, dispersi karena adanya turbulensi dan deposisi karena adanya proses pengendapan. Bagian dari kejadian transportasi polutan ada yang dikenal dengan istilah *Long-range Transport of Air Pollutants* (LRTAP) yang menurut kamus OECD didefinisikan sebagai transportasi polusi udara di atmosfer yang terbawa oleh massa udara yang bergerak lebih dari 100 km dari sumbernya.² LRTAP yang sampai melintasi batas negara disebut *transboundary air pollution*, sehingga polutan dari suatu

negara dampaknya juga dirasakan oleh negara lain. Oleh karena itu, antara LRTAP dengan *transboundary air pollution* merupakan dua hal yang tidak dapat dipisahkan.

Sumber polutan yang berpotensi menyebabkan LRTAP dapat berupa sumber biogenik maupun antropogenik, dengan jumlah emisi yang besar dan polutannya *inert* atau memiliki *life time* panjang. Sumber polutan yang berpotensi menjadi sumber LRTAP antara lain badai gurun, letusan gunung api, kebakaran hutan, serta industri dan transportasi. Fenomena LRTAP ada yang kasat mata seperti kabut asap dari Sumatera yang sampai di Malaysia maupun Singapura, tetapi jika LRTAP sudah sangat jauh fenomena LRTAP tidak terlihat lagi. Indikasi kejadian LRTAP pada suatu daerah reseptor (penerima) yang sudah tidak kasat mata dapat dilihat dengan adanya konsentrasi yang sangat tinggi pada suatu waktu dalam data *time series* yang panjang, yang menyimpang dari karakteristik normalnya.³

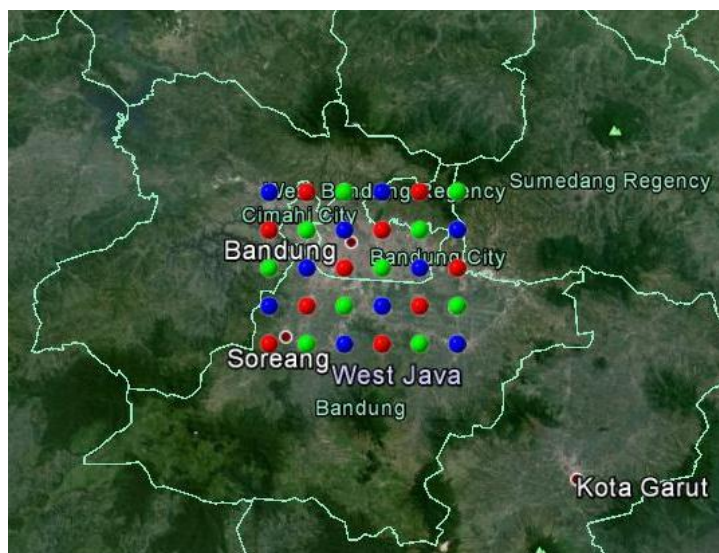
Bandung sebagai kota dengan aktivitas transportasi dan industri yang tinggi, banyak menghasilkan polutan baik yang *inert* seperti partikulat maupun yang reaktif seperti NO_x, SO₂, dan CO. Polutan yang *inert*, yaitu polutan tidak bereaksi secara kimiawi di atmosfer berpotensi lebih besar untuk mengalami LRTAP dari pada polutan yang reaktif. Bandung dengan topografi yang berbentuk cekungan seperti mangkuk, sumber polutan banyak berada di pusat cekungan. Penelitian sebelumnya menunjukkan adanya potensi polutan di Bandung terjadi pengendapan dan ada pengamatan polutan PM₁₀ di daerah tepi cekungan menunjukkan adanya *downwash* yang mengindikasikan angin berbalik arah karena dinding topografi yang tinggi.^{4,5} Kajian penyebaran polusi udara di Cekungan Bandung dengan menggunakan model meteorologi skala meso generasi ke-lima (MM5) dan *Taiwan Air Quality Model* (TAQM) menunjukkan bahwa pada siang hari polutan tidak terperangkap di Cekungan Bandung, sedangkan pada malam hari ada kemungkinan terperangkap.⁶

Tujuan makalah ini mengkaji potensi terjadinya LRTAP polutan dari Cekungan Bandung dengan menggunakan model *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT). HYSPLIT merupakan model trayektori polusi udara yang dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration's Air Resources Laboratory* (NOAA-ARL). *Running* model ini bekerja pada *server* NOAA-ARL dan dapat diakses *on line*.⁷ Model HYSPLIT ini telah banyak digunakan untuk mengkaji pergerakan polutan udara pada skala regional.^{3,8,9}

2. METODE PENELITIAN

Lokus penelitian ini adalah wilayah Cekungan Bandung bagian tengah, yang secara topografi berada pada lokasi paling rendah. Daerah ini didominasi kawasan urban yang memiliki sumber polutan udara sangat tinggi, baik dari transportasi, industri, maupun kegiatan rumah tangga.

Running HYSPLIT memilih tipe titik sumber *matrix*, yang berarti membuat trayektori polutan dari suatu luasan dengan sejumlah sumber polutan yang tertata secara *gridding*. Batasan daerah sebagai lokasi sumber polutan berada antara koordinat kiri-bawah (7,05°LS ; 107,50°BT) dan kanan-atas (6,85°LS ; 107,75°BT) dengan jarak antara sumber titik sumber polutan terdekat yang diuji sebesar 0,05° atau sekitar 5,55 km. Dengan demikian ada 30 titik yang akan diuji bagaimana trayektori polutan dari tempat tersebut (Gambar 1). Tiga puluh titik tersebut mewakili dataran rendah yang merupakan lokus dari penelitian ini.



Gambar 1. Lokasi sumber polutan

Trayektori yang dipilih adalah *forward trajectory* atau trayektori maju yaitu trayektori yang memprediksi kemana polutan yang berasal dari suatu sumber akan bergerak. Prediksi trayektori dilakukan setiap bulan dari Januari – Desember 2014, pada jam 06.00 UTC atau jam 13.00 WIB setiap tanggal 10 dan jam 18.00 UTC atau jam 01.00 WIB setiap bulannya. Tinggi sumber polutan 10 m, dengan durasi trayektori selama 84 jam.

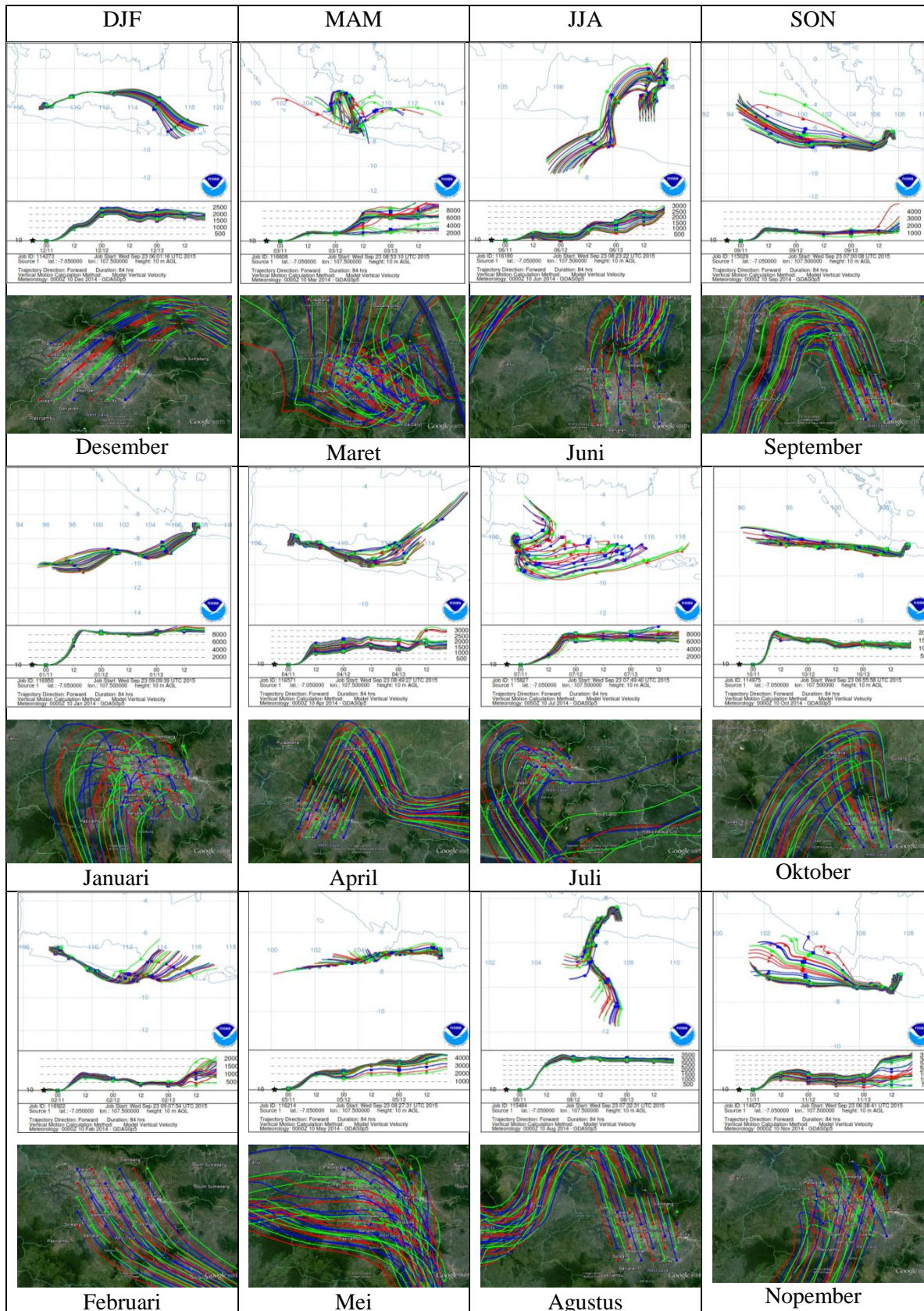
Data meteorologi yang digunakan adalah data dari *Global Data Assimilation System* (GDAS) dengan resolusi 0,5°. GDAS adalah sistem yang digunakan oleh model *Global Forecast System* (GFS) dalam menempatkan lokasi pengamatan-pengamatan pada suatu grid model untuk menginisialisasi prediksi cuaca dengan data observasi.¹⁰

Analisis trayektori dikelompokkan secara periode musiman, yaitu pada kelompok bulan Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), dan September-Oktober-November (SON), dan perbedaan siang hari dimana kondisi udara cenderung tidak stabil dan malam hari yang cenderung lebih stabil. Asumsi yang digunakan adalah jika polutan dengan mudah dapat keluar dari daerah Cekungan Bandung, maka potensi LRTAP akan mudah terjadi.

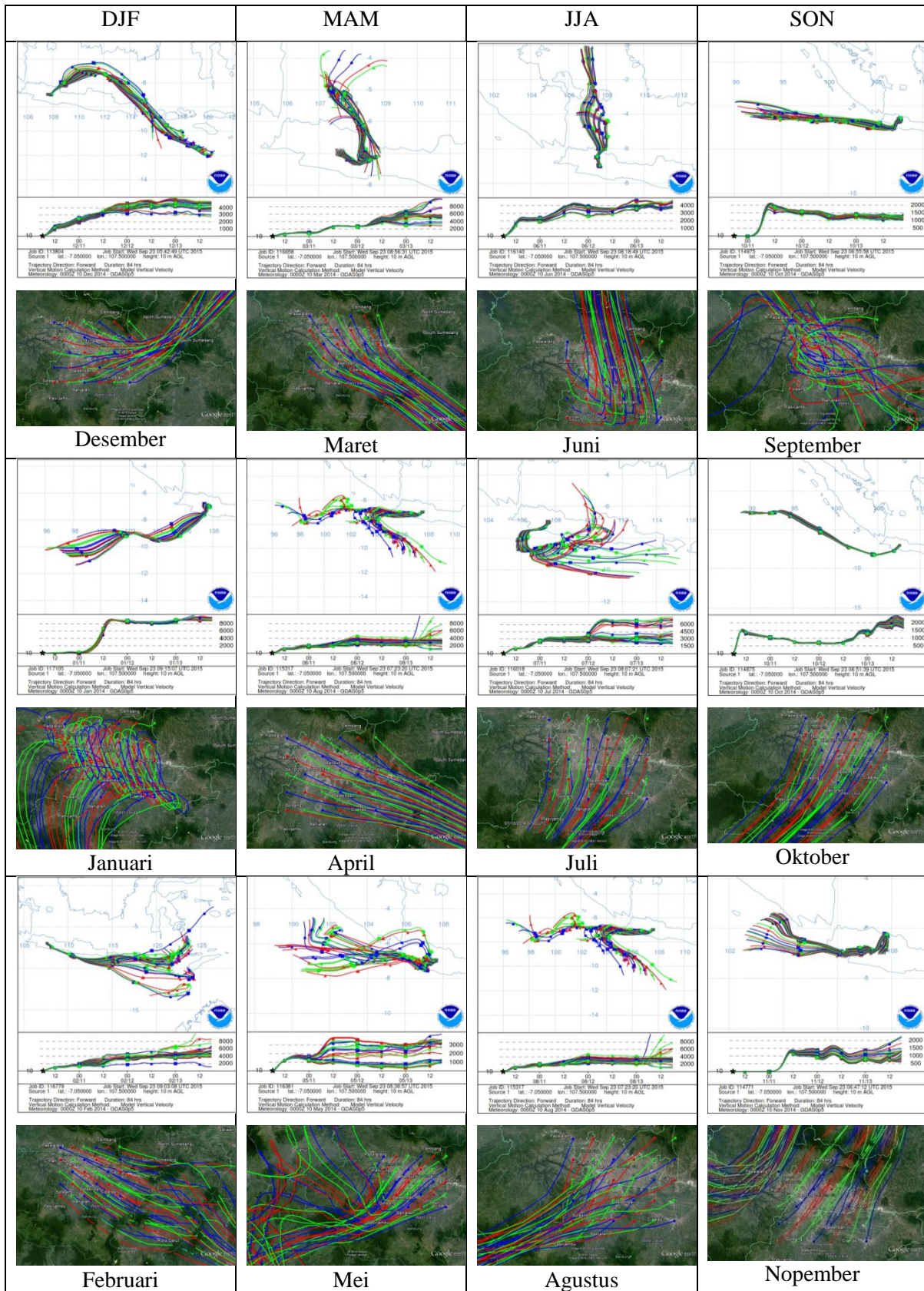
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Trayektori polutan dikelompokkan pada waktu malam dan siang hari serta kelompok bulan (DJF), (MAM), (JJA), dan (SON) ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Periode DJF merupakan musim hujan yang bertiup angin timur, dan sebaliknya JJA adalah musim kemarau yang bertiup angin barat, sedangkan periode MAM dan SON adalah musim pancaroba dengan arah angin cenderung tidak stabil. Sumber utama polutan di Bandung berasal dari kegiatan industri dan transportasi. Oleh karena itu, sumber emisi sepanjang tahun dapat dianggap sama.

Gambar bagian atas menunjukkan transport polutan dalam arah horizontal dan gambar tengah menunjukkan transport polutan secara vertikal. Gambar bagian bawah menunjukkan lebih jelas trayektori polutan di daerah Cekungan Bandung. Gambar paling bawah ini untuk menunjukkan bagaimana karakteristik lintasannya yang dibatasi oleh topografi yang tinggi yang diduga daerah ini polutan sulit keluar.



Gambar 2. Trayektori maju polutan dari Cekungan Bandung yang diemisikan pada malam hari



Gambar 3. Trayektori maju polutan dari Cekungan Bandung yang diemisikan pada siang hari

Jika polutan dapat keluar dari Cekungan Bandung dengan mudah, maka selanjutnya polutan tersebut akan bergerak dalam jarak yang jauh dari sumbernya, yang berarti terjadi fenomena LRTAP. Sebaliknya jika lintasan polutan banyak mengalami pembelokan arah oleh adanya topografi yang tinggi, maka potensi terjadi LRTAP sangat kecil karena umur polutan yang pendek atau terjadi deposisi.

Bentuk topografi Cekungan Bandung dengan dataran tinggi pada bagian tepinya, menjadi penghalang dalam perjalanan polutan dari pusatnya. Beberapa trayektori menunjukkan polutan yang lintasannya terpantulkan oleh dinding topografi pada bagian tepi, menyebabkan konsentrasi polutan di pusat Cekungan Bandung menjadi tinggi. Hal ini serupa dengan simulasi penyebaran polusi udara di antara dua penghalang, yang menunjukkan konsentrasi polutan tinggi di antara dua penghalang.¹¹

Namun, topografi yang tinggi di daerah pinggiran tidak selalu memantulkan polutan yang bergerak di kawasan Cekungan Bandung sebagaimana diduga pada penelitian sebelumnya.⁴ Meskipun polutan bergerak dekat permukaan, lintasan pergerakannya mengikuti kontur topografi sehingga keluar kawasan Cekungan Bandung, tanpa diblokkan arah pergerakannya oleh topografi yang tinggi.

Lintasan polutan dari berbagai titik ada yang membentuk seperti aliran laminar yang mana setiap lintasan polutan bergerak sejajar tidak saling memotong. Lintasan demikian banyak terjadi pada periode DJF dan SON. Hal sebaliknya pada periode MAM dan JJA lintasan polutan menunjukkan adanya turbulensi yang mana setiap lintasan polutan saling memotong.

Berdasar kelompok musiman, periode MAM dan JJA angin dominan bersifat turbulen, terlihat dari trayektori polutan bergerak saling memotong. Ketika kondisi angin turbulen berarti tenaga kinetik turbulensi tinggi, ada banyak olakan (eddy) dalam aliran udara. Tenaga kinetik turbulensi adalah tenaga kinetik dalam pergerakan udara yang berkaitan dengan turbulensi atau olakan. Hal ini menyebabkan polutan lebih mudah tercampur dengan udara ambien di sekitarnya dan akan mempercepat pengenceran konsentrasi polutan dalam udara ambien sehingga potensi untuk terjadi LRTAP lebih kecil.

Kondisi sebaliknya, terlihat bahwa pada periode DJF dan SON yang bertepatan dengan musim hujan dan musim peralihan dari kemarau ke hujan. Pada periode ini angin cenderung bergerak laminar. Berarti energi kinetik turbulensinya rendah, olakan (eddy) dalam aliran udara kecil, sehingga percampuran antara parcel udara berkonsentrasi polutan tinggi dengan udara ambien sulit terjadi, akibatnya potensi terjadinya LRTAP menjadi tinggi. Periode DJF adalah musim hujan, yang mana curah hujan berperan dalam proses pembersihan polutan di atmosfer, baik *washout* maupun *rainout*. *Washout* adalah pembersihan polutan dalam awan, sedangkan *rainout* adalah pembersihan polutan di bawah awan atau yang tersapu oleh air hujan. Oleh karena itu, secara musiman, pada periode SON potensi kejadian LRTAP paling tinggi.

Polutan yang diemisikan pada siang hari, secara vertikal langsung terangkat ke atas, sedangkan polutan yang diemisikan pada malam hari akan tetap mengendap pada permukaan sampai pagi hari dan mulai terangkat ke atas pada siangnya. Tetapi ada juga polutan yang diemisikan pada siang hari tetap bergerak di permukaan, sampai hari berikutnya baru terangkat ke atas. Kondisi ini dapat dijelaskan dengan pendekatan kestabilan atmosfer, *mixing height*, dan *planetary boundary layer* (PBL) yang terjadi pada siang dan malam hari.

Pada malam hari kestabilan atmosfer lebih stabil daripada siang hari, sehingga *mixing height* dan PBL lebih rendah pada malam hari.^{12,13,14} Pada malam hari, menurut kestabilan atmosfer kriteria Pasquill termasuk kelas D dan E yang berarti kondisi sangat stabil sedangkan pada siang hari bisa berpeluang dari A sampai E yang menunjukkan stabilitas atmosfer berpeluang dari paling

stabil sampai paling tidak stabil.¹⁵ Pada malam ketika kondisi kestabilan atmosfer sangat stabil polutan bergerak di permukaan saja, hanya mengalami transport horizontal. Ketika sampai waktu siang hari dengan kondisi kestabilan atmosfer tidak stabil, polutan baru mengalami transportasi secara vertikal.

Peluang inversi yang tinggi di Cekungan Bandung⁴ menyebabkan pada siang hari kestabilan udara sangat tinggi. Kondisi ini menyebabkan polutan mengendap dan hanya menyebar secara horizontal pada permukaan mengikuti bentuk topografi, seperti yang terjadi pada kasus bulan Januari dan November. Pada kasus bulan Januari dan November ini dua kasus menjadikan polutan lebih lama mengendap di permukaan. Penyebaran polusi udara yang demikian tidak menguntungkan bagi lingkungan terutama kesehatan dan kenyamanan karena banyak terhirup manusia.

3. KESIMPULAN

Polutan yang berasal dari Cekungan Bandung berpotensi terjadi LRTAP, meskipun pada waktu tertentu polutan terperangkap beberapa waktu dan mengalami pembelokan arah akibat topografi yang tinggi di tepi Cekungan Bandung, sebelum polutan bertransportasi jauh. Pengendapan polutan di Cekungan Bandung terjadi ketika diemisikan pada malam hari yang disebabkan kondisi atmosfer yang sangat stabil, *mixing height* dan *planetary boundary layer* rendah. Polutan yang diemisikan pada siang hari akan lebih mudah tertransportasi secara vertikal. Secara musiman, pada periode SON potensi kejadian LRTAP dari Cekungan Bandung paling tinggi, karena atmosfer lebih stabil yang mana sifat angin laminar dan curah hujan masih rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada *Air Resources Laboratory*, NOAA yang telah memfasilitasi penggunaan HYSPLIT model secara *on line*, sehingga penulis dapat melakukan *running* HYSPLIT untuk memprediksi trayektori polutan.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Samson, P.J., 1998. Atmospheric Transport and Dispersion of Air Pollutants Associated with Vehicular Emission, dalam Watson AY, Bates RR, Kennedy D (Ed.). *Air Pollution, the Automobile, and Public Health*, National Academies Press
- ²Glossary of Statistical Terms (<https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=1558>, diakses November 2015)
- ³Lin, C.Y., Z. Wang, W. N. Chen, S.Y. Chang, C. C. K. Chou, N. Sugimoto dan X. Zhao, 2007. Long-range transport of Asian dust and air pollutants to Taiwan: observed evidence and model simulation. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 423–434, 2007
- ⁴Sumaryati, 2011. Polusi Udara di Kawasan Cekungan Bandung. *Berita Dirgantara* Vol.12 No.3 Tahun 2011, pp:83-89
- ⁵Sumaryati, 2014. Aplikasi WRPLOT untuk Menggambarkan Concentration Rose sebagai kajian Distribusi PM10 di Cekungan Bandung.. Dalam Chunaeni L. L.S. Suprihatin, Mahmud, S.B. Sipayung, T. Budiwati (Ed.) *Kualitas Udara dan Komposisi Atmosfer Indonesia*, Adira Bandung
- ⁶Yoewono. R., 2008. *Simulasi Dispersi Polutan di Cekungan Bandung Menggunakan Model Meteorologi Skala Meso (MM5) dan Model Kualitas Udara (TAQM)*. Tesis. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan. Bandung : ITB
- ⁷HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>, diakses September 2015).
- ⁸Ashrafi. K., M. Shafiepour-Motlagh, A. Aslemmand, dan S. Ghader, 2014. Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 12:9

- ⁹Stein, A.F., Y. Wang, J. D. Dela Rosa, A. M. Sanchezdela Campa, N. Castell, dan R. R. Draxler, 2011. Modeling PM10 Originating from Dust Intrusions in the Southern Iberian Peninsula Using HYSPLIT, *American Meteorological Society* DOI: 10.1175/WAF-D-10-05044.1
- ¹⁰Global Data Assimilation System (GDAS) (<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-data-assimilation-system-gdas>, diakses November 2015).
- ¹¹Brechler, J. and V. Fuka, 2014. Impact of Noise Barriers on Air-Pollution Dispersion. *Natural Science* 6, 377-386 .<http://dx.doi.org/10.4236/ns.2014.66038>
- ¹²Chou, C.C, C.T. Lee, W.N. Chen, S.Y. Chang, T.K. Chen, C.Y. Lin, J.P. Chen, 2007. Lidar observations of the diurnal variations in the depth of urban mixing layer: a case study on the air quality deterioration in Taipei, Taiwan. *Sci Total Environ*. Mar 1;374(1):156-66. Epub 2007 Jan 31.
- ¹³Essa K.S.M., M. M. Embaby, A. M. Kozae, F. Mubarak, I. Kamel, 2006. *Estimation of Seasonal Atmospheric Stability and Mixing Height by Using Different Schemes Radiation*. Physics & Protection Conference, 13-15 November 2006, Beni Sueif - Fayoum, Egypt
- ¹⁴Zhang Y.H, S.D. Zhang, C.M. Huang, K.M. Huang, Y. Gong, Q. Gan, 2014. Diurnal variations of the planetary boundary layer height estimated from intensive radiosonde observations over Yichang, China. *China Technological Sciences* Volume 57, Issue 11, pp 2172-2176
- ¹⁵Pasquill stability Classes (<https://www.ready.noaa.gov/READYpgclass.php> akses 22 April 2016).