

## Simulasi Penyebaran Abu Vulkanik Gunung Berapi Lokon Menggunakan Metode Lagrangian

Indra Rianto

Universitas Negeri Manado

Email : [indrarianto@unima.ac.id](mailto:indrarianto@unima.ac.id)

### ABSTRAK

Gunung Lokon merupakan gunung berapi di Sulawesi Utara yang pada tahun 2012 mengalami peningkatan aktivitas. Aktivitas gunung Lokon dapat berupa semburan lava, batu, dan abu vulkanik. Abu vulkanik merupakan salah satu aspek yang berbahaya jika terhirup. Dampak yang sering timbul akibat abu vulkanik adalah penyakit gangguan pernapasan seperti Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA). Dengan demikian, perlu adanya simulasi untuk mengetahui wilayah-wilayah yang terkena penyebaran abu vulkanik. Simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan metode Lagrangian. Metode Lagrangian adalah metode untuk menghitung perpindahan partikel. Sehingga partikel di udara berupa abu vulkanik dapat dihitung dan dilihat arah perpindahannya. Dengan menggunakan HYSPLIT yang menerapkan metode Lagrangian maka pergerakan arah abu vulkanik gunung Lokon dapat dilihat. Sehingga peringatan dini dapat dilakukan oleh pemerintah kepada wilayah-wilayah yang akan dilewati oleh abu gunung Lokon.

**Kata kunci : Gunung Lokon, Abu Vulkanik, Lagrangian**

### ABSTRACT

*Mount Lokon is a volcano in North Sulawesi which in 2012 experienced an increase in activity. Lokon Mountain activities can be in the form of bursts of lava, rock and volcanic ash. Volcanic ash is one of the dangerous aspects if inhaled. The impact that often arises due to volcanic ash is respiratory disorders such as Acute Respiratory Infection (ARI). Thus, it is necessary to have a simulation to find out the areas affected by the spread of volcanic ash. Simulation can be done using the Lagrangian method. The Lagrangian method is a method for calculating particle displacement. So that particles in the air in the form of volcanic ash can be counted and seen the direction of displacement. By using HYSPLIT which applies the Lagrangian method, the movement of Lokon volcanic ash can be seen. So that early warning can be done by the government to areas that will be traversed by the Lokon mountain ash.*

**Keywords: Lokon Mountain, Volcanic Ash, Lagrangian**

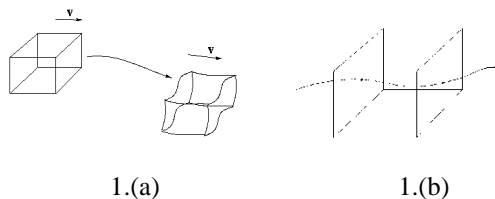
### PENDAHULUAN

Pemukiman di daerah gunung berapi dapat membawa keuntungan dan kerugian. Bagi para petani gunung berapi menyediakan tanah yang subur, selain itu gunung berapi juga menyediakan lahan penambangan batu dan pasir vulkanik, juga kawasan pariwisata. Disamping keuntungan, gunung berapi juga dapat menjadi bahaya bagi masyarakat sekitar, seperti lava panas, batu vulkanik, dan abu vulkanik.

Bahaya yang sering dirasakan di sekitar wilayah gunung berapi adalah semburan abu vulkanik. Abu vulkanik dapat berbahaya bagi manusia dan berpengaruh bagi kesehatan manusia. (Higuchi, Koriyama, & Akiba, 2012), dalam penelitiannya mendapati bahwa masyarakat yang tinggal di sekitar gunung berapi mengalami peningkatan gangguan pernapasan akut termasuk kanker paru-paru akibat abu vulkanik.

Gunung lokon merupakan gunung berapi dalam wilayah Indonesia yang termasuk dalam daftar gunung berapi aktif. Mendekati akhir tahun 2012, gunung lokon menunjukkan peningkatan aktifitas yang cepat. Aktifitas tersebut ditandai dengan meletusnya gunung lokon dengan semburan material pijar dan debu vulkanik (BMKG, 2013). Semburan abu vulkanik gunung berapi lokon mengakibatkan beberapa wilayah di sekitar gunung berapi lokon dihujani abu vulkanik. Dampak dari semburan abu vulkanik gunung berapi lokon dapat menyebabkan penyakit gangguan pernapasan seperti Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA).

Pencegahan yang dapat dilakukan untuk memperkecil dampak semburan abu yaitu dengan melakukan estimasi penyebaran abu vulkanik. Dengan estimasi penyebaran abu vulkanik, peringatan dini dapat diberitahukan bagi masyarakat yang akan terkena penyebaran semburan abu vulkanik gunung lokon. Estimasi penyebaran abu vulkanik dapat dilakukan dengan menggunakan metode numerik. Metode numerik yang dapat dipakai adalah metode Lagrangian (Vitturi, Neri, Ongaro, Savio, & Boschi, 2010) dan Eulerian (Costa, Macedonio, & Folch, 2006) (Gambar 1).



Gambar 1.(a) Konsep Metode Lagrangian, (b) Konsep Metode Eulerian (Hutchinson, 2001)

Metode Lagrangian merupakan metode untuk melihat pergerakan partikel dimana pengamat mengamati partikel bergerak dalam ruang dan waktu.

Memetakan posisi dari pergerakan partikel terhadap waktu dapat memberikan arah pergerakan dari partikel. Metode Eulerian merupakan metode untuk melihat pergerakan partikel yang berfokus dalam lokasi tertentu dimana partikel tersebut akan bergerak terhadap ruang dan waktu. Jadi, metode Lagrangian merupakan metode yang melihat semua arah pergerakan partikel-partikel yang bergerak sedangkan metode Eulerian juga melihat pergerakan partikel tetapi hanya dalam area yang telah ditentukan. Metode Lagrangian dan Eulerian dapat digunakan untuk melihat pergerakan abu vulkanik sehingga dapat dilakukan peringatan dini terhadap masyarakat yang terkena penyebaran abu vulkanik. Maka pencegahan terhadap dampak abu vulkanik terhadap masyarakat yang terkena penyebaran abu vulkanik dapat dilakukan. Penelitian ini menggunakan metode Lagrangian, untuk melihat wilayah-wilayah yang akan terkena abu vulkanik gunung berapi Lokon.

Melihat latar belakang diatas, penelitian ini akan melakukan penelitian menggunakan metode Lagrangian dalam estimasi penyebaran abu vulkanik gunung berapi lokon. Metode Lagrangian dipakai untuk melihat pergerakan abu vulkanik pada wilayah berpenduduk. Penelitian ini diharapkan dapat berguna bagi pemerintah sehingga peringatan awal dapat dilakukan terhadap penduduk yang terkena penyebaran abu vulkanik agar dampak yang timbul akibat abu vulkanik gunung berapi lokon dapat diminimalisir.

## Tinjauan Pustaka

Metode Lagrangian dan metode Eulerian merupakan pendekatan yang berbeda yang digunakan untuk memodelkan penyebaran aliran. Berdasarkan kondisi, jika data yang

digunakan dalam memodelkan penyebaran, metode Eulerian lebih efisien dibandingkan dengan metode Lagrangian. Tetapi jika sudah menggunakan data yang kompleks maka metode Lagrangian dapat memberikan akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode Euler (Klose, et al., 2001). Metode Lagrangian dan metode Eulerian dapat digabung untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, tetapi terkadang metode gabungan tersebut didapati tidak akurat (Mark, Rundqvist, & Edelvik, 2011).

Lagrangian tidak hanya dipakai dalam memodelkan pergerakan fluida, seperti penelitian yang dilakukan oleh Kelager (Kelager, 2006) membuat penelitian menggunakan lagrangian untuk memodelkan aliran fluida secara interaktif, tetapi metode Lagrangian juga dapat memodelkan pergerakan partikel di udara. Misalnya penelitian yang dilakukan untuk melihat dampak dari pergerakan dan transformasi dari stratifikasi ozon yang dipantau dari lapisan troposphere menggunakan metode Lagrangian (Collete, Ancellet, Menut, & Arnold, 2006).

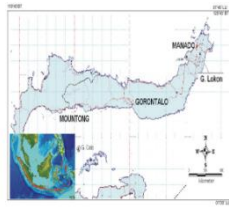
Lagrangian juga dapat digunakan untuk memodelkan pergerakan abu vulkanik gunung berapi. Seperti penelitian yang dilakukan untuk memodelkan penyebaran abu vulkanik dengan menggabungkan banyak metode, yang salah satunya adalah HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)(Morton, Arnold, Webley, Wotawa, & Stunder). Adapun penelitian yang dilakukan untuk memodelkan 3-D abu vulkanik letusan gunung berapi, dengan studi kasus Gunung Shinmoe-dake, Japan. Pemodelan penyebaran abu vulkanik menggunakan metode Lagrangian yang dipakai untuk melihat pergerakan partikel di udara, dalam hal ini adalah abu vulkanik (Suzuki & Koyaguchi, 2013).

## Gunung Lokon

Gunung Lokon berlokasi di Kota Tomohon, Provinsi Sulawesi Utara (Gambar 2.a) dan merupakan salah satu gunung api yang sering meletus. Berdasarkan bentuk morfologinya, puncak Gunung Lokon berdampingan dengan puncak Gunung Empung dengan jarak antara keduanya 2.3 km. Sehingga gunung Lokon dan Gunung Empung merupakan gunung kembar dan sering disebut Kompleks Lokon-Empung (Gambar 2.b). Secara geografis puncak Gunung Lokon terletak pada 1o21.5' Lintang Utara dan 124o47' Bujur Timur dengan ketinggian 1579.5 m dari permukaan laut, sedangkan puncak Gunung Empung pada 1o22' Lintang Utara dan 124o47' Bujur Timur mencapai ketinggian 1340 m dari permukaan laut.

Berdasarkan sejarah, letusan bermula terjadi di Puncak Empung yang berlangsung dari tahun 1350 sampai 1400. Sejak tahun 1829 titik aktivitas berpindah pada pelana antara dua puncak yang dikenal dengan nama Kawah Tompaluan (1o21'52.68" LU dan 124o47'57.58" BT), dan menjadi kawah aktif atau pusat letusan hingga saat ini (Gambar 2.b).

Letusan besar terakhir terjadi dalam bulan Oktober 1991, letusan tersebut disertai dengan awan panas dan berakhir dengan terbentuknya sumbat lava yang diberi nama Sumbat Lava 1991. Dalam kurun waktu antara tahun 2000 sampai dengan 2003 letusan berlangsung secara beruntun hamper setiap tahun. Sumbat Lava 1991 secara bertahap terkikis dan menghasilkan lubang baru di dasar kawah (Wittiri & Haerani, 2010).



2.a



2.b

Gambar 2. (a) Peta Lokasi Gunung Lokon, Sulawesi Utara. (b) Kompleks Gunung Lokon-Empung. Pelana antara kedua puncaknya adalah lokasi kawah aktif, Kawah Tompaluan (Foto: Farid Bina, 2009).

Pada tahun 2007, Gunung Lokon beraktivitas kembali setelah empat tahun beristirahat. Peningkatan aktivitas dapat ditandai dengan peningkatan jumlah gempa vulkanik dan gempa hembusan. Sampai pada awal tahun 2011, jumlah gempa vulkanik yang terjadi antara 100-800 kejadian setiap bulan (Kristianto, et al., 2012).

**Metode Lagrangian**

Metode Lagrangian merupakan metode yang digunakan untuk perpindahan fluida. Sehingga metode lagrangian dapat dituliskan seperti:

$$\frac{d}{dt} \equiv \frac{d}{dt} + V \cdot \nabla \quad \dots(1)$$

dimana  $V \cdot \nabla$  adalah nilai perubahan dari posisi semula.  $V \cdot \nabla$  dapat dijabarkan menjadi:

$$V \cdot \nabla = \left[ \frac{dx}{dt} \right] \left[ \frac{\partial}{\partial x} \right] + \left[ \frac{dy}{dt} \right] \left[ \frac{\partial}{\partial y} \right] + \left[ \frac{dz}{dt} \right] \left[ \frac{\partial}{\partial z} \right] \quad \dots(2)$$

Dari sudut pandang Lagrangian:

$$\frac{d}{dt} \Delta V = -n \frac{1}{\Delta V} \frac{d\Delta V}{dt} \quad \dots(3)$$

Jumlah partikel dalam volume elemen ( $\Delta N$ ) adalah konstan. ( $\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z$ ) sehingga persamaan menjadi:

$$\frac{d}{dt} \Delta V = \frac{d\Delta x}{dt} \Delta y \Delta z + \frac{d\Delta y}{dt} \Delta z \Delta x + \frac{d\Delta z}{dt} \Delta y \Delta x \quad \dots(4)$$

$$= \Delta V \left[ \frac{1}{\Delta x} \frac{d\Delta x}{dt} + \frac{1}{\Delta y} \frac{d\Delta y}{dt} + \frac{1}{\Delta z} \frac{d\Delta z}{dt} \right] \quad \dots(5)$$

Tetapi:

$$\frac{d(\Delta x)}{dt} = v_x \left( \frac{\Delta x}{2} \right) - v_x \left( \frac{-\Delta x}{2} \right) \quad \dots(6)$$

$$\cong \Delta x \frac{\partial v_x}{\partial x} \quad etc. \quad \dots y \quad \dots z \quad \dots(7)$$

Sehingga, persamaan menjadi:

$$\frac{d}{dt} \Delta V = \Delta V \left[ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] = \Delta V \nabla \cdot v \quad \dots(8)$$

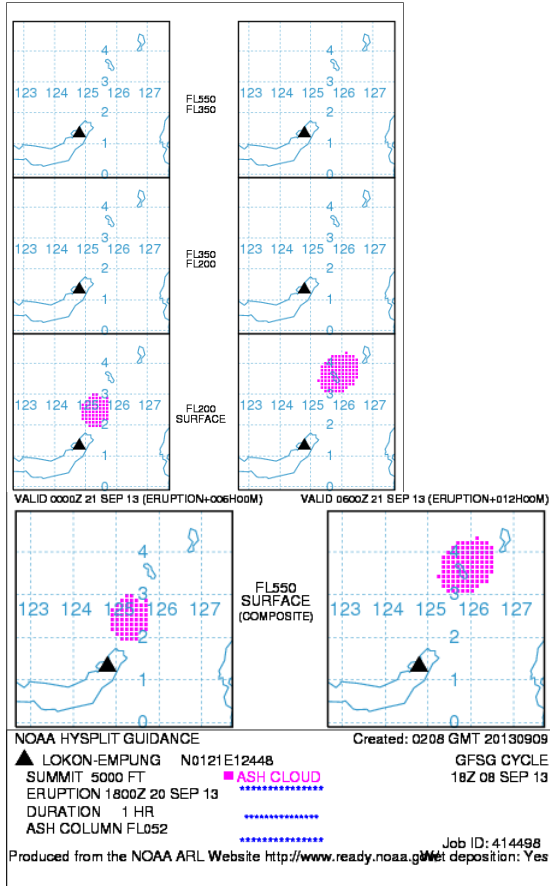
Jadi, persamaan akhir Lagrangian adalah:

$$\frac{d}{dt} n = -n \nabla \cdot v \quad \dots(9)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dengan menggunakan metode Lagrangian, yang dijalankan dengan HYSPLIT maka hasil yang didapat seperti yang ditampilkan pada Gambar 3. Dengan ketinggian letusan gunung berapi setinggi 5000 kaki dengan waktu semburan abu vulkanik selama 1 jam, maka dapat dilihat bahwa abu yang bergerak hanya dalam ketinggian sampai dengan 200 kaki. Waktu penyebaran abu vulkanik selama 12 jam, maka dapat dilihat bahwa pada pada 6 jam pertama maka abu vulkanik terlihat bergerak kearah utara gunung Lokon dan telah berada di atas permukaan laut. Pada 6 jam berikutnya, abu vulkanik telah bergerak lagi kearah utara. Gambar 3 merupakan peramalan abu vulkanik yang terjadi pada saat terjadi letusan jika

perkiraan ketinggian letusan setinggi 5000 kaki.



Gambar 3. Penyebaran Abu Vulkanik Gunung Lokon

## PENUTUP

### Kesimpulan dan Saran

Metode Lagrangian dapat digunakan untuk memprediksi arah dan wilayah yang akan dilewati oleh abu vulkanik akibat letusan gunung Lokon. Dengan demikian, pemerintah setempat dapat memberikan peringatan awal kepada masyarakat yang akan terkena penyebaran abu vulkanik. Sehingga dampak negatif yang ditimbulkan akibat abu vulkanik dapat diminimalisir. Simulasi abu vulkanik yang dihasilkan dari penelitian ini hanya berupa bentuk 2D maka disarankan pada penelitian selanjutnya diharapkan penyebaran abu vulkanik gunung Lokon dapat dilakukan dalam bentuk 3D.

## DAFTAR PUSTAKA

- BMKG. (2013, Agustus 30). Informasi Gunung Api | BMKG. Retrieved from Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika: [http://www.bmkg.go.id/bmkg\\_pusat/klimatologi/Informasi\\_Gunung\\_Api.bmkg](http://www.bmkg.go.id/bmkg_pusat/klimatologi/Informasi_Gunung_Api.bmkg)
- Collete, A., Ancellet, G., Menut, L., & Arnold, S. (2006). A Lagrangian Analysis of the Impact of Transport and Transformation on the Ozone Stratification Observed in the Troposphere during the ESCOMPTE Campaign. *Atmos. Chem. Phys.*, 3487-3503.
- Costa, A., Macedonio, G., & Folch, A. (2006). A Three-dimensional Eulerian Model for Transport and Deposition of Volcanic Ashes. *Earth and Planetary Science Letters* 241, 634-647.
- Higuchi, K., Koriyama, C., & Akiba, S. (2012). Increased Mortality of Respiratory Diseases, Including Lung Cancer, in the Area with Large Amount of Ashfall from Mount Sakurajima Volcano. *Journal of Environmental and Public Health*.
- Hutchinson, I. H. (2001). Chapter 4 Fluid Description of Plasma. Retrieved 9 9, 2013, from Introduction to Plasma Physics: <http://silas.psfc.mit.edu/introplasma/chap4.html>
- Kelager, M. (2006). *Lagrangian Fluid Dynamics Using Smoothed Particle Hydrodynamics*. Denmark: University of Copenhagen.
- Klose, G., Rottenkolber, G., Schmehl, R., Giebert, D., Schafer, O., Koch, R., et

- al. (2001). A Combined Eulerian and Lagrangian Method for Prediction of Evaporating Sprays. 2001 ASME Design Engineering Technical Conferences (pp. 1-10). New Orleans, Louisiana: Proceedings of DETC'01.
- Kristianto, Gunawan, H., Haerani, N., Mulyana, I., Basuki, A., Primulyana, S., et al. (2012). Gejala Awal Letusan Gunung Lokon Februari 2011-Maret 2012. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* , 151-168.
- Mark, A., Rundqvist, R., & Edelvik, F. (2011). Comparison Between Different Immersed Boundary Conditions for Simulation of Complex Fluid Flows. *FDMP* , 7 (3), 241-258.
- Morton, D., Arnold, D., Webley, P., Wotawa, G., & Stunder, B. (n.d.). Unified Model Intercomparisons for Volcanic Ash Transport Modeling. Unpublish Jurnal .
- Suzuki, Y. J., & Koyaguchi, T. (2013). 3D Numerical Simulation of Volcanic Eruption Clouds during the 2011 Shinmoe-dake Eruptions. *Earth Planets Space* , 581-589.
- Vitturi, M. d., Neri, A., Ongaro, T. E., Savio, S. L., & Boschi, E. (2010). Lagrangian Modeling of Large Volcanic Particles: Application to Vulcanian Explosions. *Journal of Geophysical Research* , 115, 1-18.
- Wittiri, S. R., & Haerani, N. (2010). Gempa Mikro sebagai Indikasi Amblesnya Kawah Tompaluan, Gunung Lokon, Sulawesi Utara. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* , 1 (1), 1-10