



dapat diakses melalui:  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo/index>



## Analisis Prekursor Erupsi Gunung Lokon Tanggal 12 September 2014

Dolfie Paulus Pandara<sup>a\*</sup>, Ferdya<sup>a</sup>, Guntur Pasau<sup>a</sup>, Verna Albert Suoth<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi, Manado

### KATA KUNCI

Erupsi Lokon  
 Degassing  
 Gempa Hibrid  
 Gempa LP  
 Prekursor

### ABSTRAK

Dinamika erupsi Gunung Lokon pada tanggal 12 September 2014 sangat menarik untuk dipelajari karena berbeda dengan erupsi-erupsi sebelumnya. Penelitian ini dilakukan untuk menginvestigasi prekursor seismik yang memicu erupsi tersebut. Perangkat lunak Seismovolcanalysis digunakan untuk mengklasifikasi tipe dan jumlah, frekuensi dominan, durasi gempa dan energi dari gempa-gempa selang waktu 1-12 September 2014. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gempa-gempa Hibrid dan LP memainkan peran penting sebagai prekursor erupsi. Peningkatan kejadian Hibrid dan LP diduga terkait dengan peningkatan proses degassing di dalam saluran vulkanik. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menyelidiki mekanisme sumber gempa LP dan gempa Hibrid

### KEYWORDS

Lokon eruption  
 Degassing  
 Hibrid Earthquake  
 LP Earthquake  
 Percursor

### ABSTRACT

It is interesting to study of the dynamics of Lokon volcano eruption on September 12, 2014 because they were different from previous eruptions. This research was conducted to investigate the seismic precursors triggered the eruption. Seismovolcanalysis software was used to classify type and number, dominant frequency, duration and energy of earthquakes between September 1-12, 2014. Result showed the Hybrid and LP events play an important role as a precursor eruption. Increasing Hybrid and LP events allegedly associated with increased degassing process in the conduit. A further study is needed to investigate source mechanism of the LP and Hybrid events.

### TERSEDIA ONLINE

01 Agustus 2020

### Pendahuluan

Gunung Lokon merupakan salah satu gunung api yang paling aktif di Indonesia dengan tipikal erupsi yang unik. Perilaku erupsi tersebut penting dipelajari untuk memperoleh pemahaman komprehensif yang berguna untuk melakukan mitigasi bencana akibat erupsi vulkanik. Berdasarkan analisis mikrostruktur abu letusan, magma lokon bersifat andesit dan vesikular dan berkorelasi dengan letusan eksplosif bertipe vulkanian selama periode erupsi 2012-2013 (Pandara, 2017). Letusan vulkanian pada periode 2012-2013 memiliki fase awal yang sama yaitu bentuk gelombang seismik dengan onset kompresi kecil kemudian berubah tiba-tiba menjadi sangat besar (Yamada et al., 2016). Mekanisme vulkanian tersebut berupa peningkatan tekanan fluida akibat degassing yang diikuti pembentukan sumbat lava

yang ditandai dengan peningkatan gempa vulkanik dangkal, kemudian terjadi dekompresi tekanan yang tiba-tiba di bawah sumbat magma (Kristianto dkk., 2012). Peningkatan gempa-gempa vulkanik menjadi penanda berkaitan dengan letusan eksplosif tipe vulkanian. Setelah letusan vulkanian terakhir pada September 2013, Gunung Lokon kembali erupsi pada 12 September 2014 dengan tinggi kolom erupsi sekitar 500 m (Badan Geologi, 2014). Erupsi tersebut menarik untuk dikaji karena secara visual berbeda dengan erupsi-erupsi sebelumnya. Kajian ini bertujuan untuk menginvestigasi prekursor seismik yang memicu aktivitas erupsi Gunung Lokon pada 12 September 2014.

### Material dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Geofisika Unsrat Manado pada selang Februari-April

2020. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data rekaman seismik Stasiun Empung tanggal 1-12 September 2014 dalam format Seisan yang diperoleh dari KKVO Gunung Lokon Tomohon. Stasiun Empung merupakan stasiun seismik terdekat dengan Kawah Tompaluan yang merupakan kawah aktif Gunung Lokon. Seismometer yang terpasang di Stasiun Empung merupakan seismometer tiga komponen tipe produk Mark L-4C dengan frekuensi alami 1 Hz (Suparman, et al., 2013). Data seismik dalam format seisan dikonversi menjadi format SAC. Data dalam format SAC tersebut kemudian dideteksi, diklasifikasi tipe dan jumlah gempa, dan ditentukan frekuensi dominan, durasi gempa dan energinya menggunakan Seismovolcanalysis (Lesage, 2009). Semua tipe gempa dihitung akumulasi jumlah kejadian dan energinya, sedangkan untuk gempa hibrid dan gempa LP dihitung pula akumulasi durasi kejadian dan variasi temporal dari frekuensi dominannya. Selanjutnya data-data yang telah diolah digrafikkan dan dianalisis tren peningkatan atau anomalinnya secara temporal terhadap waktu yang dikonversi ke hitungan jam. Perhitungan dimulai dari tanggal 1 September 2014 jam 00.00 UTC (waktu universal) sebagai jam ke nol sampai tanggal 12 September 2014 pukul 19.00 UTC sebagai jam ke 284.

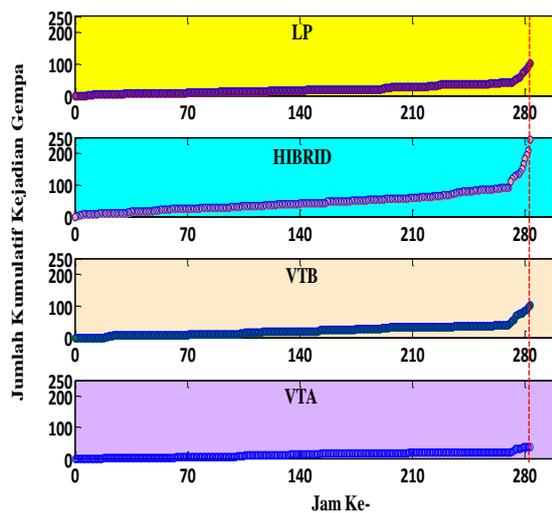
#### Hasil dan Pembahasan

Tipe gempa yang muncul sebelum letusan Gunung Lokon tanggal 12 September 2014 dikualifikasi menjadi 4 tipe gempa yaitu gempa vulkanik dalam (VTA), gempa vulkanik dangkal (VTB), gempa hibrid dan gempa perioda panjang (Long Period: LP) seperti tampak pada Gambar 1. Selang tanggal 1 sampai 12 September 2014 terdapat sebanyak 485 kejadian gempa yang terdiri dari 37 gempa VTA, 103 gempa VTB, 242 gempa hibrid dan 103 gempa LP seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Tipe gempa dan jumlah

Jenis Gempa	Jumlah Kejadian
VTA	37
VTB	103
Hibrid	242
LP	103

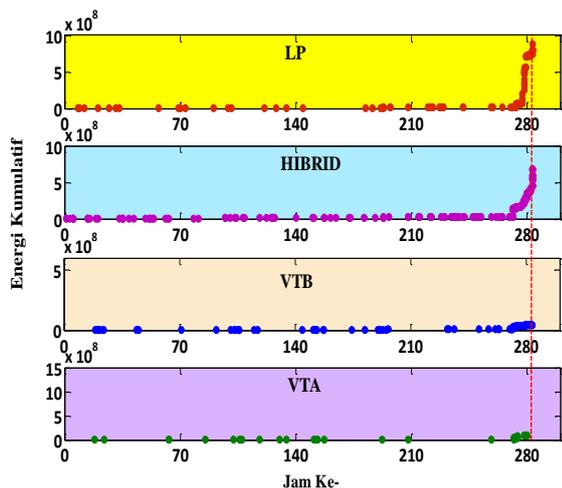
Berdasarkan data jumlah kumulatif kejadian gempa, laju seismisitas hampir konstan pada selang 1-12 September 2012 (Gambar 1). Sampai tanggal 11 September 2012 (jam ke 263) jumlah gempa perhari di bawah 10 kejadian yang merupakan aktivitas normal bagi Gunung Lokon. Gempa Hibrid meningkat secara signifikan dari 8 kejadian perhari pada tanggal 9 September 2014 (jam ke 193) menjadi 16 kejadian perhari pada tanggal 10 September 2014 (jam ke 239) sedangkan gempa VTA dan VTB tidak meningkat. Peningkatan signifikan jumlah gempa terjadi dari jam ke 270 atau mulai pukul 05.31 UTC pada tanggal 12 September 2014 terutama gempa Hibrid yang meningkat sebesar 19 kejadian perhari tersebut. Jumlah gempa Hibrid sangat mendominasi pertambahan akumulasi gempa menjelang erupsi.



Gambar 1. Jumlah akumulatif kejadian gempa selang 1 September (Jam ke 0) sampai 12 September 2014 (Jam ke 284)

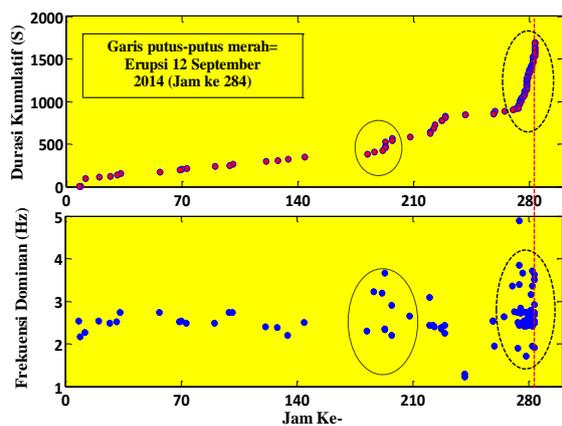
Secara umum, energi seismik selang tanggal 1-12 September 2014 cukup rendah (Gambar 2). Energi seismik meningkat secara signifikan mulai jam ke 270 atau pukul 05.31 UTC tanggal 9 September 2014. Peningkatan energi tersebut dikontribusi oleh peningkatan jumlah gempa Hibrid dan LP. Data akumulasi energi menunjukkan bahwa energi gempa Hibrid dan LP meningkat cukup tajam mulai jam ke 270, sedangkan akumulasi energi gempa VTA dan VTB cenderung linier.

Besar energi kumulatif dari gempa LP lebih besar dibanding energi gempa Hibrid walaupun jumlah akumulatif gempa LP lebih kecil dibanding gempa Hibrid. Perbedaan jumlah akumulatif energi tersebut berkaitan dengan perbedaan aktivitas fisis dari kedua tipe gempa. Berdasarkan data akumulasi jumlah kejadian dan energi, gempa Hibrid dan LP sangat dominan berasosiasi dengan peningkatan aktivitas vulkanik Gunung Lokon 14 jam menjelang erupsi. Peranan gempa Hibrid dan LP perlu dikaji lebih lanjut dengan menganalisis durasi kumulatif dan variasi temporal dari frekuensi dominannya. Gempa LP merupakan gempa-gempa frekuensi rendah yang sebagian besar terletak dekat dengan permukaan dan berkaitan dengan fluktuasi tekanan yang dihasilkan dari transportasi massal yang tidak stabil di sistem pemipaan gunung berapi (Shapiro et al., 2017). Gempa-gempa tersebut erat kaitannya dengan aliran fluida akibat tekanan tinggi pada kedalaman yang sangat dangkal di bawah kawah aktif (Haerani dkk., 2010).



Gambar 2. Jumlah akumulatif energi gempa selang 1-12 September 2012

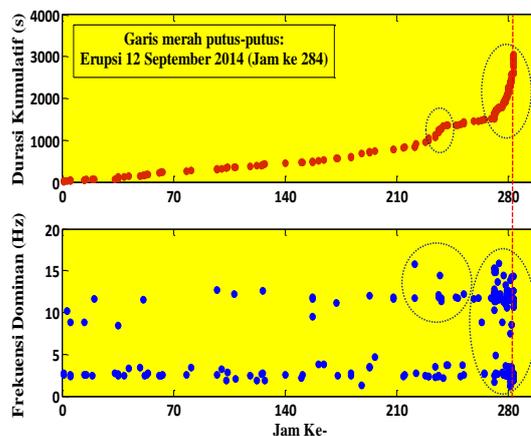
Perilaku gempa LP ditunjukkan pada Gambar 3. Data tersebut menunjukkan adanya peningkatan durasi gempa LP pada jam ke 192 atau sekitar pukul 23.00 UTC tanggal 8 September 2014 yang ditunjukkan dengan kurva elips putus-putus. Peningkatan tersebut terkonfirmasi pada berubahnya variasi frekuensi dominan dari frekuensi antara 2-3 Hz menjadi kelompok frekuensi 2-3 Hz pada jam ke 192 dan kelompok 1,8-4 Hz pada jam ke 270. Peningkatan gempa LP berkorelasi dengan peningkatan *degassing* atau lepasnya uap air (*steam*) akibat tekanan yang tinggi di sekitar kawah (Haerani dkk., 2010). Menjelang erupsi pada 12 September 2014, akumulasi gas semakin meningkat dan debit gas membesar menuju permukaan ventilasi gunung dengan semakin dominannya kelompok gempa LP yang berfrekuensi rendah sekitar 1,8-4 Hz dan dengan semakin besar durasi kumulatif gempa. Gempa-gempa LP tersebut secara fisis merupakan hembusan-hembusan gas energi tinggi yang siap keluar dari cerobong gunung. Tipikal gempa LP tersebut dinamakan secara lokal sebagai gempa Hembusan (Haerani dkk., 2010).



Gambar 3. Variasi temporal durasi kumulatif dan frekuensi dominan gempa LP selang 1-12 September 2014

Perilaku gempa Hibrid diperlihatkan pada Gambar 4. Data durasi kumulatif menunjukkan munculnya banyak kejadian pada jam ke 240 atau sekitar pukul 00.31 UTC tanggal 11 September 2014 dan terus bertambah secara signifikan terutama mulai jam ke 270 yang ditandai dengan kurva elips putus-putus. Meningkatnya durasi kumulatif gempa Hibrid pada jam ke 240 terlihat didahului oleh peningkatan durasi kumulatif gempa LP pada jam ke 192. Gempa hibrid merupakan kombinasi karakteristik sinyal dan frekuensi antara gempa LP dan gempa VTB. Gempa Hibrid mempunyai frekuensi dominan yang terdiri dari dua bagian yaitu bagian frekuensi rendah dan bagian frekuensi tinggi. Mendekati waktu erupsi, durasi dan frekuensi kejadian meningkat dan menunjukkan bertambahnya aliran fluida atau terobosan gas menuju bagian atas ven yang menyebabkan getaran karena terjadinya rekahan batuan yang dapat diisi gas (Shakirova dan Firstov, 2019) atau terjadi amblasan material di bawah kawah (Wittiri dan Haerani, 2010). Semakin mendekati jam letusan, semakin lama durasi gempa Hibrid yang berarti semakin banyak kuantitas gas yang mengalir mendekati bagian atas konduit gunung. Semakin mendekati jam letusan semakin banyak kemunculan gempa Hibrid dengan frekuensi yang lebih tinggi yang berarti semakin tertekannya area batuan atau terjadi rekahan batuan atau amblasnya material pada daerah sekitar permukaan konduit akibat interaksi dengan gas yang bertekanan tinggi dan temperatur tinggi.

Pada periode erupsi tahun 2011-2013, letusan dengan energi besar diawali dengan meningkatnya jumlah kejadian dan energi gempa vulkanik (VTA dan VTB) sehari atau beberapa jam sebelum erupsi (Suparman dkk., 2013). Peningkatan gempa-gempa vulkanik baik jumlah maupun energi berkaitan dengan tekanan gas yang merekahkan batuan penutup ven dan menghasilkan letusan besar dengan kolom erupsi berwarna abu-abu pekat berketinggian 1500-5000 m (Kristianto dkk., 2012).



Gambar 4. Variasi temporal durasi kumulatif dan frekuensi dominan gempa Hibrid selang 1-12 September 2014

Perilaku erupsi Gunung Lokon selang 1-12 September 2014 secara seismik berbeda dengan tipikal erupsi pada periode sebelumnya. Bukan gempa-gempa vulkanik yang dominan tetapi gempa-gempa Hibrid dan LP yang sangat berperan baik dari segi jumlah dan energi dalam peningkatan aktivitas vulkanik 14 jam menjelang erupsi. Peningkatan seismisitas tersebut berasosiasi dengan suatu letusan yang lemah. Peningkatan sistematis gempa LP sebelum letusan dapat memberikan bukti adanya pra-erupsi dari kantung magma dangkal yang terkoneksi dengan kantung magma dalam serta dapat digunakan sebagai prekursor awal erupsi (Shapiro et al., 2017).

Erupsi tanggal 12 September 2014 pukul 19.00 UTC merupakan letusan kecil dengan tinggi kolom erupsi sekitar 500 m dan warna kolom erupsi berwarna putih tebal serta diinvestigasi bertipe freatik (Badan Geologi, 2014). Erupsi freatik merupakan erupsi yang disebabkan oleh adanya interaksi kantung magma dangkal dengan suatu lapisan air di bawah kawah. Kantung magma dangkal diduga berada pada kedalaman sekitar 1200 m di bawah kawah (Suparman, 2010). Sampai Juni 2014, aktivitas gempa-gempa vulkanik dominan dimulai pada kedalaman 3000 m sampai ke daerah permukaan di bawah kawah yang berkaitan dengan erupsi magmatik (Anthe dkk., 2015). Sedangkan, erupsi 12 September 2014 berasosiasi dengan kantung magma dangkal hal ini tampak pada distribusi hiposenter gempa-gempa vulkanik yang banyak berada pada kedalaman yang cukup dangkal yaitu sekitar 1000-1500 m di bawah kawah (Badan Geologi, 2014). Peningkatan gempa LP pada jam ke 192 diduga berkaitan dengan interaksi magma pada kantung dangkal dengan lapisan air di atasnya. Interaksi tersebut menyebabkan terjadinya degassing yang terus meningkat dan sebagian mengikis material atau menerobos rekahan membuat terjadinya getaran sebagai gempa Hibrid yang makin lama makin intens

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis di atas dapat disimpulkan bahwa gempa Hibrid dan LP mempunyai peran yang sangat penting sebagai prekursor berkaitan dengan erupsi tanggal 12 September 2014 pukul 19.00 UTC. Peningkatan gempa-gempa LP berkaitan dengan peningkatan proses degassing di dalam saluran vulkanik. Akumulasi gas yang meningkat di dalam konduit berkontribusi terhadap terjadinya erupsi. Peningkatan gempa-gempa Hibrid mengindikasikan adanya rekahan atau retakan batuan/tanah di bawah permukaan akibat aktivitas gas. Meskipun demikian, peran dari gempa-gempa Hibrid dan LP perlu diinvestigasi lebih lanjut terutama berkaitan dengan mekanisme sumber dari proses terjadinya gempa-gempa tersebut sehingga dapat disimpulkan secara lebih akurat tipikal erupsi.

### Daftar Pustaka

Anthe, A., Pasau G., Tanauma A. 2015. Variasi zona lemah struktur internal gunung Lokon

berdasarkan studi seismo-vulkanik. *Jurnal Ilmiah Sains* 15 (2015) :27-32.

- Badan Geologi. 2014. Evaluasi Kegiatan G. Lokon Pada Tingkat Aktivitas Siaga (level III) Hingga Tanggal 14 September 2014. PVMBG, Bandung.
- Haerani, N., Gunawan H., Kristianto, Kushendratno, dan Wittiri S.R. 2010. Studi terpadu seismik dan deformasi di Gunung Lokon, Sulawesi Utara. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 1 (2010): 151 - 164
- Kristianto, Gunawan H., Haerani N., Mulyana I., Basuki A., Primulyana S., dan Bina F. U. 2012. Gejala awal letusan Gunung Lokon Februari 2011 - Maret 2012. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 3 (2012): 151 – 168.
- Lesage, P. 2009. Interactive Matlab software for the analysis of seismic volcanic signals. *Computers & Geosciences* 35 (2009): 2137–2144
- Pandara, D. P. 2017. Analisis Tipikal Erupsi Gunung Lokon Periode Erupsi 2012-2013 Berdasarkan Karakterisasi Mikrostruktur Abu Vulkanik. *Jurnal MIPA Unsrat online* 6(2017): 36-41.
- Shakirova, A., and P. Firstov. 2019. Observation of the seismic mode «drumbeats» on volcanoes of the world and Kizimen volcano (Russia). *E3S Web of Conferences* 127, 0 (2019):1-6.
- Shapiro, N.M., Droznin D.V, Droznina S.Y, Senyukov S.L, Gusev A.A. and Gordeev E.I. 2017. Deep and shallow long-period volcanic seismicity linked by fluid-pressure transfer. *Nature Geoscience* 10(2017): 442-445.
- Suparman, Y., 2010. Comparison of Focal Mechanisms of Volcano-Tectonic Earthquakes Between Active and Normal Periods at Lokon Volcano, North Sulawesi, Indonesia. *Jurnal Gununggapi dan Mitigasi Bencana Geologi* 2 (2010):74-77
- Suparman, Y., Saing U.B. dan Zaennudin A. 2013. Erupsi Gunung Lokon berdasarkan kegempaan, deformasi, dan geokimia pada Januari 2013. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 4 (2013): 199 – 217
- Wittiri, S.R. dan Haerani N. 2010. Gempa mikro sebagai indikasi amblesnya Kawah Tompaluan, Gunung Lokon, Sulawesi Utara. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 1 (2010): 1 – 10
- Yamada, T., Aoyama H., Nishimura T., Yakiwara H., Nakamichi H, Oikawa J., Iguchi M., Hendrasto M., and Suparman Y. 2016. Initial phases of explosion earthquakes accompanying Vulcanian eruptions at Lokon-Empung volcano, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 327: 310-321