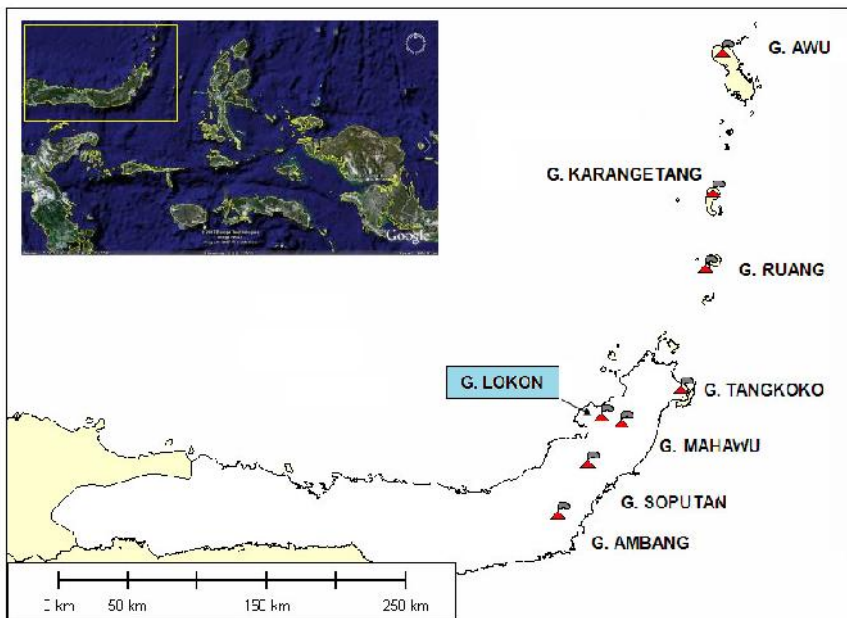


II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Objek Penelitian

Berdasarkan bentuk morfologinya, puncak Gunung Lokon berdampingan dengan puncak Gunung Empung dengan jarak antara keduanya 2,3 km, sehingga merupakan gunung kembar, oleh karena itu sering disebut Kompleks Lokon-Empung. Secara geografis puncak Gunung Lokon terletak pada $1^{\circ}21,5'$ LU dan $124^{\circ}47'$ BT dengan ketinggian 1579,5 m dpl, sedangkan puncak Gunung Empung pada $1^{\circ}22'$ LU dan $124^{\circ}47'$ BT mencapai ketinggian 1340 m dpl (Kusumadinata, 1979).



. **Gambar 1** Peta lokasi Gunung Lokon, Sulawesi Utara (Kristianto dkk, 2012)

Berdasarkan sejarah kegiatannya, letusan semula berpusat di puncak Empung yang berlangsung dalam tahun 1350 dan 1400. Sejak tahun 1829 titik kegiatannya pindah ke pelana antara dua puncak yang dikenal dengan Kawah Tompaluan dan menjadi kawah aktif hingga saat ini. Secara geografi Kawah Tompaluan berada pada posisi $1^{\circ}21'52,68''$ LU dan $124^{\circ}47'57,58''$ BT (Kusumadinata, 1979).

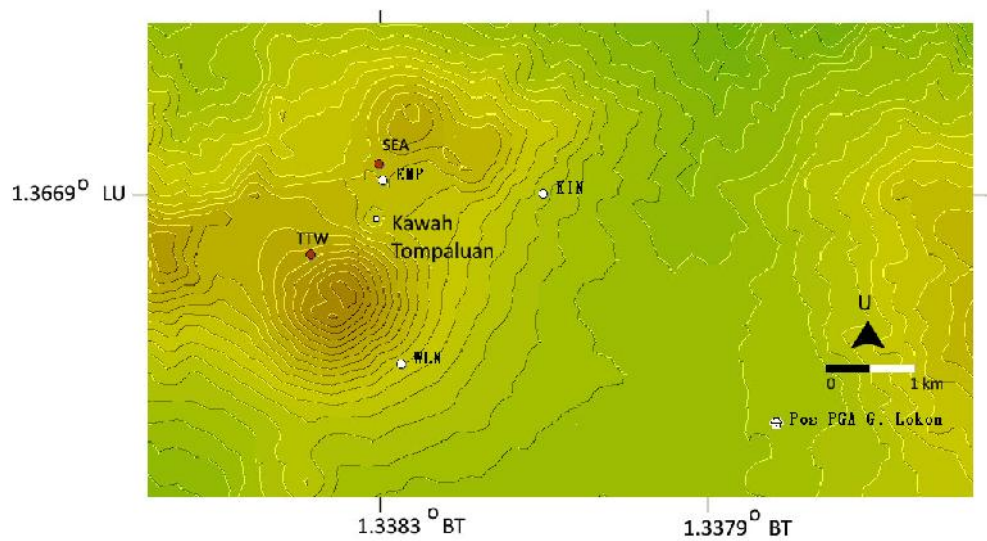


Gambar 2. Kompleks Gunung Lokon – Empung. Pelana antar kedua puncaknya adalah lokasi kawah aktif, Kawah Tompaluan (Foto: Farid Bina 2009) (Haerani dkk, 2010).

Pemantauan kegempaan Gunung Lokon menggunakan 5 stasiun seismik (Tabel 2.1) yang terdiri dari stasiun Empung (EMP), Sea (SEA), Kinilow (KIN), Tatawiran (TTW), dan Wailan (WLN). Data gempa analog ditransmisikan dengan gelombang radio dari setiap stasiun seismik di lapangan menuju Pos PGA Lokon. Data diakuisisi dan menjadi data digital dengan sistem *earthworm* dan *argalite* serta disimpan dalam format *seisan* dan *win*.

Tabel 1 Kordinat stasiun seismik Gunung Lokon (Kristianto dkk, 2010)

| Nama Stasiun | Lintang Utara | Bujur Timur | Ketinggian (m dpl) |
|-----------------|---------------|----------------|--------------------|
| Empung (EMP) | 1°22'5.28" | 124°48'0.9" | 1143 |
| Kinilow (KIN) | 1°22'0.6" | 124°48'59.4" | 914 |
| Wailan (WLN) | 1°20' 58.3" | 124° 48' 8" | 1024 |
| Tatawiran (TTW) | 1°21' 39.9" | 124° 47' 37.5" | 1365 |
| Sea (SEA) | 1°22' 12.5" | 124° 47' 59.2" | 1162 |

**Gambar 3.** Peta lokasi stasiun seismik Gunung Lokon (Kristianto dkk, 2010)

2.2 Geomorfologi

Geomorfologi kompleks Lokon Empung dibagi menjadi empat satuan, yaitu Satuan geomorfologi kerucut, kawah, punggung rendah dan bergelombang serta geomorfologi daratan.

Satuan geomorfologi Kerucut menempati daerah sekitar tubuh Gunung Lokon dan Gunung Empung. Gunung Lokon mempunyai puncak yang datar tanpa kawah dengan kemiringan antara 30° - 70° . Sedangkan Gunung Empung mempunyai dua buah kerucut terpancung, yaitu Empung Muda di bagian barat dan Empung Tua di bagian timur, yang masing-masing mempunyai kawah di puncaknya. Pola aliran sungainya adalah radial dengan lembah berbentuk “V”, dengan tebing yang relatif curam. Vegetasi penutupnya berupa alang-alang yang cukup tebal.

Satuan geomorfologi kawah terdapat di Kawah Tompaluan dan Kawah Empung. Kawah Tompaluan merupakan kawah paling aktif saat ini yang terbentuk sekitar tahun 1828, sedangkan Kawah Empung tidak aktif lagi.

Satuan geomorfologi perbukitan rendah dan bergelombang menempati sebagian besar lereng kompleks Lokon – Empung, merupakan morfologi yang membentuk punggung yang landai serta bergelombang, sudut lerengnya $<30^{\circ}$. Batuan pembentuknya berupa piroklastik dan lava. Sebagian besar daerah ini dimanfaatkan sebagai lahan pertanian.

Satuan geomorfologi dataran menempati sepanjang pantai bagian Utara, sekitar daerah Malalyang dan dataran tinggi Kakaskasen pada elevasi lebih kurang 800 m. Umumnya digunakan sebagai daerah persawahan dan perkebunan kelapa.

2.3 Struktur Geologi

Berdasarkan penafsiran potret udara dan hasil pengamatan di lapangan, struktur geologi yang berkembang di daerah kompleks Gunung Lokon-Empung dipisahkan menjadi struktur sesar dan struktur kawah.

Ada dua struktur sesar, yaitu Sesar Tatawiran dan Sesar Kinilow. Ciri-ciri adanya sesar yang dapat dijumpai di lapangan adalah adanya kelurusan-kelurusan pada tebing sepanjang lembah yang dilalui oleh sesar, kemudian adanya kelurusan sungai serta terdapatnya mataair panas.

Magma yang cair dan kental serta lebih ringan daripada batuan sekitarnya cenderung terdorong ke atas dan merupakan kisah awal terbentuknya gunungapi. Oleh karena itu, magma yang naik secara tegak akhirnya cenderung mengikuti bidang lemah tersebut. Itu salah satu sebab tanah Minahasa banyak dijumpai kerucut gunungapi.

Pada skala yang lebih sempit dengan melihat strukturnya secara lokal, kompleks Lokon – Empung berbatasan dengan Gunung Tatawiran di sebelah barat dan

Gunung Mahawu di sebelah timur. Disisi timur Tatawiran dan di sisi barat Mahawu terbentuk sesar yang menyebabkan depresi dan terbentuk struktur graben. Pada jalur sesar tersebut merupakan bidang lemah yang arahnya utara ke selatan dan membelah Lokon – Empung sekaligus merupakan cikal bakal Gunung Lokon – Empung saat ini (Mulyadi, dkk, 1990).

2.4. Stratigrafi

Batuan tertua yang mendasari seluruh satuan batuan di Kompleks Lokon – Empung adalah Vulkanik Tondano (To.V), tersingkap di selatan Gunung Lokon, berupa klastika gunungapi kasar, terutama bersifat andesitik, yang dicirikan oleh banyaknya batu apung, tufa, tufa lapili dan breksi ignimbrit sangat padat. Satuan ini diperkirakan sebagai hasil letusan hebat yang terjadi pada saat pembentukan Kaldera Tondano atau pada saat Orogenesa Plio-Pleistosen.

Sebagai akibat adanya orogenesis tersebut, di daerah Minahasa banyak terbentuk struktur dan zona lemah. Pada awal Kuartar di daerah zona lemah inilah bermunculan sumber-sumber erupsi, diantaranya Gunung Tatawiran dan Gunung Mahawu yang masing-masing menghasilkan satuan batuan Vulkanik Tatawiran (Ta.V), sebagian besar berupa lava dan satuan Vulkanik Mahawu (M.V), juga umumnya berupa lava andesitik.

Pada sisi Timur Gunung Tatawiran dan sisi Barat Gunung Mahawu terjadi sesar normal yang berarah Utara-Selatan. Akibat sesar ini di antara kedua gunung tersebut terjadi penurunan/depresi yang membentuk struktur graben. Pada zona lemah inilah kemudian muncul titik-titik erupsi baru yang membentuk kompleks Lokon-Empung.

Fase pertama adalah erupsi pembentukan Bukit Pineleng, menghasilkan batuan Lava Pineleng (Pi.1) dan dilanjutkan dengan erupsi fase kedua yang membentuk Bukit Punuk, menghasilkan Lava Punuk 1 (P.11) dan Lava Punuk 2 (P.12). Lava tersebut umumnya bersifat andesitik dengan piroksen sebagai masa dasar.

Fase ketiga adalah erupsi pembentukan Gunung Empung, yang umumnya menghasilkan lava. Satuan batuan ini sebagian tersebar ke arah Timur-Timurlaut. Satuan batuan tersebut dikelompokkan menjadi satuan Lava Empung Tua 1 (ET.11), Lava Empung Tua 2 (ET.12), Lava Empung Tua 3 (ET.13), Lava Empung Tua 4 (ET.14), Lava Empung Tua 5 (ET.15), umumnya bersifat andesitik-andesitik basaltik.

Fase keempat pembentukan Gunung Lokon. Pada fase ini terjadi perselingan antara erupsi efusif yang menghasilkan satuan batuan lava dan erupsi eksplosif yang menghasilkan endapan satuan batuan aliran piroklastik dan jatuhan yang penyebarannya sebagian besar ke arah Timur sampai Selatan. Secara berurutan satuan batuan ini terdiri dari satuan batuan Lava Lokon 1 (L.11), Lava Lokon 2 (L.12), Aliran Piroklastik Lokon 1 (L.ap1), Lava Lokon 3 (L.13), Aliran

Piroklastik Lokon 2 (L.ap2), Lava Lokon 4 (L.l4), Aliran Piroklastik Lokon 3 (L.ap3), Lava Lokon 5 (L.l5), Lava Lokon 6 (L.l6) dan Jatuhan Piroklastik Lokon (L.jp). Satuan batuan Lava Lokon umumnya bersifat andesitik basaltik.

Fase kelima pusat kegiatan kembali lagi ke Gunung Empung, secara berurutan menghasilkan satuan batuan Lava Empung 1 (E.l1), Lava Empung 2 (E.l2), Lava Empung 3 (E.l3), Lava Empung 4 (E.l4), Lava Empung 5 (E.l5), Lava Empung 6 (E.l6) dan diakhiri dengan erupsi yang menghasilkan endapan Jatuhan Piroklastik Empung (E.jp), penyebarannya hanya di sekitar puncak.

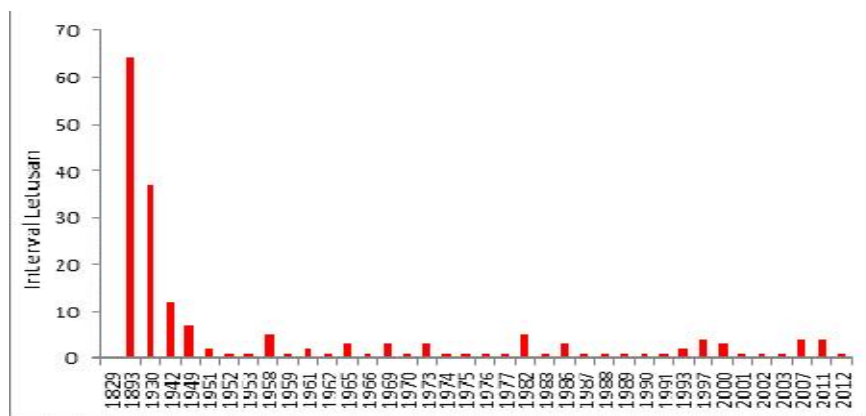
Fase keenam terjadi pada tahun 1829 berupa letusan samping (*flank eruption*) Gunung Lokon dan mengambil tempat pada sadel di antara Gunung Lokon dan Gunung Empung. Pusat erupsi tersebut kini dikenal sebagai Kawah Tompaluan. Fase ini merupakan fase terakhir dan masih berlangsung hingga sekarang. Satuan batuan yang dihasilkan terdiri dari satuan Aliran Piroklastik Tompaluan (T.ap) dan Jatuhan Piroklastik (T.jp). Letusan besar terakhir terjadi pada tahun 1991, menghasilkan endapan aliran piroklastik (awan panas) yang mengalir ke arah Lembah Pasahapen dan jatuhan piroklastik berupa bom, lapili dan abu.

2.5. Aktivitas Vulkanik Dan Karakter Letusan

Gunungapi Lokon merupakan *city volcano*, yaitu gunungapi yang terletak pada daerah dengan populasi penduduk yang padat, sehingga mempunyai risiko tinggi

terhadap bahaya letusan gunungapi. Selain itu ditinjau dari frekuensi kejadian letusan, Gunung Lokon termasuk gunungapi dengan frekuensi kejadian erupsi tinggi.

Dalam abad ke 14 pusat letusan kompleks Gunung Lokon – Empung berada di puncak Gunung Empung. Sejak 1829 titik letusan bergeser ke arah selatan, yaitu di pelana antara puncak Gunung Lokon dan puncak Gunung Empung yang dikenal dengan Kawah Tompaluan. Interval letusan yang pendek antara 1 – 8 tahun, sedangkan interval letusan yang panjang sekitar 64 tahun. Karakter letusan umumnya berupa letusan freatik – freatomagmatik, terkadang diakhiri dengan letusan magmatik. Pada tahun 1991 terjadi letusan magmatik disertai dengan awan panas yang mencapai jarak luncur sekitar 1,5 km yang mengalir ke lembah Pasahapen. Setelah mengalami masa istirahat selama empat tahun aktivitas Gunung Lokon kembali meningkat. Berawal dengan letusan freatik pada 22 Februari 2011, dan mencapai puncak pada Juli 2011. Karakter letusan pada periode ini masih sama dengan sebelumnya, yaitu letusan freatik – freatomagmatik

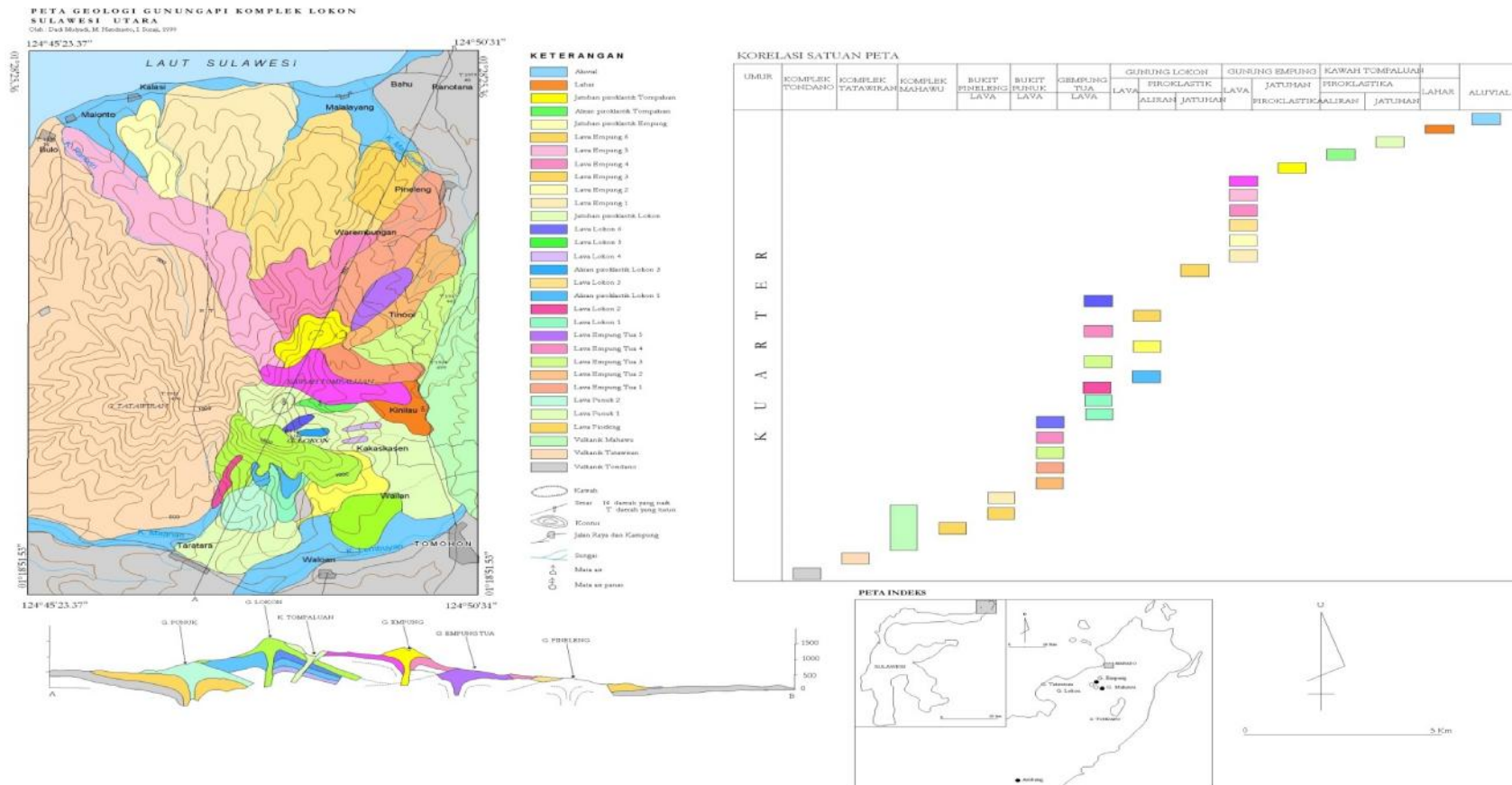


Gambar 4 Interval waktu letusan Gunung Lokon (Kristianto, dkk., 2012).

Tabel 2 Sejarah erupsi Gunung Lokon (Data dasar gunungapi Indonesia, 2011)

| Tahun | Kegiatan |
|-----------------------|---|
| 1829 | Maret, letusan uap di pelana G. Lokon-G.Empung |
| 1893 | 29 Maret, lontaran batu dan bom vulkanik selama beberapa bulan |
| 1930 | Agustus, jenis kegiatan tidak diketahui |
| 1942, 1949, 1951-1953 | Letusan abu |
| 1958-1959 | Letusan abu yang diselingi oleh lontaran batu |
| 1961 | Letusan abu |
| 1962, 1965, 1966 | Kenaikan kegiatan (tidak diikuti letusan) |
| 1969 | 27 November, letusan abu dan awan panas ke arah Kawah Pasahapen |
| 1970 | April – Desember, letusan abu |
| 1973 | September, peningkatan kegiatan. |
| 1974 | 28 Januari, letusan abu |
| 1975 | Pembentukan sumbat lava |
| 1976 | 2 Januari, letusan, penghancuran sumbat lava |
| 1977 | Maret – September, letusan abu disertai material pijar |
| 1982 – 1983 | Peningkatan kegiatan, hembusan asap kuat dari Kawah Tompaluan |
| 1986 | Letusan abu dan freatik, lahar masuk ke Kawah Pasahapen. |
| 1987 – 1990 | Letusan abu |

| | |
|------|--|
| 1991 | Letusan abu dan aliran awan panas, diikuti pembentukan sumbat lava |
| 1993 | Peningkatan kegiatan |
| 1997 | Letusan freatik, membentuk lubang di dasar Kawah Tompaluan |
| 2000 | 7 Juli, terbentuk lubang baru didasar kawah dengan diameter 7 m, memancarkan sinar api |
| 2001 | Januari – Mei, letusan abu disertai lontaran material pijar |
| 2002 | Februari, April, Desember: letusan abu disertai lontaran material pijar yang jatuh kembali di sekitar kawah. |
| 2003 | Februari – Maret, letusan abu disertai lontaran material |
| 2007 | Desember, peningkatan kegiatan, jumlah gempa vulkanik meningkat disertai munculnya tremor status SIAGA |



Gambar 5. Peta Geologi Gunungapi Lokon (Mulyadi, D., dkk, 1990)