

**KARAKTERISASI GEOKIMIA MAJOR ELEMENT & TRACE ELEMENT ABU
VULKANIK GUNUNG API GAMALAMA DAN GUNUNG API SINABUNG****Fadilla Anjasmara^{1*}, Agus Didit Haryanto¹, Johannes Hutabarat¹, Sofyan Primulyana²**¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung²Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung*Korespondensi : fadilla14001@mail.unpad.ac.id**ABSTRAK**

Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng dunia menciptakan dinamika geologi yang unik dan salah satunya adalah aktivitas vulkanik. Seperti dua Gunungapi Tipe A yang aktif yakni Gunungapi Gamalama di Ternate, dan Gunungapi Sinabung di Sumatera Utara. Erupsi gunung api adalah fenomena keluarnya magma dari dalam bumi. Erupsi dapat dibedakan menjadi erupsi letusan dan erupsi efusif. Jenis erupsi yang terjadi ditentukan oleh banyak hal seperti kekentalan magma, kandungan gas di dalam magma, dan kedalaman dapur magma. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan komposisi kimia abu vulkanik dari hasil erupsi kedua gunungapi tersebut, serta mengetahui hubungan abu vulkanik terhadap magma. Identifikasi ini diharapkan dapat menambah data geokimia abu vulkanik gunung api. Abu vulkanik dianalisis dengan metode analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF). Unsur utama dan unsur jejak komposisi abu vulkanik dapat diketahui dengan uji analisis XRF yang dari itu dapat menentukan komposisi kimia dari magma gunungapi tersebut karena kandungan unsur utama dan unsur jejak dapat digunakan untuk analisis batuan. Dari hasil analisis didapatkan bahwa batuan pada Gunung api Sinabung berupa Andesit berafinitas kalk-alkali tinggi dan batuan Gunung api Gamalama berupa Basaltic andesit dengan afinitas kalk-alkali sedang, kedua produk erupsi gunung api ini berasal dari magma lempeng benua atau *continent* yang bersifat asam, yang merupakan hasil dari subduksi antar lempeng benua dan lempeng samudera.

Keywords : Abu, Gunungapi, Major element, Trace element, X Ray Fluorescence**ABSTRACT**

Indonesia is located in three collision of the plate that created geologically dynamic and one of that is volcanic activity. As like two volcano type A, Sinabung Volcano in North Sumatera and Gamalama Volcano in Ternate island. Eruption of volcano is the phenomenon of magma discharge from inside the earth. Eruption can be divided to explosive eruption and effusive eruption. Type of the eruption determined by many things such as magma viscosity, gas content, and the depth of magma chamber. This research attempts to knowing the different composition chemically of the ash against magma. This identification expected to increase the data of geochemical volcanology. Ash investigation used XRF methods, that can describe composition of the ash from the major element and trace element to rock analysis. The results of this research is the rock of two volcano is Andesit with high K-alkali of magma for Sinabung Volcano, while Gamalama Volcano rock name is Basaltic andesit with medium K-alkali. This two sample ash is derived from continental plate that have characteristic high acid than the product of the oceanic plate that basalt magma.

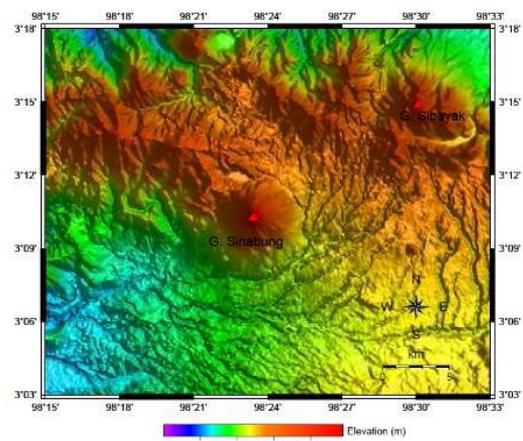
Keywords: Ash, Major element, Trace element, Magma, X Ray Fluorescence, Volcano

PENDAHULUAN

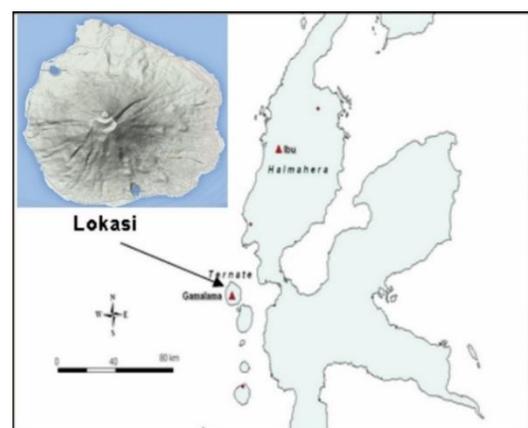
Gunung api Indonesia terbentang dari Pulau Sumatera, menyusuri Pulau Jawa kemudian menyebrang ke Bali, Nusa Tenggara hingga bagian Timur Maluku dan berbelok ke Utara Pulau Sulawesi. Bila digambarkan seolah-olah melingkari Kepulauan Indonesia. Itulah sebabnya sering kali disebut dengan Lingkaran Api (*The Ring of Fire*) Indonesia atau jalur tektonik Indonesia. Salah satu fenomena gunung api yaitu erupsi, erupsi gunung api adalah fenomena keluarnya magma dari dalam bumi. Erupsi dapat dibedakan menjadi erupsi letusan (*explosive eruption*) dan erupsi efusif (*effusive eruption*). Jenis erupsi yang terjadi ditentukan oleh banyak hal seperti kekentalan magma, kandungan gas di dalam magma, pengaruh air tanah, dan kedalaman dapur magma (*magma chamber*). Pada penelitian ini membahas mengenai karakteristik komposisi kimia dari abu vulkanik hasil erupsi Gunungapi Gamalama dan Gunung api Sinabung. Gunung api Gamalama merupakan gunungapi aktif yang terletak di Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. G. Gamalama merupakan gunung api berjenis stratovolcano dengan ketinggian puncak mencapai 1715 meter dan berada pada zona penunjamaan celah Sangir – Halmahera. Wilayah tektonik ini merupakan zona penunjamaan yang cukup aktif. Gunung Sinabung berada di Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara. Sebelum tahun 2010, data tentang G. Sinabung sangat terbatas, tidak adanya informasi terkait erupsi sejak 1600 tetapi semenjak tahun 1912 aktivitas vulkanik Gunung api Sinabung sangat aktif dan ber-erupsi yang menyebabkan G. Sinabung dikategorikan gunungapi tipe A, berita berkala vulkanologi (Santosa, 1992). Hasil survey pemantauan kedua gunung

api tersebut dilakukan oleh PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi) di Gunung api Sinabung pada bulan agustus tahun 2016 dan di Gunung api Gamalama pada bulan Agustus 2013, diambil berupa sampel abu vulkanik pada saat erupsi.

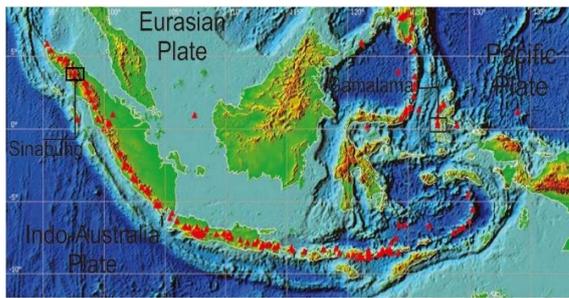
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan kandungan dan komposisi kimia *major element* dan *trace element* dari hasil erupsi gunung api yang berupa abu vulkanik di kedua gunungapi ini.



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian (Gunungapi Sinabung)



Gambar 2. Lokasi Daerah Penelitian (Gunungapi Gamalama)



Gambar 3. Peta Tektonik Lempeng dan Sebaran Gunung api Indonesia

TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Regional

Secara stratigrafi regional Gunungapi Sinabung termasuk kedalam Peta Geologi Medan. Lembar peta geologi ini telah dipetakan oleh N.R Cameron, dkk pada tahun 1982, (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi), Gunungapi Sinabung tersusun oleh aliran lava andesitis sampai dasitis. Berdasarkan penarikan umur radiometric menunjukkan bahwa umur batuan Gunungapi Sinabung pada umumnya berumur Holosen. Sabuk gunung api di Pulau Sumatera merupakan akibat dari tunjaman lempeng India-Australia yang menyusup kedalam lempeng Eurasia. Arah pergerakan lempeng Samudra tersebut tidak tegak lurus terhadap sumbu Pulau Sumatera, sehingga menyebabkan suatu patahan besar yang melintang sepanjang Pulau Sumatera. Pergerakan sesar besar ini bertipe mengangan atau *dextral fault movement*. Patahan besar ini mempunyai zona-zona sesar yang lebar antara lain di Kotabuluhpar (Depresi Alas-Renun) di sebelah tenggara Kotacane Sumatera Utara yang berjarak kurang lebih 25 km dari Gunungapi Sinabung kearah baratdaya dan zona sesar yang sejajar dengan yang pertama di sebelah timurlaut melalui Gunung Batang Serangan terus ke tenggara melalui Sungai Bohorok dan Sungai Wampu di

sebelah baratlaut daerah Gunungapi Sibayak (Katili, et,al 1987).

Geologi Regional Gunung api Gamalama, secara geologi pulau Ternate merupakan salah satu dari deretan pulau yang memiliki gunung berapi, dari barisan garis : "strato vulkano active at south pacific" yang melintang di kawasan Asia timur ke Asia tenggara, dari utara ke selatan. Dan salah satu yang masih aktif di kepulauan Maluku Utara adalah gunung "Gamalama" yaitu di pulau Ternate dengan ketinggian 1.715 m. Lava Gunungapi Gamalama pada umumnya berjenis basaltis andesit (Mawardi, 1991).

Abu Vulkanik

Menurut (Fisher dan Schimnke, 1984) Abu vulkanik merupakan leburan bagian dalam gunungapi yang terdiri dari batu-batu yang hancur, mineral dan kaca vulkanik yang dikeluarkan pada saat letusan gunungapi. Berdiameter kurang dari 2 mm (0,079 inci). Abu vulkanik sering digunakan untuk merujuk kepada semua produk letusan eksplosif (seharusnya sebagai tephra), walaupun partikel ukurannya lebih besar dari 2 mm. Abu Vulkanik terbentuk selama letusan gunung berapi ledakan ketika gas-gas terlarut dalam magma berekspansi dan meluncur dengan kencang ke atmosfer. Kekuatan gas yang meluncur ini menghancurkan magma dan mendorongnya ke luar di mana magma akan mengeras menjadi fragmen-fragmen batuan vulkanik dan kaca. Jenis-jenis mineral yang hadir dalam abu vulkanik tergantung pada kandungan kimia magma dari mana itu meletus, dengan mempertimbangkan bahwa unsur yang paling berlimpah ditemukan dalam magma adalah silika (SiO₂) dan oksigen, berbagai jenis magma yang dihasilkan selama

gunungapi erupsi yang paling sering dijelaskan yaitu dengan parameter kandungan silikanya.

Geokimia Petrogenesis

Menurut (Rollinson, 1993), kandungan abu vulkanik terdiri dari unsur utama (major element) dan unsur jejak (trace element). Major element, yang dimana sebagai element yang dominan pada umumnya lebih dari 1%, berada pada kandungan abu vulkanik dapat dijadikan untuk menganalisis batuan, karena terdapat unsur Si, Ti, Al, Fe, Ca, Na, K, dan P, dan kehadiran konsentrasinya dikeluarkan sebagai berat per sen (wt%) dari Oksida. Trace element didefinisikan sebagai element yang kehadirannya kurang dari 0,1% dan konsentrasinya dinyatakan bagian dari jutaan (ppm) dari element.

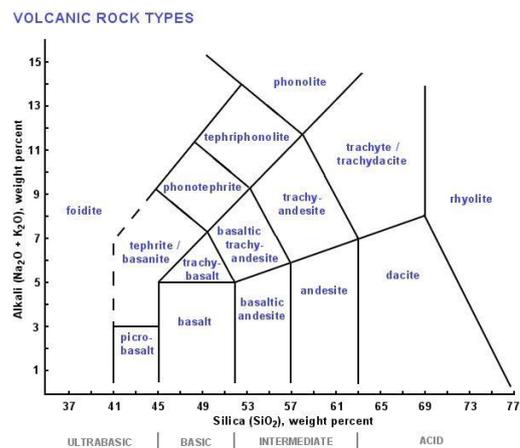
Pada unsur kimia batuan terbagi menjadi tiga, yaitu ; 1. Unsur utama : SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, FeO, dan Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, dan zat volatile (LOI). 2. Unsur minor dan jejak : Ba, Zr, Rb, Sr, Cr, Ni, REE (La sampai Lu) Nb, Ta, U, Th, Li dan lain-lain. 3. Isotop : O¹⁸, Nd (144 dan 143), U/Pb, K/Ar, Sr (87 dan 86, C¹⁴), dan lain-lain. Unsur utama dapat dipakai untuk menentukan deret magmatis (*magmatis series*), sedangkan unsur jejak dan isotop dapat dipakai untuk indikator petrogenesis yang lebih rinci lagi.

METODE PENELITIAN

Klasifikasi Batuan menurut Wilson (1989)

Dalam penelitian ini digunakan diagram TAS (Total Alkali Silica) untuk batuan menurut Wilson, (1989). Sebelum melakukan plotting data dari hasil analisis kimia pada diagram TAS,

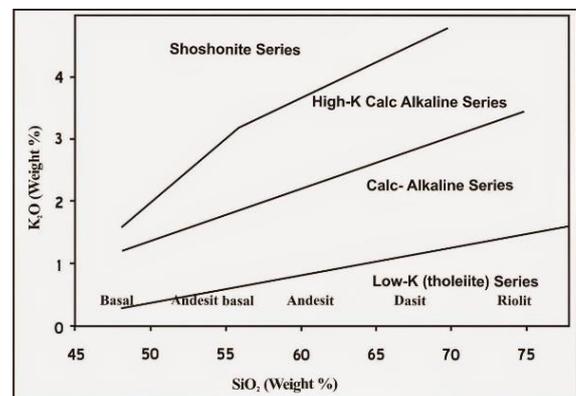
hasil analisis persen kimia harus dihitung dulu menjadi 100% tanpa H₂O dan CO₂. Berdasarkan kandungan silikanya, maka kelompok batuan beku dibedakan menjadi ultrabasa, basa, intermediet, dan asam. Sedangkan berdasarkan kandungan alkali-nya dibedakan menjadi 12 macam, dan diagram ini juga membagi antara batuan alkali dan sub-alkali.



Gambar 4. Diagram Total Alkali Silica (Wilson,1989)

Pembagian Jenis Magma

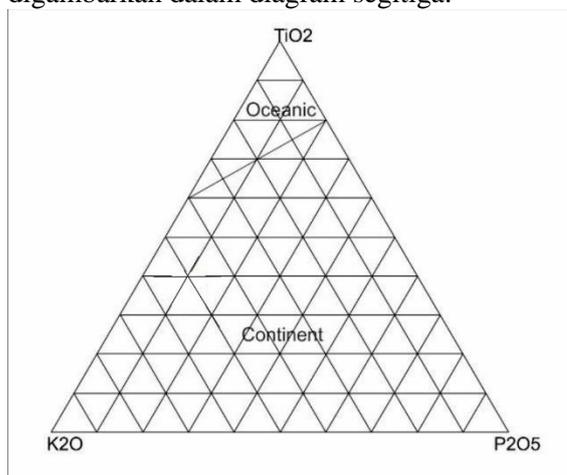
Peccerilo dan Taylor (1976) mengelompokkan jenis magma berdasarkan kandungan kalium atau potassium (K₂O) dan silika (SiO₂) pada (Gambar 5). Dimana pembagiannya menjadi empat series magma, yaitu Shoshonitic series, High-K Calc-Alkaline series, Calc-Alkaline series, dan Tholeiitic Series.



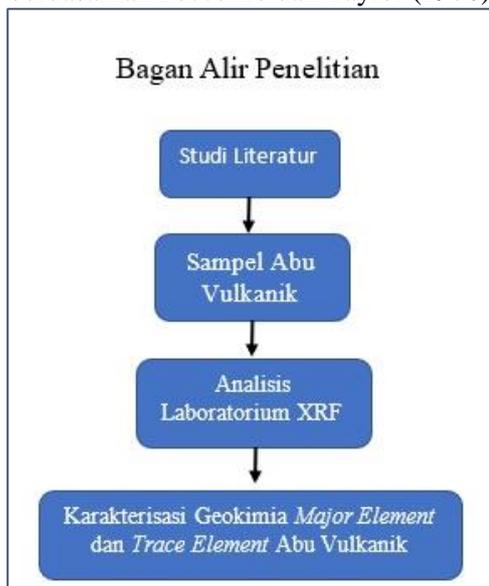
Gambar 5. Klasifikasi jenis magma berdasarkan Peccerillo dan Taylor (1976)

Penentuan Asal Magma

Sifat suatu magma menggambarkan magma tersebut berasal. Sifat tersebut dapat dibagi menjadi dua berdasarkan asal batuan yang berinteraksi dengan magma, yaitu kontinen atau samudera. Pearce (1977) menentukan asal suatu magma dari kandungan K_2O , TiO_2 , dan P_2O_5 yang digambarkan dalam diagram segitiga.



Gambar 6. Diagram Asal Magma berdasarkan Peccerillo dan Taylor (1976)



Gambar 7. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geokimia Unsur Utama dan Unsur Jejak Abu Vulkanik

Hasil analisis geokimia unsur utama (*major element*) dari daerah penelitian disajikan pada (Tabel 1) untuk sampel abu Gunung api Sinabung dan Tabel 4.2 untuk sampel abu Gunung api Gamalama. Untuk dilakukan plotting dan pemodelan dari data tersebut, unsur utama dinormalisasi ke 100% berat anhydrous, yakni dengan mengeliminasi unsur hilang bakar (yang hanya berkisar antara 0,03-2,09% berat), sehingga masih dapat dikategorikan sebagai sampel yang segar, dan FeO sebagai FeO total (FeO*). Untuk mengetahui komposisi dan gambaran evolusi magma dan differensiasi geokimia dari batuanannya akan ditelusuri dengan bantuan diagram variasi dengan menggunakan SiO_2 sebagai parameter differensiasinya. Dari hasil penentuan komposisi kimia dapat diketahui bahwa abu Gunungapi Sinabung mengandung unsur-unsur utama (yang berkadar tinggi) silika, aluminium, besi, natrium, magnesium, mangan, dan fosfor. Dan sebagaimana diketahui bahwa sampel abu vulkanik yang merupakan half rock yang disampel dapat mewakili jenis batuanannya misalnya (basalt, andesit, atau rhyolite) yang diinterpretasi dari komposisi dan nilai kandungan kimianya.

Tabel 1. Komposisi Kimia Unsur Utama Gunung Api Sinabung

Compound	m/m%
SiO_2	63.66
Al	14.83
CaO	6.46
Fe_2O_3	5.22
Na_2O	2.70
K_2O	2.80
MgO	1.59
TiO_2	0.333
SO_3	0.392
P_2O_5	0.163
Cl	0.129
MnO	0.106
BaO	0.0505
SrO	0.0263
V_2O_5	0.0128
Rb_2O	0.0105

La ₂ O ₃	0.0065
ZnO	0.0043
Y ₂ O ₃	0.0036
Ga ₂ O ₃	0.0020
LOI	1.29
Total	100.000

Berdasarkan data, dapat diketahui dari hasil analisis X-Ray Fluorescence, didapatkan data komposisi kandungan abu vulkanik seperti senyawa dan elemen seperti, SiO₂, CaO, Na₂O dan senyawa lainnya yang dapat terdeterminasi oleh alat XRF. Komponen unsur mayor berupa SiO₂ 63.66%, Al₂O₃ 14.83% dan CaO 6.46% dan unsur jejak nya berupa SrO 0,0263%, BaO 0,0505%, dan Rb₂O 0,0105%. Dan kandungan zat volatile (LOI) sebesar 1,29% yang menandakan bahwa sampel dalam keadaan segar tidak lapuk dan dapat menjadi acuan untuk petrogenesa. Keberadaan kandungan TiO₂ kurang dari 2% menggambarkan penciri daerah subduction zone.

Komposisi kimia abu vulkanik Gunung api Gamalama, hasil penentuan kandungan unsur mayor, unsur minor, dan unsur jejak abu Gunung api Gamalama disajikan dalam (Tabel 2) Untuk mengetahui jenis batuan yang dimuntahkan oleh Gunung api Gamalama sebagai abu, dalam tabel tersebut juga akan disajikan komposisi kimia dari beberapa jenis batuan yang sudah diketahui (Tabel 4.3)

Tabel 2. Komposisi Kimia Unsur Utama Gunung Api Gamalama

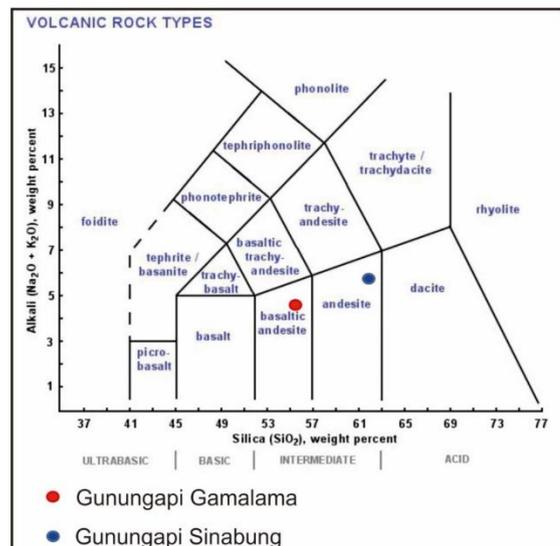
Compound	m/m%
SiO ₂	55.82
Al ₂ O ₃	14.96
Fe ₂ O ₃	10.70
CaO	7.97
Na ₂ O	2.24
MgO	2.450
SO ₃	1.91
K ₂ O	1.50
TiO ₂	0.652
P ₂ O ₅	0.227
Cl	0.129

MnO	0.106
BaO	0.0505
SrO	0.0263
V ₂ O ₅	0.0128
Rb ₂ O	0.0105
La ₂ O ₃	0.0065
ZnO	0.0043
Y ₂ O ₃	0.0036
Ga ₂ O ₃	0.0020
LOI	1.48
Total	100.000

Klasifikasi Batuan menurut Wilson (1989)

Tabel 3. Nilai Kandungan Silika dan Alkali

Nama Sampel	SiO ₂ (wt%)	Alkali (K ₂ O + Na ₂ O)		
		K ₂ O (wt%)	Na ₂ O (wt%)	(K ₂ O + Na ₂ O) (wt%)
Gunung Gamalama	55.82	1.50	2.24	3.74
Gunungapi Sinabung	63.66	2.80	2.70	5.51



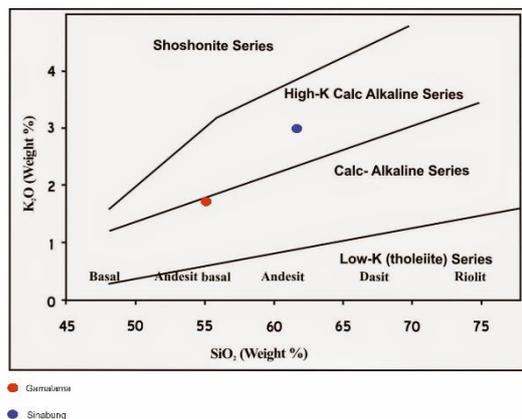
Gambar 8. Plotting Sampel Pada Diagram TAS (Wilson, 1989).

Berdasarkan klasifikasi batuan menurut Wilson (1989), nama batuan berdasarkan nilai dari kandungan SiO₂ dan Alkali (K₂O + Na₂O) adalah Basaltic andesit untuk Gunungapi Gamalama dan Andesit untuk nama batuan Gunungapi Sinabung. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh tingginya kandungan SiO₂ (63,66 wt%) yang dimiliki oleh abu vulkanik dari Gunung api Sinabung sedangkan kandungan SiO₂ abu vulkanik Gunung api Gamalama yakni (55,82 wt%).

Pembagian Jenis Magma

Tabel 4. Nilai Kandungan SiO₂ dan K₂O

Nama Sampel	SiO ₂ %	K ₂ O%
G.Sinabung	63,66	2,80
G. Gamalama	55,82	1,50



Gambar 9. Plotting Jenis Magma menurut Peccerillo dan Taylor (1976)

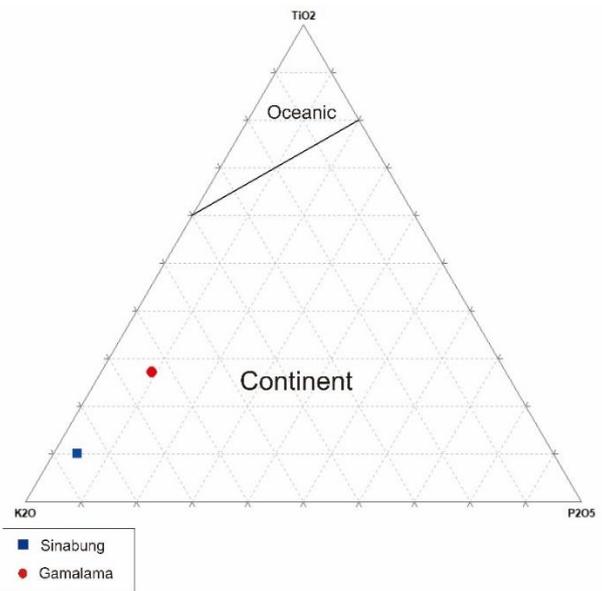
Berdasarkan *plotting* nilai kandungan K₂O terhadap SiO₂ pada (Gambar 4.9 diagram klasifikasi dan tata nama menurut Peccerillo dan Taylor (1976), batuan dari daerah penelitian terbagi menjadi 2 jenis magma. Pada sampel abu vulkanik Gunung api Gamalama didapatkan batuan Andesit basal berafinitas kalk-alkali sedang (medium-K), sedangkan pada sampel abu vulkanik Gunung api Sinabung didapatkan Andesit yang berafinitas kalk-alkali tinggi (high-K).

Penentuan Asal Magma

Menurut Peccerillo dan Taylor (1976), membagi asal magma menjadi dua, yaitu magma yang berasal dari lempeng samudra dan lempeng benua, berdasarkan kandungan kimianya. Klasifikasi ini menggunakan nilai kandungan TiO₂, K₂O, dan P₂O₅.

Tabel 5. Nilai Kandungan TiO₂, K₂O, dan P₂O₅

Nama	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅	Asal
Contoh	%	%	%	Magma
Sinabung	10,10	84,95	4,95	Benua
Gamalama	27,40	63,05	9,54	Benua



Gambar 10. Plotting Penentuan Asal Magma (Peccerillo, dan Taylor, 1976)

Dari hasil plotting diagram penentuan asal magma menurut Peccerillo dan Taylor, (1976) berdasarkan kandungan TiO₂, K₂O, dan P₂O₅ yang mendapatkan hasil plotting berupa kedua sampel abu vulkanik G. Sinabung dan G. Gamalama berasal dari lempeng benua atau continent yang memiliki sifat magma lebih asam dibandingkan dengan produk hasil dari lempeng samudra yang pada umumnya

terbentuk dari pemekaran lantai Samudera / Mid Oceanic Rigde (MOR) yang pada umumnya memiliki sifat lebih basa.

KESIMPULAN

Berdasarkan data, dapat diketahui kesimpulan dari hasil analisis X-Ray Fluorescence, didapatkan data komposisi kandungan abu vulkanik seperti senyawa dan elemen seperti, SiO₂, CaO, Na₂O dan senyawa lainnya yang dapat terdeterminasi oleh alat XRF. Komponen unsur mayor berupa SiO₂ 63.66%, Al₂O₃ 14.83% dan CaO 6.46% dan unsur jejak nya berupa SrO 0,0263%, BaO 0,0505%, dan Rb₂O 0,0105%. Dan kandungan zat volatile (LOI) sebesar 1,29% yang menandakan bahwa sampel dalam keadaan segar tidak lapuk dan dapat menjadi acuan untuk petrogenesa.

Berdasarkan klasifikasi batuan menurut Wilson (1989), nama batuan berdasarkan nilai dari kandungan SiO₂ dan Alkali (K₂O + Na₂O) adalah Basaltic andesit untuk Gunungapi Gamalama dan Andesit untuk nama batuan Gunungapi Sinabung. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh tingginya kandungan SiO₂ (63,66 wt%) dan Alkali (14,83 wt%) yang dimiliki oleh abu vulkanik dari Gunung api Sinabung sedangkan kandungan SiO₂ abu vulkanik Gunung api Gamalama yakni (55,82 wt%).

Berdasarkan *plotting* nilai kandungan K₂O terhadap SiO₂ pada (Gambar 4.9 diagram klasifikasi dan tata nama menurut Peccerillo dan Taylor (1976), batuan dari daerah penelitian terbagi menjadi 2 jenis magma. Pada sampel abu vulkanik Gunung api Gamalama didapatkan batuan Andesit basal berafinitas kalk-alkali sedang (medium-K), sedangkan pada sampel abu vulkanik Gunung api Sinabung didapatkan Andesit yang berafinitas kalk-alkali tinggi (high-K).

Dari hasil *plotting* diagram penentuan asal magma menurut Peccerillo dan Taylor, (1976) berdasarkan kandungan TiO₂, K₂O, dan P₂O₅ yang mendapatkan hasil *plotting* berupa kedua sampel abu vulkanik G. Sinabung dan G. Gamalama berasal dari lempeng benua atau continent

yang memiliki sifat magma lebih asam dibandingkan dengan produk hasil dari lempeng samudra yang pada umumnya terbentuk dari pemekaran lantai samudera / *Mid Oceanic Rigde* (MOR) yang pada umumnya memiliki sifat lebih basa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan terselesaikannya artikel ilmiah ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada Badan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana (PVMBG) yang telah mengizinkan penulis mendapatkan sampel untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurahman., Priatna. 2013. Hidup di Atas Tiga Lempeng. Badan Geologi KESDM.
- Fisher, V.R., Schmincke, H.U., 1984. Pyroclastic Rocks. Springer-Verlag, University of California.
- Hutabarat, Johannes., 2006. Interpretasi Geokimia Unsur Utama dan Jejak Kompleks Vulkanik Gunung Pongkor Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Bulletin of Scientific Contribution, Vol 4, Nomor 1
- Hutabarat, Johannes., 2007. Studi Geokimia Batuan Vulkanik Primer Kompleks Gunung Singa – Gunung Hulu Lisung, Bogor, Jawa Barat. Bulletin of Scientific Contribution. Vol 5, No 3.
- Loeqman, Agoes, dan Tim Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi., Laporan Penelitian I Gunungapi Gamalama Ternate-Maluku Utara., 2013. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Nakagawa., Ohba Tsukasa. 2002. Mineral in Volcanic Ash : Primary Minerals and Volcanic Glass. Hokkaido University.
- Rollinson, R.H., 1993. Using Geochemical Data : Evaluation, Presentasition, Interpretation.
- Soviati, E.A., Syafril Idrem., Patonah Aton., 2017. Petrogenesis Batuan Andesit

- Bukit Cangkring, Daerah Jelekong, Baleendah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Padjajaran Geoscience Journal*.
- Tim Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi., Laporan Penelitian Gunungapi Sinabung Sumatera Utara., 2016. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Timothy, Kusky., 2008., *Volcanoes Eruptions and Other Volcanic Hazards. The Hazardous, Facts On File*, New York.
- Wittiri, S.R., 2014. *Mengenal Gunung Api Indonesia*. Badan Geologi KESDM.
- Wilson, T.M.; Stewart, C. (2012). "Volcanic Ash". In P, Bobrowsky. *Encyclopaedia of Natural Hazards*. Springer. p. 1000.