

# Sebaran dan Karakteristik Material Vulkanik Hasil Erupsi Gunung Sinabung di Sumatera Utara

*Distribution and Characteristics of Volcanic Material from Mount Sinabung Eruption in North Sumatra*

Sukarman\* dan Suparto

Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114

---

## INFORMASI ARTIKEL

---

### Riwayat artikel:

Diterima: 15 Juli 2014

Direview: 4 Agustus 2014

Disetujui: 26 Maret 2015

---

### Katakunci:

Abu vulkanik

Erupsi

Gunung Sinabung

### Keywords:

Volcanic Ash

Eruption

Sinabung

**Abstrak.** Erupsi Gunung Sinabung tahun 2010 sampai 2014 sangat banyak merusak tanaman dan lahan pertanian di daerah tersebut, dengan kerusakan bervariasi dari ringan sampai sangat berat, sebagian besar disebabkan karena lahan dan tanaman tersapu awan panas dan tertutup lahar dan abu vulkanik. Tulisan ini bertujuan untuk mendelineasi sebaran dan ketebalan abu vulkanik serta mengidentifikasi karakteristik kimia-fisik dan mineralogi dari material hasil erupsi Gunung Sinabung serta dampaknya terhadap lahan pertanian. Informasi ini sangat berguna untuk perencanaan rehabilitasi dan pemulihan lahan di kawasan bencana Gunung Sinabung. Ketebalan abu vulkanik dapat dikelaskan menjadi tipis (ketebalan < 2 cm), sedang (ketebalan 2- 5 cm), dan tebal (> 5-10 cm). Sedangkan lahar yang menutupi areal pertanian bervariasi dari tebal sampai sangat tebal yaitu berkisar antara 1-10 m. Lahan pertanian yang tertutup abu vulkanik tipis, sedang, dan tebal masing-masing seluas 8.170, 4.421, dan 1.107 ha, sedangkan lahan pertanian yang tertutup lahar seluas 777 ha. Abu vulkanik yang menutupi lahan pertanian dan tergolong tipis (< 2 cm) bersifat rapuh bila kering, lembab, maupun basah. Sedangkan tutupan abu yang tergolong sedang sampai tebal umumnya mempunyai sifat fisik keras bila kering, tetapi rapuh jika lembab atau basah. Hasil analisis fisik menunjukkan bahwa tekstur bahan abu vulkanik dan lahar yaitu lempung sampai lempung berpasir, tetapi tekstur lahar lebih kasar daripada tekstur abu vulkanik. Abu vulkanik mempunyai cadangan mineral mudah lapuk cukup tinggi (60-66%) yang terdiri atas gelas vulkanik, hornblenda hijau, augit, hiperstein, labradorit, dan bitownit. Bahan vulkanik tersebut merupakan cadangan hara yang cukup tinggi dan jika melapuk akan menjadi sumber unsur hara esensial terutama Ca, Mg, K, Na, P, S, Fe, dan Mn. Kandungan unsur hara makro yang terlihat cukup tinggi adalah fosfat ( $P_2O_5$ ) dan kalium ( $K_2O$ ), dengan retensi fosfat yang tergolong sangat rendah. Kandungan logam berat Pb, Cd, As, Ag, dan Ni tergolong rendah (tidak terdeteksi) sehingga tidak membahayakan tanaman maupun manusia. Meskipun telah menutupi dan merusak lahan pertanian di sekitarnya, material erupsi Gunung Sinabung akan memperkaya dan meningkatkan kesuburan alami tanah di masa depan.

---

**Abstract.** Sinabung eruption in 2010 until 2014 had caused so much damages on crops and agricultural lands in the area. The damages, varying from mild to very severe levels, largely due to the lands and crops were swept out by hot clouds and covered with lahar and volcanic ash. This paper aims to delineate the distribution and thickness of volcanic ash and identify the chemical-physical and mineralogical characteristics of the eruption material and its impact on agricultural land. This information is very useful for planning rehabilitation and restoration of the lands in the disaster area of Mount Sinabung eruption. Thicknesses of the volcanic ash can be classified into thin (<2 cm), medium (2- 5 cm), and thick (> 5-10 cm). While the lahar covering agricultural areas varies from thick to very thick with the thickness of 1-10 m. Areas of agricultural land covered with thin, medium, and thick volcanic ash are 8,170; 4,421; and 1,107 ha, respectively, while the land covered with lahar is about 777 ha. The relatively thin (<2 cm thick) volcanic ash covering farmland is brittle when dry, moist, or wet. While the ash covering the lands in relatively medium to deep thicknesses is generally hard when dry, but brittle if damp or wet. Physical analysis results indicate that the texture of volcanic ash and lahar material is loam to sandy loam, but lahar texture is coarser than volcanic ash. Volcanic ash contains quite high (60-66%) in easily weathered mineral consisting of volcanic glass, green hornblende, augit, hiperstein, labradorit, and bitownit. The volcanic material reserves a fairly high nutrient elements and if getting weathered it may be a source of essential nutrients, especially Ca, Mg, K, Na, P, S, Fe, and Mn. Macro nutrients to contain quite high in the material are phosphor ( $P_2O_5$ ) and potassium ( $K_2O$ ), with very low phosphate retention. The content of heavy metals (such as Pb, Cd, As, Ag, and Ni) is low (undetectable) so there is no harm to the plants and humans. Although covering and destructing agricultural land in the vicinity, the material from Mount Sinabung eruption will enrich and enhance the natural fertility of the soil in the future.

---

\* Corresponding author: sukarmandr@yahoo.co.id

## Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai negara yang mempunyai gunung berapi aktif terbanyak di dunia, 127 (30%) diantaranya terdapat di Indonesia. Salah satu gunung berapi aktif yang berada di Provinsi Sumatera Utara adalah Gunung Sinabung. Gunung Sinabung berada di Kabupaten Karo, berjarak lebih kurang 80 km dari Medan ibukota Provinsi Sumatera Utara. Gunung ini termasuk ke dalam klasifikasi tipe B yaitu gunung berapi dengan sejarah letusan (erupsi) yang diketahui setelah tahun 1600 (Hendrasto *et al.* 2013). Menurut Iguchi *et al.* (2011), Gunung Sinabung setelah dorman lebih dari 400 tahun dan mulai erupsi pada periode tanggal 27 Agustus 2010 sampai 7 September 2010. Selama periode tersebut terjadi tujuh kali erupsi. Semua erupsi berjenis freatik dan tidak ada bahan magma jenis baru yang ditemukan dalam abu vulkanik. Gunung Sinabung kembali mengalami beberapa kali erupsi pada periode bulan September sampai Oktober 2013 serta pada periode bulan Januari sampai dengan bulan Juni 2014 dan pada periode tersebut erupsi terakhir tercatat pada tanggal 29 Juni 2014. Berdasarkan keterangan Petugas Pos Pengamatan Gunung berapi Sinabung di Kecamatan Simpang Empat, Kabupaten Karo, aktivitas kegempaan yang terjadi sampai bulan Juni 2014, Gunung Sinabung nampaknya akan mengalami beberapa kali erupsi lagi entah sampai kapan.

Erupsi Gunung Sinabung mengeluarkan abu vulkanik, melepaskan awan panas, serta mengalirkan lahar. Selain menutupi jalan dan rumah-rumah penduduk, abu vulkanik juga menutupi lahan dan tanaman pertanian. Abu vulkanik, lahar, dan awan panas berdampak pada sebagian besar desa dan kampung yang berada di lima kecamatan di sekitar Gunung Sinabung yaitu Kecamatan Naman Teran, Simpang Empat, Tiga Nderket, Payung, dan Merdeka. Dampak yang sangat jelas terlihat akibat dari abu vulkanik dan lahar adalah tertutupnya lapisan olah lahan pertanian serta rusaknya tanaman yang ditutupinya. Kerusakan tanaman pertanian bervariasi dari rusak ringan sampai rusak berat (Tim Badan Litbang Pertanian 2014).

Kabupaten Karo merupakan salah satu sentra produksi tanaman hortikultura (sayuran dan buah-buahan) di Provinsi Sumatera Utara. Menurut Badan Pusat Statistik Kabupaten Karo (2013), luas tanam dari berbagai tanaman sayuran di Kabupaten Karo pada tahun 2012 tercatat seluas 18.823 ha, sedangkan luas lahan yang ditanami buah-buahan dan sudah menghasilkan tercatat seluas 7.843 ha. Akibat terjadinya erupsi Gunung Sinabung banyak tanaman pertanian yang rusak khususnya tanaman hortikultura. Menurut Tim Badan Litbang Pertanian (2014), tanaman hortikultura yang berada pada radius 5 km dari pusat erupsi mengalami kerusakan sedang sampai sangat berat.

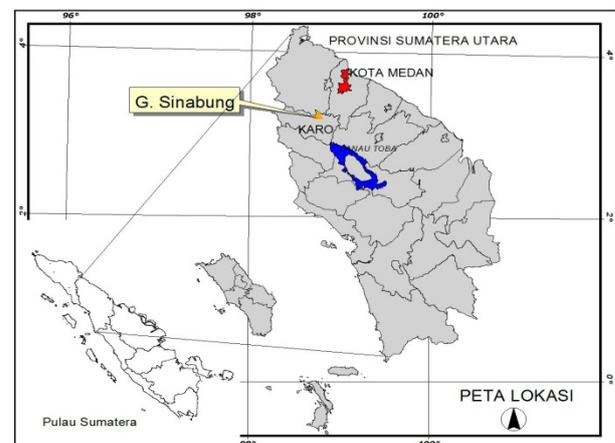
Ketebalan abu vulkanik yang menutupi areal pertanian di sekitar Gunung Sinabung sangat bervariasi, tergantung jarak dari pusat erupsi dan arah angin pada waktu terjadinya erupsi. Ketebalan abu vulkanik dan lahar yang menutupi areal pertanian sangat menentukan tingkat pengelolaan lahan. Menurut Suriadikarta (2012) berdasarkan pengalaman di wilayah Gunung Merapi Jawa Tengah dan DI Yogyakarta bahwa tingkat ketebalan abu vulkanik dan tutupan lahar sangat menentukan cara pengolahan tanah dan cara rehabilitasi lahan di wilayah bencana. Sementara itu menurut Anda *et al.* (2012), informasi sifat abu letusan gunung berapi sangat perlu diketahui untuk mengantisipasi teknik pengelolaan dan pemanfaatannya.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendelineasi sebaran dan ketebalan abu vulkanik serta mengidentifikasi karakteristik kimia-fisik dan mineralogi dari material hasil erupsi Gunung Sinabung yang berupa abu dan lahar serta mengidentifikasi dampaknya terhadap lahan pertanian. Informasi ini sangat berguna untuk perencanaan rehabilitasi dan pemulihan lahan di kawasan bencana Gunung Sinabung.

## Bahan dan Metode

### Bahan dan peralatan

Wilayah yang diteliti berada lebih kurang pada radius 7 km dari pusat erupsi Gunung Sinabung dan sebagian besar meliputi wilayah Kecamatan Naman Teran, Simpang Empat, Payung, Tiga Nderket, dan Merdeka, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara. Wilayah ini berada pada ketinggian 1.350 sampai 2.460 m dari permukaan laut. Peta lokasi Gunung Sinabung disajikan dalam Gambar 1. Penelitian lapangan dilaksanakan pada tanggal 8-11 Desember 2013 dan tanggal 19-22 Februari 2014.



Gambar 1. Peta lokasi Gunung Sinabung di Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara

Figure 1. Location of Mount Sinabung in Karo District, North Sumatra Province

Bahan dan peralatan yang digunakan antara lain : (1) Citra satelit, Earth Observation-1 (EO-1), komposit RGB (*red, green, and blue*), liputan tanggal 6 Februari 2014, (2) Citra satelit wordview-2 (SPOT) CRISP-2014, komposit RGB, liputan tanggal 22 Februari 2014, (3) Peta Rupabumi Indonesia, skala 1 : 50.000, (4) GPS (*Global Positioning System*), (5) Bor tanah, sekop, pisau lapang, (6) Meteran, (7) pH Truogh, (8) Kantong plastik.

Perangkat lunak dan perangkat keras yang digunakan adalah *ER-Mapper* Versi 6.2, *Arcview* versi 3.3, *Arc/Info* versi 3.5.1, Personal Computer dengan Processor Pentium IV, digitizer, dan plotter.

## Metode

### Interpretasi citra

Analisis ketebalan abu vulkanik dan bahan material lainnya dilaksanakan pasca letusan tanggal 12 Februari 2014. Analisis menggunakan citra satelit Wordview-2 (SPOT) 2014, resolusi tinggi, liputan tanggal 22 Februari 2014. Analisis dilakukan secara visual (*on screen*) mempergunakan ciri struktural dan ciri spektral. Delineasi satuan ketebalan tutupan abu vulkanik didasarkan kepada ciri struktural dan ciri spektral. Ciri struktural yang digunakan antara lain bentuk, ukuran, bayangan, tekstur, pola drainase dan asosiasi. Sedangkan ciri spektral yang digunakan adalah warna-warna yang tampak dalam citra komposit RGB. Tata cara delineasi ketebalan abu vulkanik mengikuti prosedur seperti yang dikemukakan oleh Sutanto (1992) dan Sukarman (2005). Dalam delineasi ini, ciri struktural lebih banyak digunakan untuk membedakan antara abu vulkanik dan lahar, sedangkan ciri spektral digunakan untuk mengklasifikasikan ketebalan tutupan abu vulkanik. Setiap poligon hasil delineasi diberi nama mengikuti klasifikasi seperti tertera dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi citra berdasarkan ciri struktural dan spektral citra

Table 1. Imagery classification based on structural and spectral characteristics

No.	Warna, tekstur, <i>tone</i> , dan pola	Klasifikasi	Perkiraan material
1.	Putih cerah, agak kasar, mengikuti aliran searah lereng	Sangat tebal	Abu vulkanik
2.	Putih, halus, menyebar	Tebal	Abu vulkanik
3.	Putih agak abu-abu, halus, menyebar	Sedang	Abu vulkanik
4.	Putih abu-abu, halus, menyebar	Tipis	Abu vulkanik

### Pengamatan dan pengukuran di lapangan

Pengamatan dan pengukuran di lapangan dimaksudkan untuk mengecek dan memverifikasi hasil analisis dari citra

serta untuk menetapkan ketebalan tutupan abu vulkanik pada setiap hasil klasifikasi dari hasil analisis citra.

Pengukuran ketebalan abu vulkanik dilakukan dengan cara menggali abu vulkanik yang menutupi lahan kemudian mengukurnya dengan menggunakan meteran. Pengukuran dilakukan pada setiap poligon dari setiap kelas hasil interpretasi citra sekurang-kurangnya di tiga lokasi pengamatan. Pengamatan dan pengukuran di lapangan dilaksanakan pada tanggal 19 sampai 22 Februari 2014.

### Pengambilan dan analisis contoh

Bahan hasil erupsi Gunung Sinabung yang diambil berupa abu vulkanik dan lahar, masing-masing sebanyak empat contoh dari lokasi yang berbeda. Contoh abu vulkanik berasal dari Desa Kotarayan, dan Sukanalu yang berada di sebelah timur serta tenggara, dan dari Desa Tiga Nderket dan Mardinding yang berada di sebelah barat dan barat daya. Contoh abu hanya diambil pada lahan dengan tutupan sedang dan tebal, sedangkan untuk tutupan yang tipis tidak diambil karena kemungkinan tercampur dengan tanah asli dari lahan tersebut.

Untuk lahar diambil di lokasi Bakerah, Gurukinayan, Sukameriah 1 dan Sukameriah 2, yang berlokasi di sisi selatan dari Gunung Sinabung. Lahar terdiri atas campuran berbagai material hasil erupsi (liat, debu, pasir, kerikil, kerakal, dan boulder) yang dihanyutkan oleh air hujan di permukaan tanah. Untuk analisis fisik dan kimia, contoh yang diambil hanya bahan yang berukuran kurang dari 2 mm, tidak termasuk kerikil, kerakal, dan boulder.

Analisis kimia, fisika, dan mineral fraksi pasir dari contoh abu vulkanik dan lahar dilakukan di Laboratorium Kimia, Fisika, dan Mineralogi Balai Penelitian Tanah Bogor. Analisis kimia dan fisika meliputi : tekstur, pH, C-organik, P total, K total, P tersedia, retensi fosfat, susunan kation (Ca, Mg, K, dan Na), kapasitas tukar kation, kejenuhan basa, aluminium, hidrogen dan kandungan sulfur. Analisis kimia dan fisika tanah mengikuti Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk (Eviati dan Sulaeman 2012). Sedangkan analisis mineral fraksi pasir ditetapkan dengan metode *line counting* di bawah mikroskop polarisasi. Cadangan mineral ditetapkan berdasarkan jumlah persentase mineral mudah lapuk (Buurman 1990).

## Hasil dan Pembahasan

### Kerusakan lahan dan tanaman

Material erupsi Gunung Sinabung yang menutupi areal pertanian secara garis besar berupa: abu vulkanik, lahar, dan endapan awan panas. Ketiga jenis material tersebut memberikan dampak yang berbeda terhadap kerusakan

lahan pertanian maupun tanaman pertanian. Material abu merupakan material yang penyebarannya paling luas, dan banyak merusak tanaman hortikultura (sayuran dan tanaman buah-buahan), tanaman pangan (antara lain padi sawah, padi gogo, jagung), tanaman tahunan (kakao, kopi, alpukat), lahan pertanian, lingkungan pertanian dan perikanan. Kerusakan terhadap tanaman dan lahan pertanian bervariasi dari ringan sampai sangat berat, tergantung dari jarak terhadap pusat erupsi dan arah angin pada saat terjadinya erupsi. Material lahar dan awan panas menerjang ke bagian lereng tenggara, terutama ke arah Desa Sukameriah, Bekerah, Simacem, dan Gurukinayan. Kerusakan yang terjadi sangat parah dan memusnahkan segala macam komoditas pertanian serta menghancurkan lahan pertanian yang ada.

**Sebaran ketebalan abu vulkanik**

Analisis ketebalan abu vulkanik dan bahan material lainnya dilaksanakan pasca letusan tanggal 12 Februari

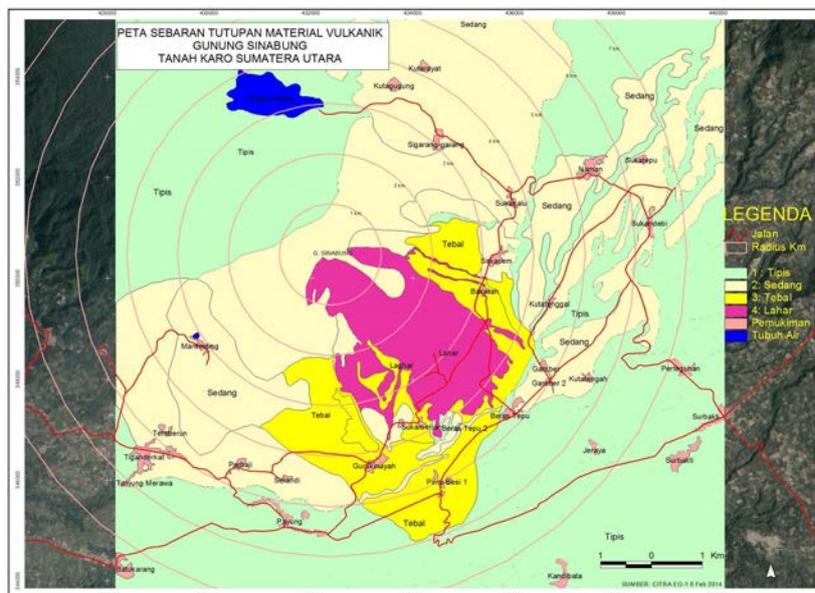
2014. Berdasarkan hasil klasifikasi citra secara visual diperoleh empat kelas ketebalan, yaitu tipis, sedang, tebal dan sangat tebal. Hasil pengamatan dan pengukuran di lapangan mendapatkan dua jenis bahan tutupan yaitu : (1) lahar bercampur dengan endapan awan panas dan (2) abu vulkanik. Sedangkan berdasarkan ketebalan tutupan dijumpai tiga kelas tutupan abu vulkanik dan satu kelas tutupan lahar. Tabel 2 menyajikan hubungan antara unsur-unsur klasifikasi citra (warna, tekstur, tone, dan pola) dengan hasil pengukuran di lapangan. Sebaran masing-masing ketebalan tutupan abu vulkanik disajikan dalam Gambar 2.

Lahan pertanian yang tertutup abu vulkanik tipis (ketebalan < 2 cm) dan sedang (ketebalan 2-5 cm) masing-masing meliputi areal seluas 8.170 dan 4.421 ha dan tersebar di Kecamatan Tiga Nderket, Simpang Empat, Naman Teran, Payung, dan Merdeka. Lahan pertanian yang tertutup abu vulkanik tebal (ketebalan > 5-10 cm) meliputi areal seluas 1.107 ha, dan tersebar di Kecamatan Tiga Nderket, Simpang Empat, Naman Teran, dan Payung.

Tabel 2. Hubungan hasil klasifikasi citra dengan ketebalan material erupsi di lapangan

Table 2. Relationship between imagery classification and eruption material thickness in the field

No.	Warna, tekstur, <i>tone</i> , dan pola	Hasil klasifikasi	Hasil pengukuran lapangan	Material hasil erupsi
1.	Putih cerah, agak kasar, mengikuti aliran searah lereng	Sangat tebal	1-10 m	Endapan lahar dan endapan awan panas
2.	Putih, halus, menyebar	Tebal	> 5-10 cm	Abu vulkanik
3.	Putih agak abu-abu, halus, menyebar	Sedang	2-5 cm	Abu vulkanik
4.	Putih abu-abu, halus, menyebar	Tipis	< 2 cm	Abu vulkanik



Gambar 2. Peta sebaran tutupan material vulkanik (abu vulkanik dan lahar) Gunung Sinabung pasca erupsi tanggal 12 Februari 2014

Figure 2. Distribution map of volcanic material covering (volcanic ash and lahar) after the eruption of Mount Sinabung, February 12, 2014

Sedangkan lahan pertanian yang tertutup lahar dan endapan awan panas meliputi areal seluas 777 ha, dan tersebar di Kecamatan Tiga Nderket, Simpang Empat, Naman Teran, dan Payung (Tabel 3).

Tabel 3. Luasan dan sebaran kelas tutupan abu vulkanik serta lahar Gunung Sinabung

Table 3. The extent and distribution of volcanic ash and lahar coverings of Mount Sinabung

No.	Kecamatan	Luas kelas ketebalan tutupan abu vulkanik			Lahar
		Tipis	Sedang	Tebal	
		..... ha .....			
1.	Tiga Nderket	1.501	833	11	33
2.	Simpang Empat	2.953	373	225	336
3.	Naman Teran	2.286	2.615	250	316
4.	Payung	1.199	414	620	92
5.	Merdeka	138	186	0	0
	Jumlah	8.170	4.421	1.107	777

### Karakteristik fisik dan kimia

Abu vulkanik yang menutupi lahan pertanian umumnya sudah mulai mengeras. Menurut Noor (2012) bahan piroklastik atau tephra yang dilemparkan ke udara dan kemudian jatuh ke permukaan bumi sebagai suatu endapan campuran. Kebanyakan dari fragmen batuan cenderung merupakan batuan gunung berapi yang terkonsolidasi dari hasil erupsi gunung berapi. Kadangkala material erupsi yang masih panas mencapai permukaan bumi dan kemudian membeku dan mengeras menjadi *welded tuff*.

Abu vulkanik yang menutupi lahan pertanian dengan klasifikasi tipis (< 2 cm) mempunyai sifat rapuh bila kering maupun lembab dan basah. Sedangkan tutupan abu yang tergolong sedang sampai tebal umumnya mempunyai sifat fisik keras bila kering, tetapi rapuh jika lembab atau basah. Kriteria keras yang dimaksud adalah jika bongkahan abu vulkanik tidak bisa dipecahkan dengan jari tangan, tetapi dapat dipecahkan dengan palu atau dicangkul dengan tenaga sedang. Sedangkan sifat rapuh adalah jika bongkahan abu vulkanik dapat dipecahkan dengan tangan, palu, maupun cangkul. Hal tersebut menunjukkan bahwa lahan pertanian yang tertutupi abu vulkanik sulit untuk diolah pada saat akan mulai tanam.

Dari Tabel 4 terlihat bahwa material yang dikeluarkan oleh Gunung Sinabung tergolong kasar dengan kandungan pasir lebih dari 45 persen dan kandungan liat kurang dari 16 persen. Bila dibandingkan antara abu vulkanik dengan lahar menunjukkan bahwa abu vulkanik mempunyai rata-rata tekstur lebih halus dan kandungan pasir yang lebih rendah. Namun untuk kandungan debu,

abu vulkanik mempunyai kandungan lebih tinggi dibandingkan dengan lahar. Hal tersebut dapat dimengerti karena abu vulkanik merupakan bahan erupsi yang disemburkan ke atas dan terbawa angin sehingga material yang terbawa akan berukuran halus, sedangkan lahar berasal dari bahan erupsi yang lebih dekat dengan pusat erupsi kemudian terbawa oleh air hujan. Bahan-bahan yang jatuh dekat pusat erupsi umumnya berukuran kasar, sedangkan bahan yang jatuh lebih jauh dari pusat erupsi umumnya berukuran lebih halus.

Tabel 4. Tekstur material vulkanik erupsi Gunung Sinabung

Table 4. The texture of the volcanic material of Mount Sinabung eruption

Lokasi (kode contoh)	Pasir	Debu	Liat	Kelas tekstur
	..... % .....			
Abu vulkanik				
Kotarayat (PT-2)	45	42	13	Lempung
Sukanalu (PT-3)	50	35	15	Lempung
Tiga Nderket (KM-1)	60	27	13	Lempung berpasir
Mardinding (KM-2)	55	34	11	Lempung berpasir
Rata-rata	52	35	12	Lempung
Lahar				
Bakerah (PT-1)	75	16	9	Lempung berpasir
Gurukinayan (HF-1)	66	22	12	Lempung berpasir
Sukameriah 1 (HF-3)	59	28	13	Lempung berpasir
Sukameriah 2 (HF-2)	70	21	9	Lempung berpasir
Rata-rata	67	22	11	Lempung berpasir

Abu vulkanik dan lahar hasil erupsi Gunung Sinabung bersifat sangat masam dengan kisaran pH antara 3,6-4,5. Tingginya tingkat kemasaman tersebut berkaitan dengan kandungan sulfur (S) yang tinggi yang bervariasi dari 0,16-0,32%. Di lapangan tingkat kemasaman abu ini akan terus menurun sejalan dengan menurunnya kandungan sulfur karena tercuci air hujan. Di sisi lain, tingginya kandungan unsur sulfur juga dapat dipandang sebagai pengkayaan terhadap hara tanah, karena unsur S merupakan salah satu unsur makro yang dibutuhkan oleh tanaman.

Abu vulkanik dalam istilah lainnya disebut juga tephra atau bahan piroklastik. Bahan ini sangat berpengaruh besar terhadap sifat-sifat tanah yang akan terbentuk karena mewariskan sifat-sifat yang unik. Tanah yang terbentuk

dikenal dengan istilah umum tanah abu vulkanik atau di Jepang disebut sebagai Kurobokudo (Shoji *et al.* 1993) dan dalam Klasifikasi Tanah Nasional dikenal dengan nama Andosol (Subardja *et al.* 2014) atau dalam klasifikasi Taksonomi Tanah (Soil Survey Staff 2014) dikenal dengan nama Andisols.

Kandungan mineral dalam abu vulkanik dapat dipandang sebagai cadangan unsur hara dalam tanah untuk tanaman di masa yang akan datang. Kandungan beberapa unsur hara utama N, P dan K tersedia serta beberapa unsur lainnya seperti C-organik dan basa-basa (Ca, Mg, K, dan Na) berada pada tingkat yang tergolong rendah sampai sangat rendah (Tabel 5). Hal ini dapat diartikan bahwa kandungan hara tanaman dari abu vulkanik belum dalam keadaan tersedia untuk tanaman. Hal ini terjadi karena unsur-unsur tersebut terutama P, K dan basa-basa sebagian besar masih terikat dalam bentuk mineral primer. Retensi fosfat (P) dari abu vulkanik segar ini tergolong sangat rendah, sangat berbeda dengan retensi pada tanah yang sudah berkembang. Tanah Andisols yang berkembang dari abu vulkanik biasanya mempunyai retensi fosfat yang sangat tinggi, bisa melebihi 90%.

Namun demikian hasil penelitian Ridwandi *et al.* (2013) menunjukkan data analisis tanah Andisols untuk unsur kalsium (Ca), kalium (K) dan natrium (Na) di lereng

utara Gunung Sinabung lebih rendah dibandingkan dengan kandungan Ca, K, dan Na dari abu vulkanik dan lahar. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun secara harkat kandungan Ca, K dan Na dari abu vulkanik dan lahar tergolong rendah, namun secara absolut masih lebih tinggi daripada tanah aslinya.

Tingginya cadangan hara tanaman terlihat terutama pada unsur P dan K potensial dalam bentuk P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dan K<sub>2</sub>O. P potensial pada abu vulkanik dan lahar masing-masing bervariasi dari 98-108 mg 100g<sup>-1</sup> dan dari 62-87 mg 100g<sup>-1</sup>, semuanya tergolong sangat tinggi. Sedangkan kandungan K potensial pada abu vulkanik dan lahar masing-masing bervariasi dari 181-281 mg 100g<sup>-1</sup> dan dari 72-148 mg 100g<sup>-1</sup> semua tergolong sangat tinggi (Tabel 5).

Abu vulkanik gunung berapi dapat mengandung logam berat dan unsur mikro berbahaya bagi manusia, hewan maupun tanaman pertanian. Unsur logam berat pada abu vulkanik antara lain Fe, Pb, Cd, As, Ag, dan Ni. Hasil analisis logam berat abu vulkanik dan lahar disajikan dalam Tabel 6. Kandungan logam berat Pb yang terdapat dalam abu vulkanik Gunung Sinabung tergolong rendah. Kandungan logam berat lainnya (Cd, As, Ag, dan Ni) sangat-sangat rendah sehingga tidak terdeteksi. Oleh karena itu material erupsi Gunung Sinabung aman dan tidak akan beracun untuk manusia, hewan maupun tanaman pertanian.

Tabel 5. Sifat-sifat kimia material vulkanik erupsi Gunung Sinabung

Table 5. Chemical properties of volcanic material of Mount Sinabung

Lokasi (kode contoh)	pH H <sub>2</sub> O	C-org. %	P Total mg 100g <sup>-1</sup>	P tersedia ppm	K Total mg 100g <sup>-1</sup>	Ca	Mg	K	Na	KTK	KB	Al <sup>3+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	H <sup>+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	S	Retensi P %
<b>Abu vulkanik</b>															
Kotarayat (PT-2)	4,5 (sm)	0,54 (sr)	108 (st)	14,7 (r)	281 (st)	2,18 (r)	0,47 (r)	0,37 (r)	0,25 (r)	6,13 (r)	53 (s)	0,24	0,24	0,32	1,7 (sr)
Sukanalu (PT-3)	4,4 (sm)	0,47 (sr)	110 (st)	14,8 (r)	181 (st)	6,25 (s)	0,20 (r)	0,35 (r)	0,02 (sr)	6,35 (r)	100 (st)	0,00	0,06	0,25	2,3 (sr)
Tiga Nderket (KM-1)	3,6 (sm)	0,48 (sr)	98 (st)	6,1 (sr)	190 (st)	2,06 (r)	0,55 (r)	0,09 (sr)	0,20 (r)	5,47 (r)	53 (s)	2,44	1,61	0,16	0,4 (sr)
Mardinding (KM-2)	3,7 (sm)	0,59 (sr)	99 (st)	7,0 (sr)	276 (st)	2,71 (r)	0,66 (r)	0,06 (sr)	0,15 (r)	5,54 (r)	65 (t)	1,24	3,63	0,29	1,3 (sr)
Rata-rata	4,1 (sm)	0,52 (sr)	104 (st)	10,7 (r)	232 (st)	3,30 (r)	0,47 (r)	0,22 (r)	0,16 (r)	5,87 (r)	68 (t)	0,98	1,39	0,26	1,5 (sr)
<b>Lahar</b>															
Bakerah (PT-1)	3,9 (sm)	0,19 (sr)	87 (st)	4,5 (sr)	148 (st)	1,47 (sr)	0,32 (r)	0,17 (r)	0,21 (r)	4,85 (r)	45 (s)	0,56	0,39	0,12	1,9 (sr)
Gurukinayan (HF-1)	3,9 (sm)	0,71 (sr)	69 (st)	20,5 (s)	122 (st)	1,78 (sr)	0,49 (r)	0,17 (r)	0,23 (r)	7,99 (r)	33 (r)	1,91	1,05	0,28	1,2 (sr)
Sukameriah 1 (HF-3)	3,7 (sm)	0,75 (sr)	71 (st)	18,7 (s)	72 (st)	1,93 (sr)	0,52 (r)	0,15 (r)	0,29 (r)	8,66 (r)	33 (r)	2,87	0,62	0,26	1,5 (sr)
Sukameriah 2 (HF-2)	4,2 (sm)	0,59 (sr)	62 (st)	13,6 (r)	88 (st)	2,06 (sr)	0,16 (r)	0,23 (r)	0,24 (r)	7,52 (r)	36 (r)	0,96	0,91	0,32	2,5 (sr)
Rata-rata	3,9 (sm)	0,56 (sr)	72 (st)	14,3 (r)	108 (st)	1,81 (sr)	0,37 (r)	0,18 (r)	0,24 (r)	7,26 (r)	37 (r)	1,58	0,74	0,25	1,8 (sr)

Tabel 6. Hasil analisis kimia beberapa logam berat

Table 6. Results of the chemical analysis of some heavy metals

Nomor contoh	Pengirim	Terhadap contoh kering 105°C					
		Total (ekstrak HNO <sub>3</sub> + HClO <sub>4</sub> )					
Urut		Fe	Pb	Cd	As	Ag	Ni
		%	ppm				
1	PT 1	1,51	3,1	td	td	td	td
2	PT 2	1,11	5,3	td	td	td	td
3	PT 3	3,10	1,7	td	td	td	td
4	KM 1	1,51	4,6	td	td	td	td
5	KM 2	1,47	4,9	td	td	td	td
6	HF 1	0,58	1,5	td	td	td	td
7	HF 2	0,97	3,1	td	td	td	td
8	HF 3	0,64	2,6	td	td	td	td

Keterangan : td = tidak terdeteksi

Barasa *et al.* (2013) telah meneliti dampak abu vulkanik letusan Gunung Sinabung terhadap kadar Cu, Pb, dan B tanah di Kabupaten Karo. Hasilnya menunjukkan bahwa lahan yang terkena dampak abu vulkanik Gunung Sinabung tidak membahayakan karena kadar Cu, Pb, dan B masih berada dalam ambang batas yang dapat ditoleransi.

### Karakteristik mineral fraksi pasir

Mineral merupakan unsur utama penyusun tanah dan berperan penting dalam menentukan sifat kimia dan fisika tanah. Mineral di dalam tanah dapat dibedakan atas mineral primer yang disebut juga mineral fraksi pasir dan mineral sekunder atau mineral fraksi liat. Mineral primer adalah mineral yang langsung terbentuk dari pengkristalan senyawa-senyawa dalam magma akibat penurunan suhu. Berdasarkan kemudahan dalam melapuknya, mineral

primer dapat dibedakan atas mineral mudah lapuk dan mineral tahan lapuk (resisten). Kelompok mineral mudah lapuk di antaranya adalah mineral-mineral feldspar, ferromagnesia seperti olivin, piroksen, amphibol, dan gelas vulkanik, sedangkan yang tergolong pada mineral resisten antara lain opak, konkresi besi, zirkon, dan kuarsa. (Prasetyo *et al.* 2004).

Hasil analisis mineral fraksi pasir dari contoh abu vulkanik dan lahar disajikan dalam Tabel 7. Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa komposisi mineral didominasi oleh mineral-mineral mudah lapuk dengan variasi antara 60-66%. Mineral mudah lapuk tersebut terdiri atas : gelas vulkanik (22-26%), hornblenda hijau (1-12), augit (8-13%), hiperstein (10-18%), labradorit (7-10%), dan bitownit (2-5%). Dengan melihat komposisi mineral tersebut yang dikaitkan dengan kandungan SiO<sub>2</sub>, menunjukkan bahwa bahan material hasil erupsi Gunung Sinabung tersebut bersifat intermedier ke arah basal atau *basaltic andesite*. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Yoshimoto *et al.* (2013).

### Kelompok mineral opak

Mineral opak adalah mineral primer dari jenis magnetit dan ilmenit yang berwarna kalem metalik. Mineral ini tergolong pada kelompok mineral resisten, sehingga sering kali opak bersama kuarsa mendominasi komposisi mineral primer dalam tanah. Dalam abu vulkanik dan lahar hasil erupsi Gunung Sinabung menunjukkan kandungan opak bervariasi dari 3-5% atau tergolong sangat rendah.

### Gelas vulkanik

Gelas vulkanik adalah bahan berbentuk amorf (non kristalin) yang berasal dari sisa-sisa magma yang telah mengalami kristalisasi. Komposisi kimia dari gelas

Tabel 7. Hasil analisis fraksi pasir material hasil erupsi Gunung Sinabung

Table 7. Results of the sand fraction analysis of Mount Sinabung eruption materials

Lokasi/kode contoh	Op	Li	Lm	Fb	Gv	Lb	Bt	Hh	Au	Hp	Epi	Tm	Total MML
Abu vulkanik													
Kotarayat (PT-2)	4	Sp	2	28	23	7	4	Sp	13	18	sp	1	66
Sukanalu (PT-3)	5	Sp	2	28	22	8	5	Sp	13	17	sp	Sp	65
Tiga Nderket (KM-1)	5		1	31	24	7	1	12	8	10	sp	1	63
Mardinding (KM-2)	3		Sp	37	26	10	2	8	6	7	1	Sp	60
Lahar													
Bakerah (PT-1)	5	Sp	3	32	20	7	5	Sp	12	15	sp	1	60
Gurukinayan (HF-1)	4	1	1	29	32	13	3	Sp	4	12	sp	1	65
Suakameriah 1 (HF-3)	5	2	1	26	28	13	3	1	6	14	sp	1	66
Suakameriah 2 (HF-2)	4	1	2	28	36	11	2	Sp	3	11	sp	1	64

Keterangan : Op = opak, Li = limonit, Lm = lapukan mineral, Fb = fragmen batuan, Gv = gelas vulkanik, Lb = labradorit, Bt = bitownit, Hh = Hornblende hijau, Au = augit, Hp = hiperstein, Epi = epidot dan Tm = turmalin, Sp = sporadis, MML = mineral mudah lapuk

vulkanik berbeda-beda, tergantung dari senyawa-senyawa kimia yang tertinggal setelah pembentukan mineral kristalin. Di suatu tempat gelas vulkanik mungkin hampir seluruhnya didominasi  $\text{SiO}_2$ , tetapi di tempat lain mungkin mengandung unsur-unsur kimia lainnya seperti P, Ca, Mg, K, dan sebagainya. Mineral ini tergolong pada jenis mineral mudah lapuk. Pelapukan mineral ini dapat menghasilkan mineral amorf alofan.

Hasil analisis mineral fraksi pasir dari abu vulkanik dan lahar hasil erupsi Gunung Sinabung menunjukkan bahwa gelas vulkanik merupakan salah satu unsur mineral fraksi pasir yang kedua tertinggi setelah fragmen batuan, yaitu bervariasi dari 22-26% untuk abu vulkanik dan 20-36% untuk lahar. Hal ini sejalan dengan pernyataan Shoji *et al.* (1993) bahwa gelas vulkanik banyak dikandung dalam abu vulkanik yang dihasilkan pada saat letusan gunung berapi.

Gelas vulkanik merupakan unsur yang sangat penting dalam proses pembentukan tanah dan sangat menentukan sifat-sifat kimia, fisik, dan biologi tanahnya. Gelas vulkanik adalah bahan amorf yang relatif mudah melapuk dan melepaskan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Gelas vulkanik atau tephra yang melapuk tidak membentuk liat, tetapi membentuk alofan, imogolit, opalin silika, ferihidrit, dan kompleks Al/Fe humus (Dahlgren *et al.* 1993). Hasil pelapukan gelas vulkanik umumnya halus, berbentuk vesikular, dan tidak memadat yang sangat berkontribusi terhadap kapasitas memegang air tersedia yang tinggi dan luas permukaan yang tinggi sehingga menyebabkan pelepasan cepat dari nutrisi oleh pelapukan (Shoji *et al.* 1993).

#### **Kelompok feldspar**

Kelompok mineral feldspar merupakan mineral primer mudah lapuk yang banyak mengandung unsur  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ , dan  $\text{K}^+$  dan kadang-kadang  $\text{Ba}^{2+}$  dalam jumlah yang banyak (Huang 1989). Sementara Ribble (1975) menyatakan bahwa dalam mineral feldspar juga terkandung *trace element* (unsur mikro) seperti Sr, Rb, Cs, Cu, dan Pb.

Mineral labradorit dan bitownit merupakan mineral yang termasuk ke dalam kelompok feldspar. Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa kandungan mineral labradorit berkisar dari 7-10% pada abu vulkanik dan antara 7-13% pada lahar. Labradorit adalah mineral dalam kelompok feldspar yang mempunyai kandungan komposisi kimia kurang lebih 50-70% kalsium (Ca) dan 50-30% natrium (Na) serta mempunyai kembaran albit. Dengan demikian maka mineral ini akan menjadi sumber Ca yang potensial untuk tanaman. Labradorit sering berasosiasi dengan mineral biotit, piroksen dan hornblende. Sedangkan mineral bitownit atau dikenal dengan nama

*Calcium sodium aluminium silicate* mempunyai kandungan komposisi kimia 30-10% natrium (Na) dan 70-90% kalsium (Ca), dan berasosiasi dengan mineral biotit, hornblende, dan piroksen (Noor 2012). Hasil analisis fraksi pasir menunjukkan kandungan bitownit dari abu vulkanik dan lahar hasil erupsi Gunung Sinabung bervariasi dari 1 sampai 5% (Tabel 4).

#### **Kelompok olivin, piroksin, dan amphibol**

Kelompok olivin, piroksin (augit, hiperstein) dan amphibol (hornblende), yang disebut juga sebagai mineral ferromagnesium, merupakan kelompok mineral mudah lapuk yang merupakan sumber Ca, Mg, dan Fe dalam tanah. Mineral-mineral hornblende, augit, dan hiperstein adalah sumber Ca dan Mg dalam tanah. Menurut Mohr *et al.* (1972), di antara ketiga kelompok tersebut, olivin merupakan kelompok mineral yang paling mudah melapuk. Tergantung pada jenisnya, unsur hara yang dihasilkan oleh mineral olivin juga bervariasi. Unsur hara Mg dihasilkan oleh olivin dari jenis Forsterit dan Fe oleh Fayalit.

Augit merupakan kelompok mineral piroksen yang mempunyai rumus molekul  $\text{Ca (Mg, Fe, Al) (Al, Si)}_2\text{O}_6$ . Kandungan unsur hara yang terkandung dalam batuan ini terutama adalah magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan natrium (Na). Hasil analisis secara mikroskopis terhadap fraksi pasir menunjukkan bahwa kandungan augit yang terdapat pada abu vulkanik bervariasi dari 6-13% dan pada lahar bervariasi dari 7-10%. Mineral augit ini sering berasosiasi dengan mineral lain terutama olivin, biotit, albit, apatit, serpentin, leusit dan hornblende.

Mineral hiperstein tergolong mineral mudah lapuk yang termasuk kelompok piroksen dengan komposisi kimia  $\text{(Mg, Fe)}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$  dan berwarna hijau sampai hitam kecoklatan. Mineral ini merupakan sumber dari magnesium (Mg) dan besi (Fe). Hasil analisis fraksi pasir menunjukkan bahwa kandungan mineral ini dalam abu vulkanik Gunung Sinabung bervariasi dari 7-18 % dan dalam lahar bervariasi dari 11-15%.

Turmalin adalah kristal silikat dengan unsur-unsur mineral seperti aluminium, besi, magnesium, natrium, litium, atau kalium. Dalam mineral Turmalin terkandung magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan natrium (Na). Selain itu terkandung juga unsur mikro di antaranya adalah boron (B), mangan (Mn), dan kadang-kadang tembaga (Cu).

Dari uraian di atas menunjukkan bahwa abu vulkanik maupun lahar hasil erupsi Gunung Sinabung mempunyai kandungan mineral primer yang tergolong mudah lapuk dalam persentase yang tinggi (60-66%), sisanya terdiri atas mineral sukar lapuk yaitu mineral opak, limonit dan fragmen batuan. Jenis kandungan unsur hara yang terdapat dalam mineral tersebut sangat bervariasi terutama

magnesium (Mg), kalsium (Ca), kalium (K), natrium (Na), fosfor (P), serta unsur mikro di antaranya adalah boron (B), mangan (Mn), tembaga (Cu) dan besi (Fe). Dengan demikian terbukti bahwa erupsi gunung berapi memberikan sumbangan unsur hara tanaman yang sangat tinggi, baik berupa unsur hara makro maupun unsur hara mikro. Hal yang serupa juga dijumpai pada kejadian erupsi gunung Merapi di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta (Anda *et al.* 2012).

## Kesimpulan

1. Erupsi Gunung Sinabung yang terjadi mulai tahun 2010 sampai tahun 2014 sangat banyak merusak tanaman dan lahan pertanian di Kabupaten Karo. Kerusakan tanaman sebagian besar disebabkan karena lahan dan tanaman tersapu awan panas, tertutup lahar dan abu vulkanik.
2. Ketebalan abu vulkanik yang menutupi wilayah 5 kecamatan di kaki Gunung Sinabung dapat dikelaskan menjadi tipis (ketebalan < 2 cm), sedang (ketebalan 2-5 cm) dan tebal (> 5-10 cm). Sedangkan lahar menutupi areal pertanian bervariasi dari tebal sampai sangat tebal yaitu berkisar dari 1-10 m.
3. Lahan pertanian yang tertutup abu vulkanik tipis, sedang dan tebal masing-masing meliputi areal seluas 8.170, 4.421, dan 1.107 ha, sedangkan lahan pertanian yang tertutup lahar meliputi areal seluas 777 ha.
4. Abu vulkanik yang menutup lahan pertanian sangat mempengaruhi kepada pengelolaannya karena abu yang tergolong tipis (< 2 cm) bersifat rapuh bila kering maupun lembab atau basah. Sedangkan tutupan abu yang tergolong sedang sampai tebal umumnya mempunyai sifat fisik keras bila kering, tetapi rapuh jika lembab atau basah.
5. Berdasarkan sifat fisik abu vulkanik yang menutupi lahan pertanian, maka untuk abu yang tergolong tipis bisa langsung dicampurkan dengan tanah asli, akan tetapi untuk abu vulkanik yang keras harus dilakukan pengolahan dengan traktor atau cangkul terlebih dahulu. Sedangkan untuk abu vulkanik yang terlalu tebal sebaiknya disingkirkan dari lahan pertanian.
6. Hasil analisis fisika menunjukkan bahwa tekstur abu vulkanik dan lahar tergolong sedang yaitu lempung sampai lempung berpasir, tetapi tekstur lahar lebih kasar daripada tekstur abu vulkanik.
7. Kandungan logam berat Pb, Cd, As, Ag, dan Ni tergolong sangat rendah sehingga tidak terdeteksi dan tidak membahayakan manusia, hewan, maupun tanaman pertanian.
8. Abu vulkanik mempunyai mineral primer mudah lapuk yang tinggi (60-66%), terdiri atas: gelas vulkanik, hornblende hijau, augit, hiperstein, labradorit, dan bitownit. Mineral primer tersebut mengandung cadangan unsur hara cukup tinggi, yang jika melapuk akan menjadi sumber unsur hara esensial terutama Ca, Mg, K, Na, P, S, Fe, B, Mn, dan Cu.

## Daftar Pustaka

- Anda, M., A. Kasno, dan M. Sarwani. 2012. Sifat dan khasiat material letusan Gunung Merapi untuk perbaikan tanah pertanian. Hlm 87- 96. *Dalam* Kajian Cepat Dampak Erupsi Gunung Merapi 2010 Terhadap Sumberdaya Lahan dan Inovasi Rehabilitasinya. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Karo. 2013. Karo dalam Angka 2013. Katalog BPS 1102001.1211 Badan Pusat Statistik Kabupaten Karo. 349 hlm.
- Barasa, R.F., A. Rauf, dan M. Sembiring. 2013. Dampak debu vulkanik letusan Gunung Sinabung terhadap kadar Cu, Pb, dan B tanah di Kabupaten Karo. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 1(4):1288-1297.
- Buurman, P. 1990. Chemical, physical, and mineralogical characteristics for the soil database. Tech. Report No. 7, Ver. 2.1. LREPP Part II. Soil Database Management, Center for Soil and Agrilclimate Research, Bogor.
- Dahlgren, R., S. Shoji and M. Nanzyo. 1993. Mineralogical characteristics of volcanic ash soils. Pp 101-143. *In* S. Shoji, M. Nanzyo, and R. Dahlgren (Eds.). *Volcanic Ash Soils. Genesis, Properties, and Utilizations. Development in Soil Science* 21. Elsevier, Amsterdam.
- Eviati dan Sulaeman. 2012. Petunjuk Teknis. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Edisi 2. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. 234 hlm.
- Hendrasto, M., Kristianto, H. Gunawan, D. Mulyadi, A. Sebastian, H. Triastuti, U. Rosadi, A. Basuki, M. Iguchi, and T. Ohkura. 2013. The eruption of Mount Sinabung after long dormancy. IAVCEI, Scientific Assembly-July 20-24, 2013, Kagoshima, Japan.
- Huang, P.M. 1989. Feldspars, olivine, pyroxenes, and amphiboles. Pp 945-1.050. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.). *Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Soc. of Amer., Madison, Wisconsin, USA.*
- Iguchi, M., K. Ishihara, Suro, and M. Hendrasto. 2011. Learn from 2010 eruptions at Merapi and Sinabung volcanoes in Indonesia. *Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.* No. 54 B, 2011.
- Mohr, E.G.J., F.A. Van Baren, and J. Van Schuylenborgh. 1972. *Tropical Soil. Third Edition. The Hague Paris-Jakarta.*
- Noor, D. 2012. Pengantar Geologi. Program Studi Teknik Geologi. Fakultas Teknik, Universitas Pakuan Bogor. 324 hlm.
- Prasetyo, B.H., J.S. Adiningsih, K. Subagyono, dan R.D.M. Simanungkalit. 2004. Mineralogi, kimia, fisika, dan biologi tanah sawah. Hlm 29-82. *Dalam*. F. Agus *et al.*(Eds.). *Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Departemen Pertanian.*

- Ribbe, P.H. 1975. Feldspar mineralogy. Rev. Mineral. Vol 2. Min. Soc. Am. Washington, DC.
- Ridwandi, Mukhlis, dan M. Sembiring. 2013. Morfologi dan klasifikasi tanah lereng utara Gunung Sinabung Kabupaten Karo Sumatera Utara. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 2(1): 324-332.
- Shoji, S., R. Dahlgren, and M. Nanzyo. 1993. Genesis of volcanic ash soils. Pp 37-71. *In* S. Shoji, M. Nanzyo, and R. Dahlgren (Eds.). *Volcanic Ash Soils. Genesis, Properties, and Utilizations. Development in Soil Science* 21. Elsevier, Amsterdam.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy. Twelfth Edition. Natural Resources Conservation Service-United States Department of Agriculture, Washington DC.* 362 p.
- Subardja, D., S. Ritung, M. Anda, Sukarman, E. Suryani, dan R.E. Subandiono. 2014. *Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, Bogor.* 45 hlm.
- Sukarman. 2005. *Identifikasi Unsur-unsur Satuan Peta Tanah Semi Detail Menggunakan Citra Satelit Landsat-7 ETM dan Model Elevasi Digital di Daerah Bogor. Disertasi Doktor. Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.* 246 hlm.
- Suriadikarta, D.A. 2012. Identifikasi sifat kimia abu vulkan, tanah, dan air yang terkena dampak letusan Gunung Merapi. Hlm 65-73. *Dalam Kajian Cepat Dampak Erupsi Gunung Merapi 2010 Terhadap Sumberdaya Lahan dan Inovasi Rehabilitasinya. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.*
- Sutanto. 1992. Peranan teknik penginderaan jauh untuk survei tanah. Hlm 55-64. *Dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Pembakuan Sistem Klasifikasi dan Metode Survei Tanah. Cibinong, 29-31 Agustus 1988. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Tim Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2014. *Laporan Hasil Kajian dan Pengembangan Pertanian Berbasis Inovasi di Wilayah Bencana Erupsi Gunung Sinabung, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.* 24 hlm.
- Yoshimoto, M., S. Nakada, N. Hokanishi, M. Iguchi, T. Ohkura, M. Hendrasto, A. Zaennudin, A. Budiando, dan O. Prambada. 2013. *Eruption history and future scenario of Sinabung volcano, North Sumatra, Indonesia. IAVCEI, Scientific Assembly - July 20 - 24, 2013, Kagoshima, Japan.*