



---

**ARTIKEL RISET**URL Artikel : <http://ejournal.helvetia.ac.id/index.php/jkg>

### PENGUKURAN PAPARAN PARTICULATE MATTER SATU (PM<sub>1</sub>) DAN CO<sub>2</sub> SERTA KELUHAN KESEHATAN PADA MASYARAKAT PASCA ERUPSI GUNUNG SINABUNG

*Particulate Matter One Exposure (PM<sub>1</sub>) and CO<sub>2</sub> and Its Effects on the  
Health of Islanders due to Volcanic Ash of Mt. Sinabung*

**Yenni Gustiani Tarigan<sup>1(K)</sup>, Siti Maimunah<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Department of Public Health, Sari Mutiara Indonesia University, Medan, Indonesia

<sup>2</sup> Department of Pharmacist and Food Analyst, Sari Mutiara Indonesia University, Medan, Indonesia  
Email Penulis Korespondensi: [yennigangustiani@gmail.com](mailto:yennigangustiani@gmail.com); [yenni@sari-mutiara.ac.id](mailto:yenni@sari-mutiara.ac.id)

---

#### Abstrak

Erupsi gunung dapat menyebabkan distribusi penyebaran abu yang sangat besar sehingga dapat berdampak buruk pada kesehatan masyarakat seperti keluhan pernapasan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengukur konsentrasi paparan PM<sub>1</sub> dan gas CO<sub>2</sub> dalam ruangan serta mengevaluasi keluhan kesehatan pada masyarakat akibat abu vulkanik pasca letusan Gunung Sinabung. Penelitian ini adalah penelitian analitik korelasi dengan pendekatan *cross sectional*. Populasi penelitian adalah rumah tangga yang bertempat tinggal di Desa Perbesi, Payung dan Gurukinayan Kabupaten Karo, Sumatera Utara dengan jumlah sampel sebanyak 60 orang. Kruskal Wallis, Mann Whitney U test dan analisis multivariat kovarian (MANCOVA) digunakan pada analisis data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mean konsentrasi paparan PM<sub>1</sub> yang tertinggi berada pada Desa Perbesi sebesar 103µg/m<sup>3</sup> lalu Gurukinayan sebesar 46µg/m<sup>3</sup>. Untuk paparan gas CO<sub>2</sub>, konsentrasi tertinggi terdapat pada Desa Perbesi sebesar 483ppm dan Payung sebesar 428ppm. Hal ini berarti bahwa konsentrasi PM<sub>1</sub> dan CO<sub>2</sub> berada di atas standar WHO *indoor air quality*. Uji bivariat menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan antara konsentrasi PM<sub>1</sub> dan CO<sub>2</sub> di ketiga desa (p-value 0.00) dan terdapat perbedaan yang signifikan antara konsentrasi PM<sub>1</sub> dan CO<sub>2</sub> pada zona desa (p-value 0.00). Uji MANCOVA menunjukkan bahwa paparan PM<sub>1</sub> berpengaruh pada keluhan kesehatan mata (p-value 0.000), keluhan kesehatan pernapasan (p-value 0.002), dan keluhan kesehatan kulit (p-value 0.020). Dapat disimpulkan bahwa paparan partikel abu vulkanik gunung Sinabung dapat membawa efek kesehatan pernapasan, kulit dan mata jika penduduk terus terpapar debu baik dalam jangka waktu yang singkat maupun panjang. Diharapkan kepada masyarakat selalu melakukan pencegahan dengan menggunakan masker saat keluar rumah, membersihkan debu-debu dalam rumah dan evakuasi ke tempat lain saat gunung mengalami erupsi.

**Kata Kunci:** Paparan, *Particulate Matter* (PM<sub>1</sub>), CO<sub>2</sub>, Keluhan Kesehatan

#### Abstract

*Mountain eruption can cause a very large distribution of the spread of ash which can have a negative impact on public health such as respiratory complaints. The purpose of this study was to measure the concentration of exposure to PM<sub>1</sub> and CO<sub>2</sub> in the room and evaluate health complaints in the community due to volcanic ash after the eruption of Mount Sinabung. This study is a correlation analytic study with a cross sectional approach. The study population was households that lived in*

*Perbesi, Payung and Gurukinayan Villages Sumatera Utara with a total sample of 60 people. Kruskal Wallis, Mann Whitney U test and multivariate covariance analysis (MANCOVA) were used in the analysis data. The results showed that the highest mean PM<sub>1</sub> exposure concentration was in the village of Perbesi at 103µg/m<sup>3</sup> then Gurukinayan at 46µg/m<sup>3</sup>. For CO<sub>2</sub> gas exposure, the highest concentration was found in the Perbesi village of 483ppm and Umbrella at 428ppm. This means that the concentration of PM<sub>1</sub> and CO<sub>2</sub> is above the WHO standard indoor air quality. Bivariate test showed that there were significant differences between PM<sub>1</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations in all three villages (p-value = 0.00) and there were significant differences between PM<sub>1</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations in the village zone (p-value = 0.00). The MANCOVA test showed that PM<sub>1</sub> exposure had an effect on eye health complaints (p = 0.000), respiratory health complaints (p = 0.002), and skin health complaints (p = 0.020). It can be concluded that the eruption of Mount Sinabung can bring bad health effects if the population continues to be exposed to volcanic ash dust both in short and long periods of time. It is expected to always take precautions by using a mask when going out, cleaning dust in the house and evacuating to a place far away when the mountain erupts.*

**Keywords:** *exposure, particulate matter (PM<sub>1</sub>), CO<sub>2</sub>, health complaints*

## PENDAHULUAN

Gunung Sinabung merupakan gunung aktif yang berada di Kecamatan Kabanjahe, Kabupaten Karo, Sumatera Utara. Gunung ini meletus dan memuntahkan asap, debu vulkanik dan lava pertama sekali pada bulan Agustus tahun 2010. Debu Gunung Sinabung dimuntahkan dari barat daya ke timur laut. Letusan Gunung Sinabung telah terjadi beberapa kali dan memuntahkan debu vulkanik setinggi 3 km. Kekuatan gempa akibat letusan ini dirasakan di daerah radius 25 km di sekitar gunung bahkan debu vulkanik terlempar hingga mencapai 5.000 m di udara (1). Sekitar dua belas ribu orang diungsikan dan ditampung di delapan lokasi dan satu orang dilaporkan meninggal karena gangguan pernapasan saat dilarikan dari rumahnya.

Gunung Sinabung juga meletus beberapa kali dari pagi hingga malam hari pada bulan September tahun 2013. Tidak ada peringatan dini dan tidak ada tanda dalam meningkatnya aktivitas gunung ini. Debu vulkanik mencapai hingga ke daerah Sibolangit dan Brastagi. Tidak ada korban dilaporkan tetapi ribuan orang harus dievakuasi ke daerah yang aman. Status Gunung Sinabung telah meningkat dari level ketiga kelevel awas (level keempat) karena peristiwa letusan besar. Peningkatan aktivitas Gunung Sinabung dan letusan besar beberapa kali terjadi dan ledakan asap panas hingga ke jarak 1,5 km, daerah yang terkena sejauh 80 km sebelah timur dari kota Medan dimana abu vulkanik hujan turun (2, (3). Gunung Sinabung meletus dengan magma, asap dan debu juga tahun 2016. Tujuh orang tewas dan dua orang terluka kritis. Semua korban dilaporkan yang berada di zona merah di Desa Gamber yang terletak di radius 4 km dari Sinabung Gunung (4). Letusan kecil masih sering terjadi beberapa kali sampai sekarang. Gunung Sinabung mulai beraktifitas kembali memuntahkan lahar dingin dan abu vulkaniknya sebanyak 3 kali sampai semburan vulkanik setinggi 3600 m pada bulan Februari dan Mei 2017. Gunung ini menyemburkan material abu vulkanik hingga empat kilometer (5). Dengan amplitudo 120 milimeter dan lama gempa vulkanik 343 detik, angin bergerak perlahan ke arah tenggara. Naik dan turunnya aktivitas gunung berapi menyebabkan masalah pengungsi lokal dengan mengevakuasikan masyarakat dari rumah mereka ke posko-posko pengungsian. Hal inilah yang menyebabkan distribusi penyebaran abu yang sangat besar di Kabupaten Karo sehingga dapat mengakibatkan kemungkinan tingginya konsentrasi partikel debu baik partikel halus maupun partikel kasar di pemukiman penduduk yang dapat berdampak buruk pada kesehatan masyarakat seperti keluhan pernapasan.

Beberapa penelitian telah dievaluasi apakah debu vulkanik dari letusan gunung mungkin meningkatkan konsentrasi polutan dan mempengaruhi gejala pernapasan. Sebuah penelitian dari *British West Indis* menemukan bahwa konsentrasi abu vulkanik di udara meningkat dibeberapa bagian

pulau yang paling dekat dengan gunung berapi selama musim kering dan berada pada risiko peningkatan silikosis ringan yang sering terkena paparan tinggi abu vulkanik (6). Sebuah penelitian menemukan bahwa ada hubungan positif antara paparan abu vulkanik dari letusan Gunung Etna pada tahun 2002 dan dampak kesehatan akut pada warga Catania (7). Longo juga menyatakan bahwa daerah pengeluaran gas akibat vulkanik aktif memiliki efek buruk pada kesehatan kardiorespirasi pada orang dewasa seperti, batuk dahak, rhinorrhea, sakit tenggorokan kering, sinusitis, mengi, iritasi mata dan bronkitis karena polusi udara dari emisi vulkanik dari Gunung Kilauea, Hawaii (8). Temuan lain juga memberikan bukti bahwa durasi yang lama terhadap paparan ambient tingkat tinggi partikel abu yang terhirup dari gunung berapi berdampak buruk terhadap kesehatan pernapasan anak-anak di Montserrat (9). Begitu juga sebuah ulasan studi menemukan bahwa paparan abu vulkanik juga mengakibatkan gangguan pernapasan akut dan efek singkat keterpaparan (10).

Meskipun Pemerintah dan Dinas Kesehatan wilayah Kabupaten Karo mengingatkan tentang membatasi pemaparan abu vulkanik dengan memakai masker saat keluar rumah. Data dari Dinas Kesehatan selama periode November 2013 sampai 7 Februari 2014, jumlah orang yang mengunjungi pelayanan kesehatan tercatat 143.446 kunjungan didominasi oleh enam penyakit, seperti gastritis 25.607 kunjungan, infeksi pernapasan akut 88.986 kunjungan, konjungtivitas 3.834 kunjungan, diare 5.315 kunjungan, hipertensi 4.409 kunjungan, kecemasan 1.414 kunjungan dan lain-lain 13.785, dan beberapa ulasan studi mengatakan efek kesehatan ini terjadi mungkin karena polutan biologis atau partikel debu dan kristobalit yang terhirup (6). Jumlah tertinggi penyakit pasien akibat bencana gunung berapi ini adalah infeksi saluran pernafasan akut, sekitar 53%. Sebelum aktivitas gunung berapi, prevalensi infeksi saluran pernafasan akut adalah 15% di Kabupaten Karo, selama aktivitas bencana gunung berapi prevalensi meningkat menjadi 30-50%, dan kemudian setelah dilakukan intervensi terhadap bencana terjadi penurunan prevalensi 20% (11)(12).

Dari survey awal yang dilakukan peneliti pada beberapa daerah ataupun desa sekitar erupsi Gunung Sinabung bulan Mei 2017, kampung-kampung sudah ditutupi oleh debu-debu yang sangat tebal termasuk juga atap rumah-rumah penduduk. Hal ini terlihat di luar rumah, baik di halaman dan teras rumah masyarakat yang sangat kotor karena debu erupsi. Sehingga tidak menutup kemungkinan bahwa konsentrasi partikel debu yang tinggi di dalam rumah dapat terjadi dan dapat mengakibatkan efek kesehatan yang buruk bagi penghuninya jika terpapar debu dalam waktu yang lama. Belum terdapat penelitian terdahulu (*study literature*) yang melakukan pengukuran secara langsung terhadap konsentrasi partikel ataupun gas kimia pasca erupsi gunung Sinabung di Kabupaten Karo, padahal pengukuran kualitas udara di dalam rumah penduduk sangatlah penting karena kita dapat mengetahui apakah konsentrasi sudah melebihi nilai ambang batas kesehatan udara ruangan atau tidak. Tidak hanya itu, pada lahan pertanian masyarakat juga berdampak dengan tidak menghasilkan produksi yang baik akibat polusi udara dan abu vulkanik sehingga sangat menurunkan hasil produksi dan pendapatan penduduk Tanah Karo.

Akibat cukup tingginya jumlah Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA) dan berbagai efek kesehatan yang dilaporkan dari Dinas Kesehatan Kabupaten Karo dan juga tingginya polutan udara akibat abu vulkanik erupsi di desa-desa sekitar Gunung Sinabung pasca erupsi. Maka dari itu, penting dilakukan pengukuran konsentrasi partikel debu di dalam rumah untuk melihat kualitas udara ruangan. Sehingga tujuan penelitian ini yaitu untuk mengukur konsentrasi paparan partikel debu PM<sub>1</sub> dan gas CO<sub>2</sub> dan mengevaluasi keluhan kesehatan pada masyarakat terhadap paparan PM<sub>1</sub> dan CO<sub>2</sub> pasca erupsi Gunung Sinabung di Kabupaten Karo.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian analitik korelasi dengan pendekatan *cross sectional*. Penelitian ini dilakukan di Desa Payung dan Desa Gurukinayan, Kecamatan Payung (desa yang berada di dekat zona merah) serta Desa Perbesi, Kecamatan Tiga Binanga (desa yang berada jauh dari zona merah) Kabupaten Karo. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Agustus

2018. Populasi penelitian adalah seluruh jumlah rumah tangga yang bertempat tinggal di Desa Perbesi sebanyak 952 rumah tangga, Desa Payung sebanyak 583 rumah tangga dan Desa Gurukinayan sebanyak 702 rumah tangga yang telah terpapar debu gunung Sinabung bertahun-tahun. Jumlah sampel penelitian sebanyak 60 rumah tangga dengan teknik pengambilan sampel yang dilakukan adalah *purposive sampling*. Jumlah rumah yang diukur konsentrasi partikel udaranya sebanyak 25 rumah di desa Payung, 25 rumah di desa Perbesi dan 10 rumah di desa Gurukinayan karena penduduk di desa Gurukinayan telah banyak mengungsi di daerah lain.

Penelitian ini dilakukan dengan mengukur kualitas udara di dalam ruangan rumah penduduk dengan instrumen pembacaan langsung (AS-LUNG tipe 0019, Academia Sinica Taiwan) yaitu mengukur kadar partikel debu PM<sub>1</sub> dan gas CO<sub>2</sub>. Instrumen yang telah diatur dan dikalibrasi akan merekam jumlah konsentrasi paparan partikel. Kemudian hasil pengukuran dari instrumen tersebut dapat diunduh. Pengukuran PM<sub>1</sub> dan CO<sub>2</sub> dilakukan dalam periode waktu 10 menit pada satu rumah. Karakteristik lingkungan lainnya, seperti karakteristik bangunan, jenis ventilasi, dan penggunaan pestisida di dalam rumah diinvestigasi oleh peneliti dalam wawancara kuesioner.

Keluhan kesehatan pada responden dievaluasi dengan wawancara menggunakan lembar kuesioner. Peneliti menggunakan kuesioner untuk mengumpulkan data tentang data demografi, karakteristik pekerjaan, keluhan kesehatan, dan riwayat medis responden sebelumnya. Wawancara dan pengisian lembar kuesioner dilakukan bersamaan dengan pengukuran paparan partikel di rumah penduduk oleh peneliti.

Analisis bivariat dengan Kruskal Wallis digunakan untuk menganalisis perbedaan konsentrasi partikel debu yang diukur pada ketiga desa tersebut dan Mann Whitney U test digunakan untuk menganalisis perbedaan konsentrasi partikel debu antara jarak (zona) desa dari gunung Sinabung. *Multivariate analysis of covariance* (MANCOVA) digunakan untuk mengevaluasi dampak kesehatan responden terhadap paparan partikel debu. Model kovarians yang dapat dipertukarkan (*interchangeable covariance model*) akan digunakan untuk menyesuaikan korelasi antar responden.

## HASIL PENELITIAN

Desa Payung dan Gurukinayan merupakan desa yang berada pada zona merah erupsi gunung Sinabung dan desa perbesi merupakan zona aman dari wilayah erupsi gunung Sinabung. Tabel 1 menunjukkan bahwa karakteristik responden mayoritas adalah perempuan (66,7%), dengan index masa tubuh adalah berat badan ideal (56,7%), tingkat pendidikan mayoritas adalah SMA (48,3%), dan pekerjaan responden mayoritas adalah sebagai petani (63,3%).

**Tabel 1.**  
**Distribusi Karakteristik Responden**

Karakteristik	n	Persentase
<b>Jenis Kelamin</b>		
Laki-laki	20	33,3
Perempuan	40	66,7
<b>IMT</b>		
Berat Badan Kurang	2	3,3
Berat Badan Ideal	34	56,7
Berat Badan Lebih	19	31,7
Gemuk	5	8,3
<b>Pendidikan</b>		
Tidak Sekolah	3	5,0
SD	5	8,3
SMP	14	23,3

SMA	29	48,3
Perguruan Tinggi	9	15,0
<b>Pekerjaan</b>		
Petani	38	63,3
PNS	3	5,0
Karyawan	2	3,3
Lain-lain	17	28,3

Berdasarkan tabel 2 menunjukkan bahwa konsentrasi paparan  $PM_1$  tertinggi berada di Desa Perbesi sebesar  $103\mu g/m^3$  dan desa Gurukinayan sebesar  $46\mu g/m^3$ , sedangkan konsentrasi paparan gas  $CO_2$  tertinggi di Desa Perbesi sebesar 483ppm (atau sebesar  $483,000\mu g/m^3$ ) dan Desa Payung sebesar 428ppm (atau sebesar  $428,000\mu g/m^3$ ). Hal ini dapat dilihat bahwa menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah, konsentrasi paparan  $PM_1$  berada diatas konsentrasi paparan  $PM_{2,5}$ . Paparan  $PM_1$  lebih berbahaya dibandingkan  $PM_{2,5}$  karena diameter yang dimiliki  $PM_1$  lebih kecil dibandingkan  $PM_{2,5}$ , tetapi belum ada nilai ambang batas yang ditetapkan di Indonesia terkait konsentrasi  $PM_1$ . Tabel dibawah menunjukkan bahwa konsentrasi gas  $CO_2$  dalam rumah penduduk berada dibawah nilai ambang batas menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 Tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah yaitu sebesar 1,000 ppm/8jam. Kruskal-wallis test menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan paparan  $PM_1$  dan  $CO_2$  diantara ketiga desa di Kabupaten Karo (p-value = 0.00) serta Mann-Whitney Test menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan antara paparan  $PM_1$  dan  $CO_2$  dengan zona (jarak) desa (p-value = 0.00) dengan erupsi gunung Sinabung di Kabupaten Karo.

**Tabel 2.**  
**Perbandingan konsentrasi  $PM_1$  dan  $CO_2$  berdasarkan desa dan zona desa**

Parameter/Desa	Payung (n=25)	Gurukinayan (n=10)	Perbesi (n=25)	P-value*	P-value**
$PM_1$ ( $\mu g/m^3$ )	16,34 (22,50)	46 (38,23)	103,28 (67,66)	0,00	0,00
$CO_2$ (ppm)	428,80 (41,48)	427,90 (28,26)	483,77 (23,28)	0,00	0,00

Tabel 3 menunjukkan bahwa terdapat hubungan paparan  $PM_1$  dan  $CO_2$  (p-value 0,00) dengan keluhan kesehatan mata pasca erupsi gunung Sinabung. Koefisien determinasi regresi menunjukkan nilai 0,477 yang artinya bahwa variabel  $PM_1$  mampu menjelaskan variasi keluhan kesehatan mata pada masyarakat pasca erupsi di Kabupaten Karo sebesar 47,7% dan koefisien determinasi regresi menunjukkan nilai 0,258 yang artinya bahwa variabel  $CO_2$  mampu menjelaskan variasi keluhan kesehatan mata pada masyarakat pasca erupsi di Kabupaten Karo sebesar 25,8%. Hasil diatas juga menunjukkan bahwa terdapat hubungan paparan  $PM_1$  (p-value 0,002) dan  $CO_2$  (p-value 0,03) dengan keluhan kesehatan pernapasan pasca erupsi gunung Sinabung. Koefisien determinasi regresi menunjukkan nilai 0,152 yang artinya bahwa variabel  $PM_1$  mampu menjelaskan variasi keluhan kesehatan pernapasan pada masyarakat pasca erupsi di Kabupaten Karo sebesar 15,2% dan koefisien determinasi regresi menunjukkan nilai 0,078 yang artinya bahwa variabel  $CO_2$  mampu menjelaskan variasi keluhan kesehatan pernapasan pada masyarakat pasca erupsi di Kabupaten Karo sebesar 7,8%. Pada tabel diatas juga menunjukkan bahwa terdapat hubungan paparan  $PM_1$  (p-value 0,02) dan  $CO_2$

(p-value 0,03) dengan keluhan kesehatan kulit pasca erupsi gunung Sinabung. Koefisien determinasi regresi menunjukkan nilai 0,090 yang artinya bahwa variabel  $PM_1$  mampu menjelaskan variasi keluhan kesehatan kulit pada masyarakat pasca erupsi di Kabupaten Karo sebesar 9% dan koefisien determinasi regresi menunjukkan nilai 0,075 yang artinya bahwa variabel  $CO_2$  mampu menjelaskan variasi keluhan kesehatan kulit pada masyarakat pasca erupsi di Kabupaten Karo sebesar 7,5%.

**Tabel 3.**  
**Hubungan paparan  $PM_1$  dan  $CO_2$  terhadap keluhan kesehatan pasca erupsi gunung Sinabung**

Variabel	Keluhan Kesehatan Mata		
	$R^2$	F	p-value
$PM_1$	,477	52,949	,000
$CO_2$	,258	20,190	,000
Variabel	Keluhan Kesehatan Pernapasan		
	$R^2$	F	p-value
$PM_1$	,152	10,413	,002
$CO_2$	,078	4,911	,031
Variabel	Keluhan Kesehatan Kulit		
	$R^2$	F	p-value
$PM_1$	,090	5,763	,020
$CO_2$	,075	4,725	,034

Berdasarkan hasil uji *General Linear Model* (GLM) pada tabel 4, didapatkan model regresi tersebut dapat diinterpretasikan bahwa terdapat pengaruh paparan  $PM_1$  terhadap keluhan kesehatan mata seperti mata merah, berair dan gatal pada masyarakat pasca erupsi Sinabung di Kabupaten Karo dengan nilai koefisien  $b_1=0,054$ , sedangkan tidak terdapat pengaruh  $PM_{2.5}$  dan  $PM_{10}$  terhadap keluhan pernapasan dan kulit pada masyarakat.

**Tabel 4.**  
**Pengaruh paparan *particulate matter* terhadap keluhan kesehatan mata pasca erupsi gunung Sinabung**

Variabel Lingkungan	B	p.
Constanta	7.991	.000
$PM_1$	.054	.022
$PM_{2.5}$	.143	.008

## PEMBAHASAN

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan di United States tentang erupsi vulkanik dari gunung Kilauea, bahwa kadar partikel debu ambien dan dalam ruangan akibat pencemaran abu vulkanik berada diatas nilai paparan rekomendasi dari WHO (8). Penelitian yang dilakukan di Islandia juga menyatakan bahwa perhatian khusus partikel utama adalah potensi letusan gunung berapi Islandia di masa depan dapat menghasilkan abu vulkanik halus sehingga sangat mudah terhirup dan dapat meningkatkan konsentrasi ambien partikel di udara(13)(14). Hal ini dapat dilihat bahwa konsentrasi paparan  $PM_1$  diatas konsentrasi paparan  $PM_{2.5}$  menurut Peraturan Menteri

Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah. Nilai ambang batas yang diperkenankan untuk  $PM_{2,5}$  adalah  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dalam 24 jam. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa paparan  $PM_1$  juga telah melebihi nilai ambang batas  $PM_{2,5}$  yaitu sebesar  $103,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di desa Perbesi dan  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di desa Gurukinayan. Belum terdapat nilai ambang batas yang ditetapkan untuk paparan  $PM_1$  di Indonesia sehingga peneliti membandingkan dengan konsentrasi  $PM_{2,5}$  karena peneliti-peneliti terdahulu sudah menemukan bahwa konsentrasi  $PM_{2,5}$  di dalam ruang yang tinggi dapat mengakibatkan efek pernapasan yang sangat buruk bagi manusia, begitu jugalah sebaliknya dengan konsentrasi  $PM_1$  yang tinggi di dalam ruang karena  $PM_1$  memiliki diameter yang sangat kecil bahkan dapat lebih kecil dari  $< 1$  mikron.

Hasil penelitian ini menemukan bahwa ketiga desa tersebut menghasilkan nilai konsentrasi gas  $CO_2$  di dalam ruang berada di bawah nilai ambang batas menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah yaitu sebesar  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (15). Hasil studi ini tidak sejalan dengan penelitian yang dilakukan di Portugal tentang bahaya gas *indoor*  $CO_2$  di lingkungan vulkanik, bahwa konsentrasi lethal gas  $CO_2$  dalam ruangan lebih tinggi dari pada vol % yang diukur pada setiap selter pada desa Furnas, daerah dekat dengan erupsi gunung Furnas. Tingkat bahaya konsentrasi  $CO_2$  terdeteksi tidak hanya pada lantai bawah tanah tetapi juga pada lantai dasar (16). Penelitian pada *Japanese island of Miyakejima* menemukan bahwa letusan gunung Oyama meningkatkan konsentrasi gas  $SO_2$  yang diukur pada 6 stasiun monitoring setiap tahunnya dari tahun 2006-2011 dan akibatnya meningkatkan prevalensi gejala batuk, iritasi tenggorokan, hidung berair, dan iritasi mata walaupun penduduk dewasa di pulau Miyakejima tidak menunjukkan penurunan fungsi paru pada tingkat  $SO_2$  (17). Konsentrasi gas  $CO_2$  yang rendah dalam ruang rumah penduduk mungkin dikarenakan pengukuran kualitas udara yang dilakukan sangat singkat yaitu sekitar 10 menit/rumah dan instrumen yang digunakan bukan alat yang khusus untuk mengukur gas  $CO_2$  terendiri.

Studi ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan paparan  $PM_1$  dan  $CO_2$  dengan keluhan kesehatan mata seperti mata merah, berair dan gatal karena iritasi, pernapasan seperti batuk, sesak dan tenggorokan kering serta kulit seperti kulit merah, gatal dan kering ( $p\text{-value}=0,00$ ) pasca erupsi gunung Sinabung di Kabupaten Karo. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan di Uruguay tentang paparan partikel debu pasca erupsi vulkanik gunung Puyehue menemukan bahwa setiap peningkatan  $10 \text{mg}/\text{m}^3$  paparan  $PM_{10}$  abu vulkanik selama trimester ketiga pada ibu hamil yang tinggal di sekitar gunung dikaitkan kemungkinan yang lebih tinggi kelahiran premature (18). Studi ini juga sejalan dengan hasil penelitian oleh Longo tahun 2009 menemukan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara paparan abu vulkanik dengan batuk, kerongkongan kering, rhinorrhea, tersumbat, mengi, iritasi mata, dan bronkitis yang didiagnosis serta tiga puluh lima persen informan merasa bahwa kesehatan mereka dipengaruhi oleh letusan, terutama pada perokok dan mereka yang menderita penyakit pernapasan kronis (8). Penelitian yang dilakukan oleh Tam menghasilkan nilai konsentrasi  $PM_{2,5}$  dan partikel asam yang berbeda-beda pada empat daerah pengukuran abu yang berbeda selama erupsi gunung Kilauea dan secara epidemiologi pajanan kronik dari partikel asam signifikan berhubungan dengan peningkatan batuk dan memungkinkan menurunkan fungsi paru pada anak usia sekolah di pulau Hawaii, tetapi tidak signifikan pada penyakit asma atau bronchitis (19). Studi yang dilakukan di kepulauan Azores, daerah dengan gunung api aktif yang terletak di Samudera Atlantik menemukan bahwa terdapat hubungan polusi udara vulkanik dengan penyakit pernapasan, cacat reistik, dan defek obstruktif (COPD) pada manusia yang tinggal di daerah gunung aktif (20).

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan penelitian. Pertama, jumlah sampel yang diteliti pada setiap desa sangat sedikit dari jumlah populasi yang ada karena banyak penduduk yang masih berada di daerah evakuasi pengungsian terutama penduduk Desa Gurukinayan. Oleh karena itu, kami hanya mengevaluasi dampak pencemaran debu dalam ruangan sebanyak 60 rumah yang berpenghuni terhadap kesehatan penduduk sehingga membatasi generalisasi hasil kami. Namun, efek buruk dari

paparan partikel abu vulkanik terhadap kesehatan pernapasan, mata dan kulit pasca erupsi sangat jelas. Kedua, kami menggunakan kuesioner yang dilaporkan sendiri untuk mengevaluasi parameter lingkungan dan kesehatan yang dirasakan masyarakat. Sehingga, bias dan tekanan sosial mungkin telah menghasilkan gejala kesalahan klasifikasi atau kurang dilaporkan. Pada yang terakhir, waktu pengukuran partikel udara dalam ruangan di penelitian ini sangat singkat yaitu sekitar 10 menit sehingga tidak terlalu valid jumlah konsentrasi yang dihasilkan untuk standar nilai ambang batas sesuai Permenkes RI Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 yaitu dalam 8 jam atau 24 jam pengukuran. Karena itu, penelitian selanjutnya harus dilakukan secara longitudinal terhadap paparan partikel abu vulkanik dan risiko kesehatan secara kelompok besar-besaran.

#### **KESIMPULAN**

Dapat disimpulkan bahwa konsentrasi paparan PM<sub>1</sub> dalam rumah penduduk berada diatas nilai ambang batas menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 dan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dalam rumah penduduk berada di bawah nilai ambang batas menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah. Begitu juga, terdapat pengaruh paparan PM<sub>1</sub> dan CO<sub>2</sub> dari abu vulkanik dalam ruangan rumah terhadap keluhan kesehatan mata, pernapasan, dan kulit pada masyarakat di Kabupaten Karo pasca erupsi gunung Sinabung.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi sesuai dengan Kontrak Penelitian Nomor: 131/K1.1/LT.1/2018 atas bantuan dana Penelitian Dosen Pemula serta kepada Kepala Desa Payung, Perbesi, Gurukinayan dan para partisipan yang telah berpartisipasi pada penelitian ini.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

1. Barasa RF, Rauf A, Sembiring M. Dampak Debu Vulkanik Letusan Gunung Sinabung terhadap Kadar Cu, Pb, dan B Tanah di Kabupaten Karo. *J Agroekoteknologi Univ Sumatera Utara*. 2013;1(4).
2. Kodong FR. Aplikasi Penentuan Status Gunung Berapi Menggunakan Telemetry Suhu. In: *Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF)*. 2015.
3. Herwanda M. Analisis Spektral dan Parameter Sumber Gempa Vulkanik di Gunungapi Sinabung Sumatera Utara. [Skripsi]. Universitas Lampung; 2016.
4. Tarigan B, Stephanie H. Aspek Hibah Tanah Hutan Produksi yang Diberikan Kepada Pengungsi Gunung Sinabung. [Tesis]. Universitas Sumatera Utara; 2018.
5. Tarigan SP. Pembukaan Lahan Oleh Pengungsi Sinabung Asal Sukanalu (Studi Kasus Hutan Lindung di Perbatasan Kabupaten Karo-Langkat). [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara; 2018.
6. Searl A, Nicholl A, Baxter PJ. Assessment of the Exposure of Islanders to Ash from the Soufriere Hills volcano, Montserrat, British West Indies. *Occup Environ Med*. 2002;59(8):523–31.
7. Lombardo D, Ciancio N, Campisi R, Di Maria A, Bivona L, Poletti V, et al. A Retrospective Study on Acute Health Effects Due to Volcanic Ash Exposure During the Eruption of Mount Etna (Sicily) in 2002. *Multidiscip Respir Med*. 2013;8(1):51.
8. Longo BM. The Kilauea Volcano Adult Health Study. *Nurs Res*. 2009;58(1):23–31.
9. Forbes L, Jarvis D, Potts J, Baxter PJ. Volcanic Ash and Respiratory Symptoms in Children on the Island of Montserrat, British West Indies. *Occup Environ Med*. 2003;60(3):207–11.
10. Gudmundsson G. Respiratory Health Effects of Volcanic Ash with Special Reference to Iceland. A Review. *Clin Respir J*. 2011;5(1):2–9.
11. Ketaren SO. Kepemimpinan Krisis Bupati/Kepala Daerah Kabupaten Karo pada Manajemen Kedaruratan Kesehatan Bencana Erupsi Gunung Sinabung. [Disertasi]. Universitas Sumatera Utara; 2016.
12. Firnanda C. Tinjauan Kesejahteraan Sosial Pengemis Penyandang Kusta di Kota Medan.

- [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara;
13. Hidayatusibyan. Penerapan Metode House Of Risk (HOR) pada Pengelolaan Risiko Rantai Pasok Perusahaan Furniture di PT. Cahaya Bintang Olympic. [Tesis]. Universitas Muhammadiyah Gresik; 2018.
  14. Manurung L. Strategi & Inovasi Model Bisnis Meningkatkan Kinerja Usaha: Studi. Jakarta Pusat: Elex Media Komputindo; 2013.
  15. Standar Nasional Indonesia. Nilai Ambang Batas (NAB) zat kimia di Udara Tempat Kerja. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional; 2005.
  16. Viveiros F, Gaspar JL, Ferreira T, Silva C. Hazardous Indoor CO<sub>2</sub> Concentrations in Volcanic Environments. *Environ Pollut.* 2016;214:776–86.
  17. Kochi T, Iwasawa S, Nakano M, Tsuboi T, Tanaka S, Kitamura H, et al. Influence of Sulfur Dioxide on the Respiratory System of Miyakejima Adult Residents 6 Years After Returning to the Island. *J Occup Health.* 2017;59(4):313–26.
  18. Balsa AI, Caffera M, Bloomfield J. Exposures to Particulate Matter from the Eruptions of the Puyehue Volcano and birth Outcomes in Montevideo, Uruguay. *Environ Health Perspect.* 2016;124(11):1816.
  19. Tam E, Miike R, Labrenz S, Sutton AJ, Elias T, Davis J, et al. Volcanic Air Pollution Over the Island of Hawai'i: Emissions, Dispersal, and Composition. Association with Respiratory Symptoms and Lung Function in Hawai'i Island School Children. *Environ Int.* 2016;92:543–52.
  20. Linhares D, Garcia PV, Viveiros F, Ferreira T, Rodrigues A dos S. Air pollution by Hydrothermal Volcanism and Human Pulmonary Function. *Biomed Res Int.* 2015;2015.