

KAJIAN DAMPAK SEBARAN ABU VULKANIK TERHADAP KESEHATAN STUDI KASUS: GUNUNG SINABUNG

Christhopher Andry Jeremia Manurung, S.Si¹ dan Dr. Nurjanna Joko Trilaksono²

¹Alumni Program Studi Meteorologi

²Weather and Climate Prediction Laboratory

Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

Jln. Ganesha No.10 Bandung, Jawa Barat

E-mail: chrisandry.jm@gmail.com; jpatiani@gmail.com

dessytriana@yahoo.co.id

Abstract

The volcanic ash that produced by the eruption of Mount Sinabung was a major problem for the population as a negative impact on health, especially respiratory disorders such as acute respiratory infections (ARI), so this study simulated the spread of volcanic ash of Mount Sinabung using FALL3D model to determine the direction of the spread of volcanic ash. The respiratory disease can result the economic losses due to health care costs needed to treat respiratory diseases. Simulations carried out on the distribution of volcanic ash eruption of Mount Sinabung dated on 5 February 2014 and 22 September 2014 to determine areas prone of volcanic ash that cause the respiratory disease in the population. This study was conducted to assess the economic losses that may occur as a result of the eruption of Mount Sinabung by using damage and loss assessment (DaLA) method.

The results of simulations using FALL3D model on 5 February 2014 resulted the spread of volcanic ash in the southwest to northwest of Mount Sinabung and can endanger four districts, the District Tiga Binanga, Juhar, Payung, and Tiganderket while simulating on 22 September 2014 resulted the spread of volcanic ash on north to northeast of Mount Sinabung, which endanger the three districts, namely District Naman Teran, Sei Bingai, and Simpang Empat. By using DaLA method, the economic losses that estimated is high enough at two simulations performed.

Keywords : Sinabung, FALL3D, ARI, DaLA.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Erupsi gunung berapi berbeda dari jenis bencana alam yang lain karena dapat berdampak pada kesehatan (Horwell dkk., 2006). Diperkirakan lebih dari 500 juta orang di seluruh dunia hidup dalam kisaran paparan potensial (100 km) abu vulkanik dari erupsi gunung berapi yang telah aktif dalam catatan sejarah (Small dkk., 2001). Sejak terjadinya erupsi Gunung St. Helens di barat Laut Amerika Serikat, studi kesehatan

yang mempelajari dampak abu vulkanik terus berkembang dan diteliti di laboratorium (Buist dkk., 1982).

Gunung Sinabung merupakan gunung berapi yang terletak di Kabupaten Karo, Sumatera Utara. Gunung Sinabung telah lama tidak aktif sejak terakhir meletus tahun 1600. Setelah 410 tahun, Gunung Sinabung aktif kembali dan mengalami erupsi pertama sejak tahun 1600 pada tanggal 29 Agustus 2010. Erupsi Gunung Sinabung berdampak bagi lingkungan di sekitar gunung terutama bagi kesehatan penduduk. Berdasarkan laporan WCO (*WHO Country Office for*

Indonesia) pada 22 Januari 2014, terdapat enam diagnosis yang paling sering dialami oleh pengungsi erupsi Gunung Sinabung, yaitu infeksi sistem pernafasan, gastritis, darah tinggi, diare, konjungtivitis dan *anxietas*.

Berdasarkan data kesehatan dari Kabupaten Karo pada tanggal 5-11 Februari 2014 yang diperoleh dari <http://www.karokab.go.id>, setiap harinya lebih dari 50% penduduk yang datang ke pos kesehatan mengalami penyakit gangguan pernafasan seperti ISPA (infeksi saluran pernafasan akut). Salah satu faktor penyebab ISPA adalah material partikulat (PM_{10}) sebagai salah satu penyusun material abu vulkanik. Material partikulat (PM_{10}) yang tersebar di udara dapat mengakibatkan banyak penduduk terkena ISPA sehingga dibutuhkan tindakan kesehatan dengan biaya yang relatif tinggi karena membutuhkan obat-obatan antibiotik selain obat-obatan standar penyakit pernafasan.

Dengan persentase lebih dari 50% dari pengungsi erupsi Gunung Sinabung yang terkena penyakit ISPA, maka dibutuhkan biaya pengobatan yang cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan kerugian ekonomi. Misalnya kejadian El Nino pada tahun 1998 dan 1999 di Ekuador menyebabkan 27.681 penduduk terkena ISPA (GFDRR, 2010). Dengan menggunakan metode *damage and loss assessment* / DaLA (kajian kerusakan dan kerugian) dilakukan perhitungan biaya pengobatan ISPA pada kejadian El Nino di Ekuador. Metode DaLA dibutuhkan untuk menghitung nilai finansial dari kerusakan dan kerugian akibat bencana alam (ECLAC, 2003). Untuk sektor kesehatan terutama pada suatu kasus penyakit atau epidemi, perhitungan metode DaLA dilakukan dengan menghitung kerugian ekonomi yang disebabkan suatu penyakit seperti biaya pengobatan yang dibutuhkan. Dari perhitungan DaLA yang dilakukan pada kejadian El Nino di Ekuador, biaya pengobatan ISPA untuk satu orang sebesar US\$ 5 dan total biaya pengobatan untuk semua penderita ISPA adalah US\$ 138.405 (ECLAC, 2003).

Kerugian ekonomi yang dapat terjadi seperti akibat penyakit ISPA dapat diantisipasi dengan kajian simulasi kejadian bencana alam. Simulasi kejadian bencana alam seperti erupsi Gunung Sinabung dapat membantu meminimalisir *potential lost* yang dapat terjadi. Simulasi erupsi Gunung Sinabung dapat dilakukan dengan model sebaran abu vulkanik. Hasil dari simulasi dengan model sebaran abu vulkanik dikaji dengan melakukan analisis berdasarkan keilmuan meteorologi yang kemudian dapat memperkuat kajian dengan metode DaLA. Keilmuan meteorologi diterapkan dalam kajian dengan metode DaLA agar dapat memberikan perhitungan yang lebih akurat. Perhitungan DaLA yang lebih akurat juga dapat didukung dengan media pendukung seperti media sosial. Media sosial dapat berperan dalam menyampaikan informasi secara efektif kepada masyarakat (Ripberger dkk., 2014). Penggunaan media sosial akan membantu dalam mengantisipasi *potential lost* dari suatu bencana alam melalui penyampaian informasi yang dapat dipercaya.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis terhadap simulasi sebaran abu vulkanik Gunung Sinabung dengan model FALL3D dan melakukan perhitungan DaLA yang lebih akurat dengan berdasarkan ilmu meteorologi.

2. METODOLOGI

2.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini sebagai inputan untuk model FALL3D adalah data model regional hasil dari *running* model skala meso WRF dengan masukan data model global *final analysis* (FNL) beserta data vulkanologi yang diperoleh dari laporan *Volcanic Ash Advisory Center* (VAAC) Darwin. Sebagai validasi hasil keluaran dengan model FALL3D, akan digunakan data citra satelit MODIS (dapat diperoleh dari <http://modis.gsfc.nasa.gov>).

Data kesehatan yang akan digunakan pada penelitian ini diperoleh dari laman pemerintah Kabupaten Karo yang diperoleh dari <http://www.karokab.go.id>. Sedangkan data pendukung yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa data media sosial (*Twitter*) yang diperoleh dari situs <http://www.topsy.com>.

2.2. Metode

2.2.1. Menjalankan Simulasi Sebaran Abu Vulkanik

Simulasi persebaran abu vulkanik Gunung Sinabung dilakukan dengan menggunakan model FALL3D (<http://bsccase02.bsc.es/projects/fall3d/> dan <http://datasim.ov.ingv.it/Fall3d.html>). Simulasi dilakukan dengan menggunakan data model regional hasil dari *running* model skala meso WRF dengan *nesting* yang dilakukan hingga 1 km. Simulasi dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada kondisi saat terjadi bulan-bulan monsun barat (Asia) yaitu pada tanggal 5 Februari 2014 dan bulan-bulan monsun timur (Australia) yaitu pada tanggal 22 September 2014.

2.2.2. Validasi Medan Angin

Validasi medan angin dilakukan dengan data observasi yang diperoleh dari ogimet (<http://www.ogimet.com>) dengan tujuan untuk melihat apakah medan angin yang disimulasikan sudah baik. Pada validasi ini dilakukan dengan perbandingan diagram mawar angin antara data medan angin dari observasi dengan data hasil keluaran model skala meso WRF untuk melihat representatif kecepatan dan arah angin dengan lebih efisien.

2.2.3. Analisis Sebaran Abu Vulkanik

Setelah *output* dari model FALL3D dihasilkan, akan dibandingkan secara kualitatif dengan citra dari satelit MODIS. Validasi *output* model FALL3D penting dilakukan untuk melihat akurasi *output* yang dihasilkan oleh model FALL3D. Setelah mengetahui arah persebaran abu vulkanik, akan ditinjau daerah-daerah yang rawan terkena abu vulkanik pada dua kondisi yang dilakukan.

2.2.4. Analisis Dampak Abu Vulkanik Terhadap Kesehatan

Analisis dampak abu vulkanik terhadap kesehatan difokuskan kepada penyakit infeksi saluran pernafasan akut (ISPA). Penyebab ISPA salah satunya yaitu material partikulat yang terkandung pada abu vulkanik. Hasil keluaran dari model FALL3D dapat memberikan keterangan nilai konsentrasi material penyusun abu vulkanik seperti partikulat dengan ukuran 5 μm (PM_{5}), 10 μm (PM_{10}), dan 20 μm (PM_{20}). Namun yang akan dikaji pada penelitian ini adalah partikulat dengan ukuran 10 μm (PM_{10}). Untuk menganalisis nilai konsentrasi partikulat didasarkan kepada peraturan pemerintah RI No.41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara dengan baku mutu udara ambien nasional selama 24 jam untuk PM_{10} adalah 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsep dasar untuk menganalisis nilai konsentrasi partikulat PM_{10} adalah dengan menghitung indeks standar pencemar udara (ISPU). Dalam melakukan perhitungan ISPU untuk PM_{10} , digunakan tabel Batas ISPU (Tabel 2.1).

Tabel 1. Batas ISPU untuk PM_{10}

ISPU	24 Jam PM_{10} $\mu\text{g}/\text{m}^3$
50	50
100	150
200	350
300	420
400	500
500	600

(Sumber: BAPEDAL, 1997)

Untuk melakukan perhitungan indeks standar pencemar udara (ISPU) dilakukan dengan persamaan berikut:

$$I = \frac{Ia - Ib}{Xa - Xb} (Xx - Xb) + Ib \quad (1)$$

dengan I merupakan ISPU yang dihitung; Ia merupakan ISPU batas atas; Ib merupakan ISPU batas bawah; Xa merupakan ambien

batas atas; X_b merupakan ambien batas bawah; dan X_x merupakan kadar ambien nyata hasil pengukuran.

Setelah memperoleh nilai ISPU, dilakukan penilaian kategori ISPU dari partikulat berdasarkan Tabel 2.

Tabel 2. Angka dan kategori ISPU

Indeks	Kategori
1 - 50	Baik
51 - 100	Sedang
101 - 199	Tidak Sehat
200 - 299	Sangat tidak sehat
300 - lebih	Berbahaya
500	600

(Sumber: BAPEDAL, 1997)

2.2.5. Kajian Kerusakan dan Kerugian (DaLA)

Metode DaLA dilakukan dengan batasan pada penyakit yang timbul akibat erupsi Gunung Sinabung, yaitu penyakit infeksi saluran pernafasan akut (ISPA) dengan menghitung kerugian ekonomi akibat penyakit tersebut. Kerugian yang dihitung seperti biaya kematian dan perawatan akibat penyakit dan epidemi (GFDRR, 2010). Pada kajian kerusakan dan kerugian (DaLA) ini akan dihitung biaya pengobatan penyakit ISPA untuk satu orang dan kemudian akan dikalkulasikan dengan semua penderita ISPA pada simulasi kondisi I dan kondisi II.

2.2.6. Pendekatan dengan data dari Media Sosial

Metodologi yang dilakukan pada pendekatan dengan data dari media sosial menggunakan metode pada penelitian yang dilakukan oleh Ripberger dkk. (2014) serta Kumar dan Geethakumari (2014) dengan melakukan batasan-batasan tertentu. Batasan-batasan yang dilakukan yaitu hanya mengidentifikasi *tweets* yang berisi kata "Sinabung" oleh satu *user* (pengguna) *Twitter* pada rentang waktu Januari - Maret dan Agustus - Oktober 2014. Pengumpulan data dari media sosial (*Twitter*) diperoleh dari *website* <http://www.topsy.com> seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Informasi (*tweets*) yang diberikan oleh salah satu *user* (pengguna) *Twitter* dengan kata kunci "Sinabung" dihitung setiap harinya dari pukul 06.00 WIB hingga 23.00 WIB.

Setelah melakukan perhitungan data *Twitter*, selanjutnya dilakukan dua pengujian pada *tweets* yaitu pengujian *general acceptability* melalui penilaian terhadap *tweet* yang di-*retweet* (*tweet* ulang) dan pengujian kredibilitas melalui penilaian dengan Koefisien Gini. Koefisien Gini merupakan ukuran distribusi ketidaksamarataan. Dalam grafik *tweet*, akan diukur pola distribusi *retweets* dari *tweets* dari sumber tertentu. Nilai Koefisien Gini yang dekat ke nol akan menunjukkan adanya kredibilitas dari sumber *tweets* dan nilai di atas 0,5 dan lebih dekat ke satu akan menunjukkan kemungkinan terdapat misinformasi pada isi *tweets* dan kurangnya kredibilitas dari sumber.



Gambar 1. Pengumpulan data media sosial (*Twitter*). Kotak hitam merupakan kata kunci yang akan dicari; kotak merah merupakan tanggal masukan; kotak hijau merupakan salah satu *tweet* dari akun @infobencana pada tanggal 5 Februari 2014; kotak ungu merupakan jumlah *retweets* dari *tweet* akun @infobencana.

(Sumber: <http://www.topsy.com>).

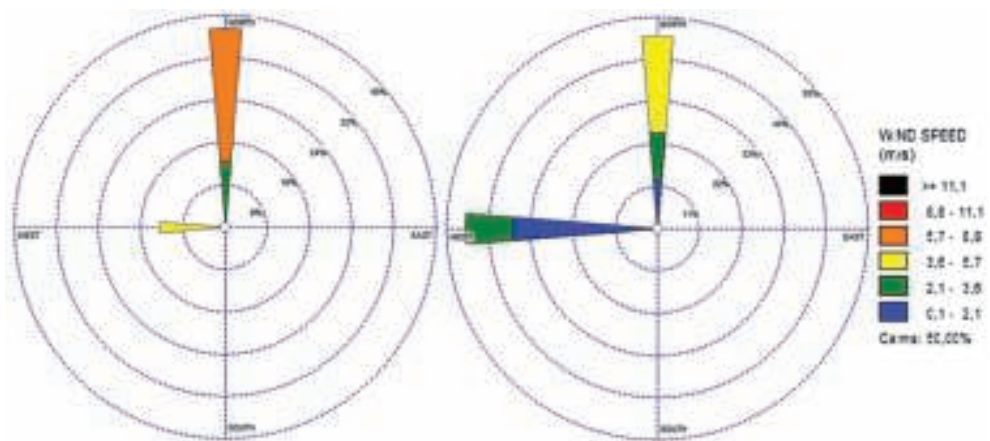
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Medan Angin

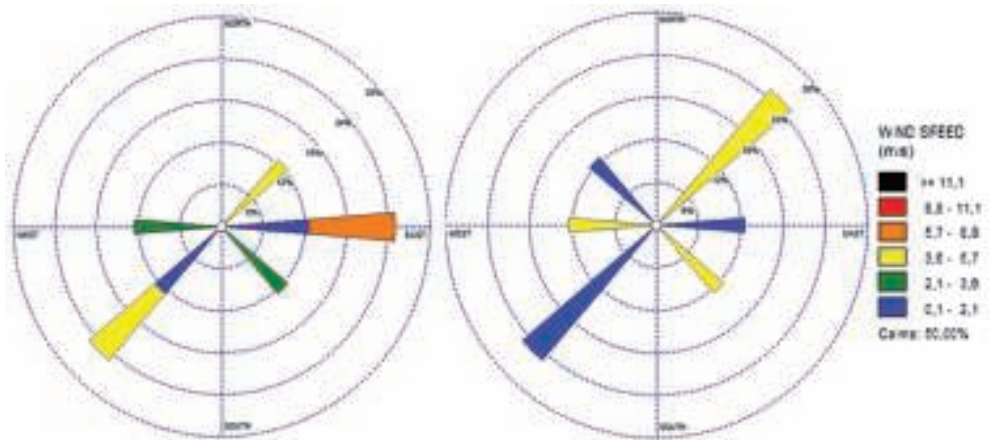
Sebelum melakukan analisis terhadap sebaran abu vulkanik yang dihasilkan model FALL3D, perlu dilakukan validasi medan angin dengan data observasi untuk melihat akurasi dari medan angin yang dihasilkan *running* dengan model skala meso WRF. Validasi dilakukan dengan melakukan perbandingan

diagram mawar angin antara data medan angin observasi dan hasil keluaran model skala meso pada tanggal 5 Februari 2014 dan 22 September 2014 (Gambar 2 dan Gambar 3).

Dari Gambar 2, arah angin dominan dari data observasi dan hasil model skala meso WRF berasal dari arah utara dan barat sedangkan pada Gambar 3 arah angin dominan berasal dari arah barat daya dan timur laut. Kedua diagram mawar angin dari



Gambar 2. (kiri) Diagram mawar angin data observasi stasiun pengamatan Medan / Polonia 5 Februari 2014 pukul 07.00 WIB - 6 Februari 2014 pukul 04.00 WIB. (kanan) Diagram mawar angin hasil model skala meso WRF 5 Februari 2014 pukul 07.00 WIB - 6 Februari 2014 pukul 04.00 WIB.



Gambar 3. (kiri) Diagram mawar angin data observasi stasiun pengamatan Medan / Polonia 22 September 2014 pukul 07.00 WIB - 23 September 2014 pukul 04.00 WIB. (kanan) Diagram mawar angin hasil model skala meso WRF 22 September 2014 pukul 07.00 WIB - 23 September 2014 pukul 04.00 WIB.

data observasi dan hasil keluaran model WRF (Gambar 2 dan Gambar 3) memiliki arah angin dominan yang sesuai namun dengan frekuensi kecepatan angin dari model skala meso WRF yang *underestimate* terhadap medan angin data observasi. Berdasarkan analisis diagram mawar angin yang dilakukan, medan angin hasil keluaran model skala meso WRF dinilai cukup baik digunakan untuk simulasi sebaran abu vulkanik dengan menggunakan model FALL3D.

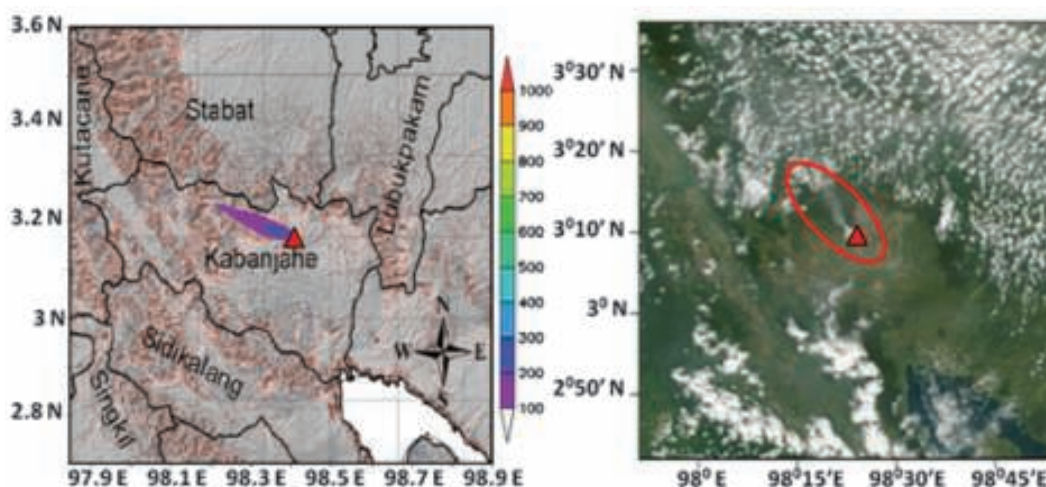
3.2. Analisis Sebaran Abu Vulkanik

Sebaran abu vulkanik yang dihasilkan model FALL3D dibandingkan dengan citra dari satelit MODIS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 untuk kondisi I dan Gambar 5 untuk kondisi II.

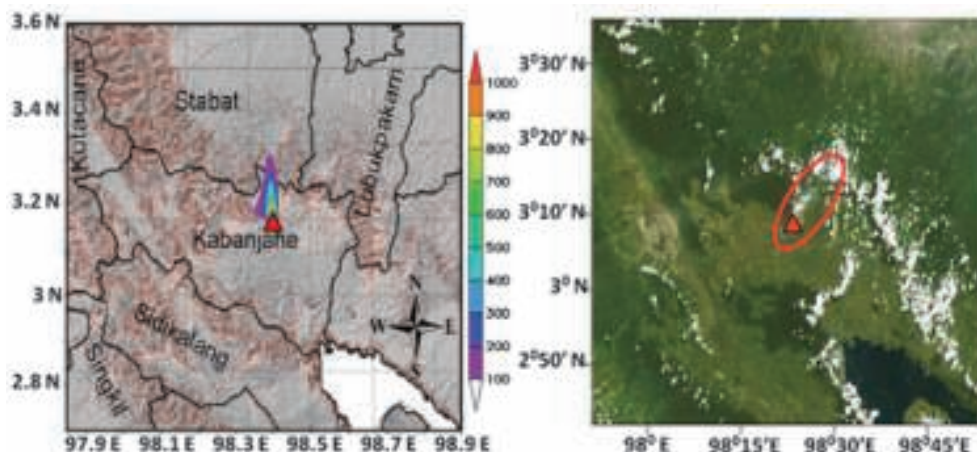
Simulasi sebaran abu vulkanik model FALL3D pada kondisi I menghasilkan arah sebaran abu vulkanik ke barat laut. Jika dibandingkan dengan citra satelit MODIS, arah sebaran abu vulkanik cukup sesuai. Simulasi pada kondisi I dilakukan pada saat bulan monsun barat (Asia) terjadi. Pada saat monsun barat (Asia), di Asia terjadi sel bertekanan tinggi dan di Australia terjadi sel bertekanan rendah (Tjasyono, 2004).

Akibatnya angin akan bergerak dari Asia menuju Australia (selatan). Dari hasil sebaran abu vulkanik yang disimulasikan dengan model FALL3D, sebaran abu vulkanik mengarah ke barat laut. Hal ini mengindikasikan tidak terdapat pengaruh dari monsun barat (Asia) pada kondisi I.

Dari Gambar 5, diperoleh simulasi sebaran abu vulkanik model FALL3D menghasilkan arah sebaran abu vulkanik ke utara. Jika dibandingkan dengan citra satelit MODIS, arah sebaran abu vulkanik cukup sesuai namun memiliki sedikit perbedaan sudut yang diindikasikan karena waktu simulasi model FALL3D mempunyai selisih dua puluh menit dengan citra satelit MODIS. Simulasi pada kondisi II dilakukan pada saat bulan monsun timur (Australia) terjadi. Pada saat monsun timur (Australia), di Australia terjadi sel bertekanan tinggi dan di Asia terjadi sel bertekanan rendah (Tjasyono, 2004). Akibatnya angin akan bergerak dari Australia menuju Asia (utara). Dari hasil sebaran abu vulkanik yang disimulasikan dengan model FALL3D, sebaran abu vulkanik mengarah ke utara. Hal ini mengindikasikan terdapat pengaruh dari monsun timur (Australia) pada kondisi II.



Gambar 4. (kiri) Hasil model FALL3D 5 Februari 2014 pukul 11.00 WIB dengan abu vulkanik ditunjukkan oleh *shaded* berwarna. (kanan) Citra satelit MODIS 5 Februari 2014 pukul 10.40 WIB. Elips merah merupakan sebaran abu vulkanik. Segitiga merah pada gambar kiri dan kanan merupakan koordinat Gunung Sinabung.

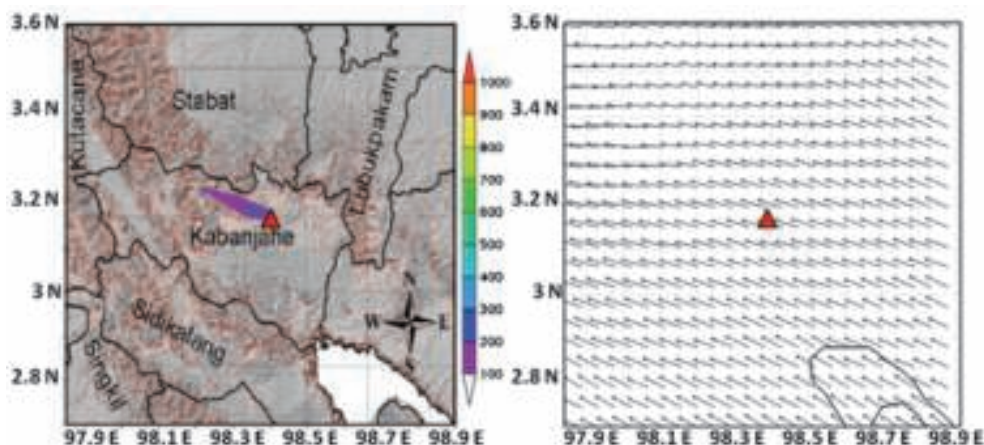


Gambar 5. (kiri) Hasil model FALL3D 22 September 2014 pukul 11.00 WIB dengan abu vulkanik ditunjukkan oleh *shaded* berwarna. (kanan) Citra satelit MODIS 22 September 2014 pukul 10.40 WIB. Elips merah merupakan sebaran abu vulkanik. Segitiga merah pada gambar kiri dan kanan merupakan koordinat Gunung Sinabung.

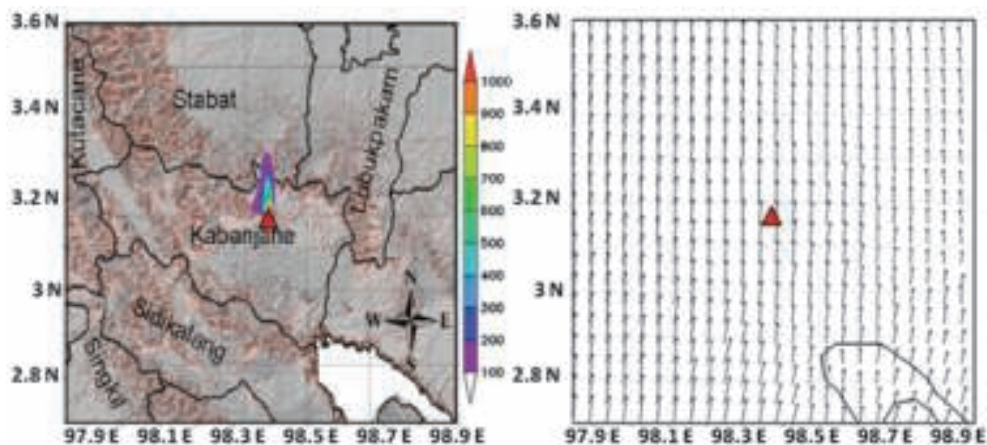
Berdasarkan Pering (2010), faktor-faktor yang memengaruhi sebaran abu vulkanik di antaranya adalah angin, *humidity*, kondisi cuaca, dan deposisi. Parameter angin yang berpengaruh terhadap sebaran abu vulkanik adalah kecepatan dan arah angin. Sehingga untuk membuktikan bagaimana faktor-faktor tersebut memengaruhi arah sebaran abu vulkanik, ditampilkan kondisi medan angin

pada level ketinggian erupsi Gunung Sinabung pada kondisi I (Gambar 6) dan kondisi II (Gambar 7).

Dari Gambar 6, medan angin pada ketinggian erupsi Gunung Sinabung terlihat bergerak ke barat laut. Hasil simulasi model FALL3D juga menunjukkan arah sebaran ke barat laut. Dapat disimpulkan bahwa kondisi medan angin pada level ketinggian erupsi



Gambar 6. (kiri) Hasil model FALL3D 5 Februari 2014 pukul 11.00 WIB dengan abu vulkanik ditunjukkan oleh *shaded* berwarna. *Shaded* coklat merupakan keadaan topografi. (kanan) Medan angin pada ketinggian erupsi Gunung Sinabung 5 Februari 2014 pukul 11.00 WIB. Segitiga merah pada gambar kiri dan kanan merupakan koordinat Gunung Sinabung.



Gambar 7. (kiri) Hasil model FALL3D 22 September 2014 pukul 11.00 WIB dengan abu vulkanik ditunjukkan oleh *shaded* berwarna. *Shaded* cokelat merupakan keadaan topografi (kanan) Medan angin pada ketinggian erupsi Gunung Sinabung 22 September 2014 pukul 11.00 WIB. Segitiga merah pada gambar kiri dan kanan merupakan koordinat Gunung Sinabung.

memengaruhi arah sebaran abu vulkanik pada model FALL3D dengan berdasarkan Woodhouse dkk. (2012) yang mengatakan bahwa parameter kecepatan dan arah angin dibutuhkan untuk menentukan arah dan jarak sebaran abu vulkanik.

Pada kondisi II, medan angin pada ketinggian erupsi Gunung Sinabung terlihat bergerak ke utara. Hasil simulasi model FALL3D juga menunjukkan arah sebaran ke utara. Seperti pada kondisi I, parameter kecepatan dan arah angin kondisi II pada level ketinggian erupsi memengaruhi arah sebaran abu vulkanik pada model FALL3D.

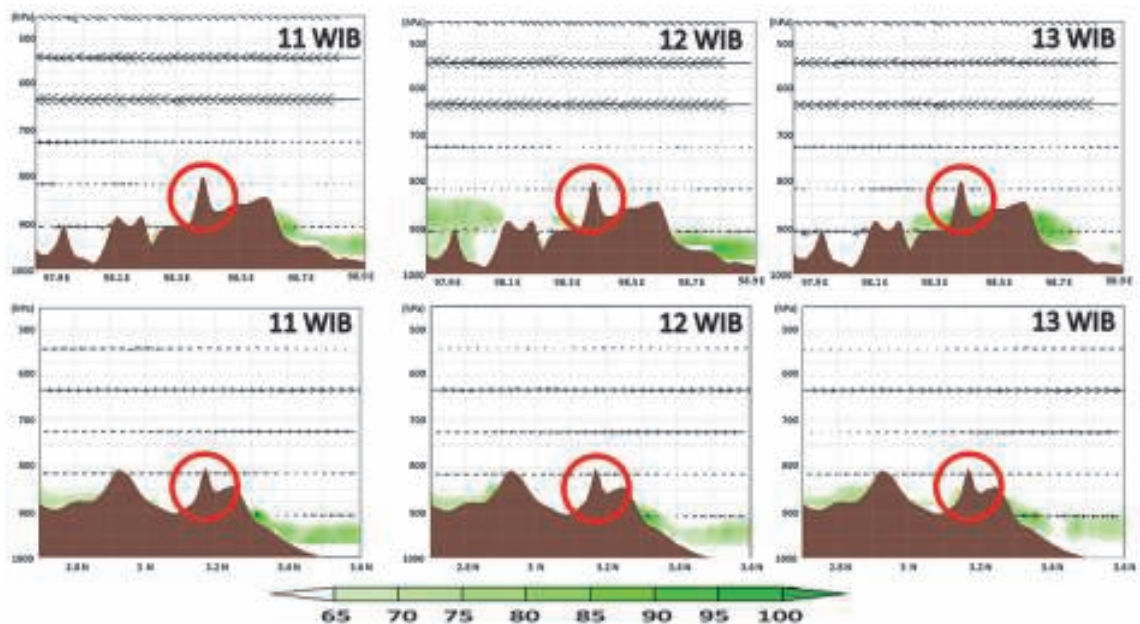
Sebaran abu vulkanik juga dapat dipengaruhi oleh kondisi *humidity* pada saat sedang terjadi erupsi. Untuk melihat kondisi *humidity* pada simulasi kondisi I, ditampilkan penampang topografi vertikal dari kondisi lingkungan daerah kajian Gunung Sinabung secara membujur dan melintang (Gambar 8).

Kondisi *humidity* (Gambar 8) terutama di wilayah sekitar hingga puncak Gunung Sinabung terlihat rendah. Berdasarkan Webley dan Mastin (2009), kondisi lingkungan yang lembap dan terutama pada daerah tropis, kondensasi uap air yang tertahan di plume-plume erupsi diperkirakan dapat meningkatkan konveksi, meningkatkan ketinggian kolom erupsi hingga beberapa kilometer di atas

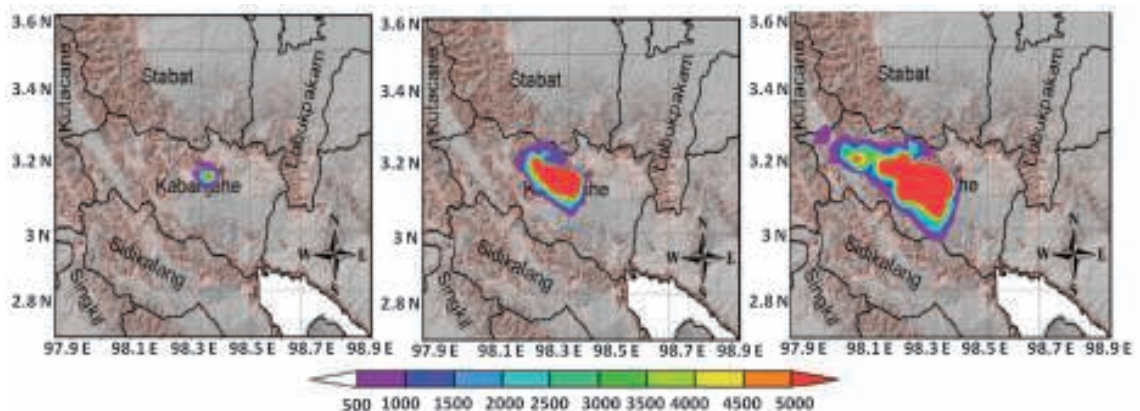
ketinggian udara kering. *Humidity* berperan penting terhadap proses deposisi dari abu vulkanik di udara. Kondisi *humidity* yang rendah seperti pada kondisi I ini dapat mengakibatkan jangkauan sebaran abu vulkanik menjadi lebih dekat dengan gunung atau dapat dikatakan proses deposisi dari abu vulkanik akan terjadi di sekitar gunung.

Sebaran abu vulkanik juga dipengaruhi oleh deposisi dari abu vulkanik. Deposisi yaitu suatu proses jatuhnya abu vulkanik ke permukaan tanah disebabkan oleh *humidity* yang kemudian dibawa oleh angin ke permukaan tanah. Deposisi partikulat (PM10) abu vulkanik pada kondisi I ditunjukkan pada Gambar 9.

Deposisi PM10 pada kondisi I terjadi di dekat Gunung Sinabung pada arah barat daya hingga barat. Hal ini terjadi karena kondisi *humidity* yang rendah pada wilayah di sekitar Gunung Sinabung yang mengakibatkan abu vulkanik tidak mengalami proses pengangkatan plume vulkanik yang lebih tinggi sehingga abu vulkanik akan cenderung tersebar lebih dekat dengan gunung. Akibatnya akan terjadi deposisi dari partikulat (PM10) abu vulkanik pada daerah di sekitar Gunung Sinabung. Hal ini akan menyebabkan daerah-daerah yang berada di sekitar Gunung Sinabung rawan pada pajanan deposisi PM10.



Gambar 8. Kondisi *humidity* (*shaded* hijau) 05 Februari 2014 pada pukul 11.00-13.00 WIB dengan penampang topografi vertikal (*shaded* cokelat) secara membujur (atas) dan melintang (bawah). Lingkaran merah merupakan Gunung Sinabung.



Gambar 9. Deposisi PM10 5 Februari 2014 pukul 11.00 WIB (kiri), pukul 12.00 WIB (tengah), dan pukul 13.00 WIB (kanan) dengan *shaded* berwarna merupakan konsentrasi PM10 pada permukaan tanah. *Shaded* cokelat pada semua gambar merupakan keadaan topografi. Segitiga merah pada semua gambar merupakan koordinat Gunung Sinabung.

Daerah-daerah yang rawan terhadap deposisi PM10 pada kondisi I yaitu Kecamatan Tiga Binanga dan Kecamatan Juhar yang berada pada arah barat daya Gunung Sinabung, Kecamatan Payung yang berada pada arah barat Gunung Sinabung serta Kecamatan Tiganderket yang berada pada arah barat laut

Gunung Sinabung dengan desa-desa pada masing-masing kecamatan yang rawan terhadap deposisi PM10 pada kondisi I ditunjukkan pada Tabel 3.

Begitu juga dengan kondisi II, kondisi *humidity* juga memengaruhi sebaran abu vulkanik. Untuk melihat kondisi *humidity* pada

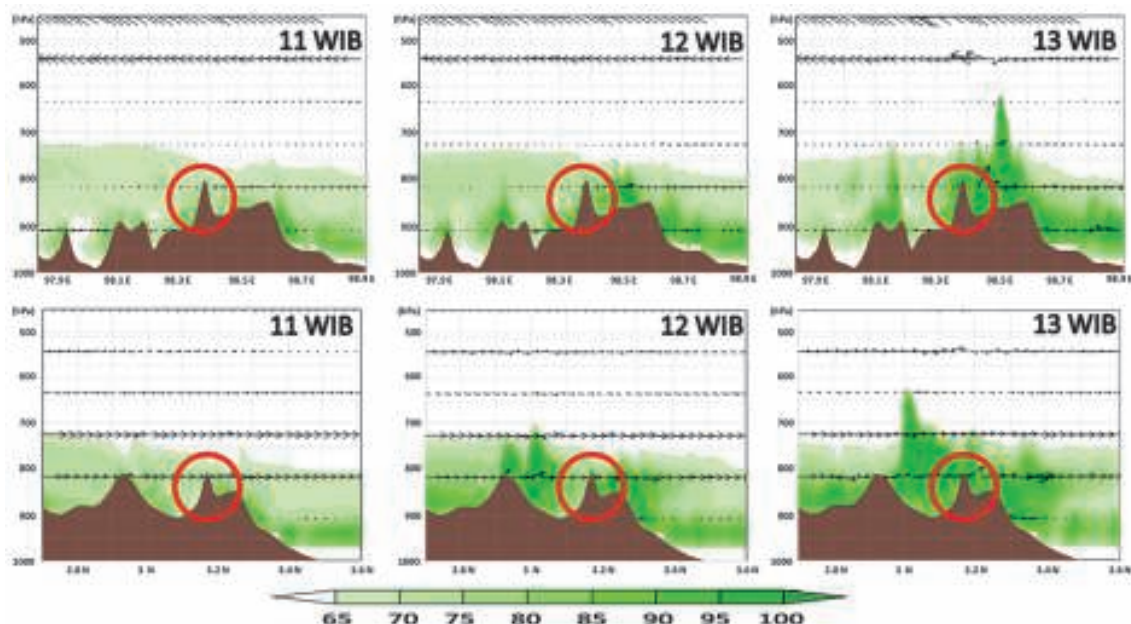
simulasi kondisi II, ditampilkan penampang topografi vertikal dari kondisi lingkungan daerah kajian Gunung Sinabung secara membujur dan melintang (Gambar 10).

Dari Gambar 10, terlihat kondisi *humidity* terutama di wilayah sekitar hingga puncak

Gunung Sinabung tinggi. Hal ini diperkirakan plume erupsi akan menyebabkan peningkatan konveksi, ketinggian kolom erupsi hingga beberapa kilometer di atas ketinggian udara kering berdasarkan Webley dan Mastin (2009). Kondisi *humidity* yang tinggi seperti pada

Tabel 3. Desa-desanya yang rawan terhadap sebaran abu vulkanik pada kondisi I yang berada pada arah barat daya, barat, dan barat laut Gunung Sinabung

Barat Daya		Barat		Barat Laut	
Desa	Radius (km)	Desa	Radius (km)	Desa	Radius (km)
Mardingding	4	Susuk	6	Penampen	10
Temburun	4	Gunung Merlawan	8	Kuta Kepar	10
Perbaji	4	Tanjung Mbelang	10		
Kutambaru	6	Nari Gunung Satu	10		
Tanjung Merawa	6	Nari Gunung Dua	10		
Suka Tendel	8				
Batukarang	8				
Rimokayu	8				
Jandi Meriah	10				
Singgamanik	10				



Gambar 10. Kondisi *humidity* (*shaded* hijau) 22 September 2014 pukul 11.00-13.00 WIB dengan penampang topografi secara vertikal (*shaded* coklat) secara membujur (atas) dan melintang (bawah). Lingkaran merah merupakan Gunung Sinabung.

kondisi II ini dapat mengakibatkan jangkauan sebaran abu vulkanik menjadi lebih jauh dengan gunung atau dapat dikatakan proses deposisi dari abu vulkanik akan terjadi pada jarak yang lebih jauh dari gunung.

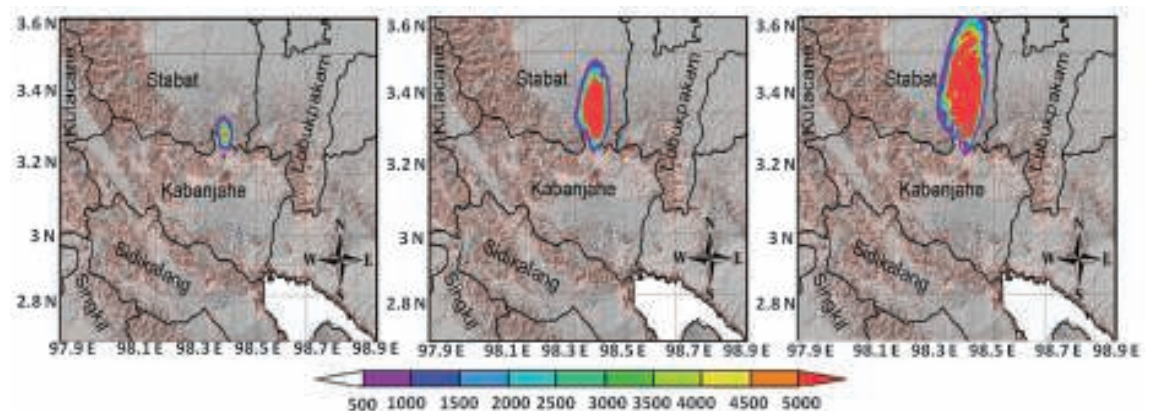
Sebaran abu vulkanik juga dipengaruhi oleh deposisi dari abu vulkanik. Deposisi yaitu suatu proses jatuhnya abu vulkanik ke permukaan tanah disebabkan oleh *humidity* yang kemudian dibawa oleh angin ke permukaan tanah. Deposisi partikulat (PM10) abu vulkanik pada kondisi II ditunjukkan pada Gambar 11.

Deposisi PM10 pada kondisi II terjadi cukup jauh dengan Gunung Sinabung pada arah utara hingga timur laut yang dikarenakan

kondisi *humidity* yang tinggi pada wilayah di sekitar Gunung Sinabung yang mengakibatkan abu vulkanik akan mengalami proses pengangkatan plume vulkanik yang lebih tinggi sehingga abu vulkanik akan cenderung tersebar lebih jauh dengan gunung sehingga membahayakan daerah-daerah seperti Kecamatan Naman Teran dan Kecamatan Sei Bingai yang berada pada arah utara Gunung Sinabung serta Kecamatan Simpang Empat yang berada pada arah timur laut Gunung Sinabung dengan desa-desa pada masing-masing kecamatan yang rawan terhadap deposisi PM10 pada kondisi II ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Desa-desa yang rawan terhadap sebaran abu vulkanik pada kondisi II yang berada pada arah utara dan timur laut Gunung Sinabung

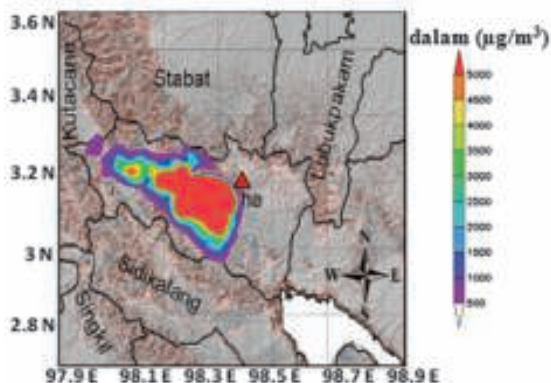
Utara		Timur Laut			
Desa	Radius (km)	Desa	Radius (km)	Desa	Radius (km)
Sigaranggarang	2	Suka Nalu	4	Ujung Teran	10
Kuta Gugung	6	Naman	6	Kampung Merdeka	10
Kebayaken	8	Kuta Mbelin	6	Jaranguda	> 10
Kuta Rayat	8	Sukatepu	6	Semangat Gunung	> 10
Telagah	> 10	Ndeskati	8	Sempajaya	> 10
		Gung Pinto	8	Dau Lu	> 10



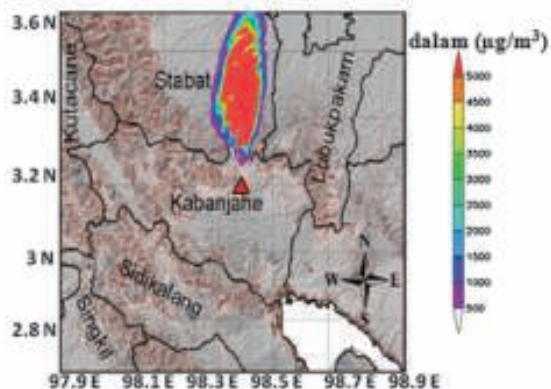
Gambar 11. Deposisi PM10 22 September 2014 pukul 11.00 WIB (kiri), pukul 12.00 WIB (tengah), dan pukul 13.00 WIB (kanan) dengan *shaded* berwarna merupakan konsentrasi PM10 pada permukaan tanah. Segitiga merah pada semua gambar merupakan koordinat Gunung Sinabung.

3.3. Analisis Dampak Abu Vulkanik Terhadap Kesehatan

Dari hasil simulasi sebaran material PM10 yang terkandung pada erupsi Gunung Sinabung pada kondisi I, didapat bahwa konsentrasi tertinggi PM10 (mencapai 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dengan area terluas terjadi pada pukul 13.00 WIB (Gambar 12) begitu juga dengan kondisi II (Gambar 13).



Gambar 12. Konsentrasi PM10 tanggal 05 Februari 2014 pukul 13.00 WIB. Dengan *shaded* berwarna merupakan konsentrasi PM10 pada permukaan tanah. Segitiga merah pada semua gambar merupakan koordinat Gunung Sinabung.



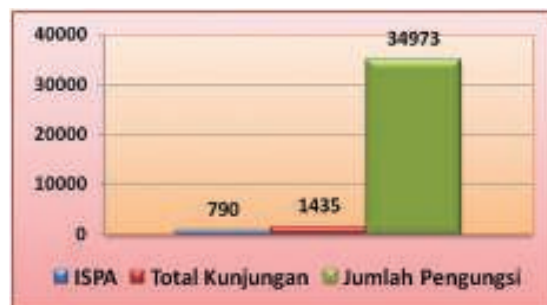
Gambar 13. Konsentrasi PM10 tanggal 22 September 2014 pukul 13.00 WIB. Dengan *shaded* berwarna merupakan konsentrasi PM10 pada permukaan tanah. Segitiga merah pada semua gambar merupakan koordinat Gunung Sinabung.

Konsentrasi PM10 yang dapat mencapai 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada satu waktu (jam) jika dilakukan pengukuran rata-rata selama 24 jam menghasilkan konsentrasi sebesar 208 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Berdasarkan persamaan (1), konsentrasi sebesar 208 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dapat menghasilkan nilai indeks standar pencemar udara (ISPU) sebesar 129. Nilai ISPU sebesar 129 sudah tergolong pada kategori tidak sehat berdasarkan Tabel 2. Jika konsentrasi PM10 sebesar 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada satu waktu (jam) terpapar pada penduduk khususnya pada Kecamatan Tiga Binanga, Juhar, Payung, dan Tiganderket pada kondisi I dan Kecamatan Naman Teran, Sei Bingai, dan Simpang Empat pada kondisi II, maka penduduk di kecamatan tersebut dapat terkena PM10 yang melewati baku mutu udara ambien untuk PM10. PM10 yang melewati baku mutu udara ambien sangat tidak baik untuk kesehatan karena dapat menyebabkan gangguan pada sistem pernafasan seperti infeksi saluran pernafasan akut (ISPA).

3.4. Kajian Kerusakan dan Kerugian

ISPA merupakan salah satu penyakit yang paling banyak diderita oleh korban erupsi Gunung Sinabung. Berdasarkan data yang diperoleh dari pemerintah Kabupaten Karo, lebih dari 50% penduduk yang mengunjungi pos kesehatan pada tanggal 5 Februari 2014 menderita penyakit ISPA atau dengan persentase lebih dari 2% dari total jumlah pengungsi pada pos pengungsian (Gambar 14).



Gambar 14. Laporan kesehatan korban erupsi Gunung Sinabung tanggal 05 Februari 2014 (Sumber: <http://www.karokab.go.id>).

Namun pada kondisi II (tanggal 22 September 2014), data laporan kesehatan dari korban erupsi Gunung Sinabung tidak ada. Sehingga perhitungan DaLA untuk kondisi II dilakukan dengan asumsi kondisi kesehatan pada kondisi II sama dengan kondisi I.

Dalam penelitian ini, biaya pengobatan ISPA yang dikaji berdasarkan obat generik (tanpa resep dokter) karena mengingat kejadian ISPA ini terjadi pada korban bencana alam. Berdasarkan data yang diperoleh dari Apotek Kimia Farma (Jalan Sulanjana No. 24, Bandung), Tabel 5 berikut merupakan rincian biaya pengobatan untuk ISPA.

Tabel 5. Biaya pengobatan ISPA dengan obat generik

Jenis Obat / Pencegahan	Harga (per satuan)
Amoxicillin 500 mg	Rp 4.600,00 per 10 kapsul
Ambroxol	Rp 1.600,00 per 10 kapsul
Paracetamol 500 mg	Rp 1.200,00 per 10 tablet
Masker	Rp 1.000,00 per lembar

Dengan menghitung biaya pengobatan pada Tabel 5, biaya pengobatan penyakit ISPA untuk sekali pengobatan untuk satu orang adalah sebesar Rp 8.400,00. Adapun biaya pengobatan ini belum menghitung honor dari para medis yang memberikan pertolongan medis. Perhitungan DaLA dari kerugian ekonomi akibat penyakit ISPA ditunjukkan oleh Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan DaLA dengan asumsi penduduk yang terkena ISPA sebesar 3% dari jumlah penduduk

a) Kondisi I

Kecamatan	Jumlah Penduduk*	Perkiraan Biaya
Tiga Binanga	20626	Rp 51.977.520,00
Juhar	13726	Rp 34.589.520,00
Payung	11232	Rp 28.304.640,00
Tiganderket	13659	Rp 34.420.680,00
Total		Rp 149.292.360,00

b) Kondisi II

Kecamatan	Jumlah Penduduk*	Perkiraan Biaya
Naman Teran	13263	Rp 33.422.760,00
Sei Bingai	48865	Rp 123.139.800,00
Simpang Empat	19707	Rp 49.661.640,00
Total		Rp 206.224.200,00

*) Berdasarkan data BPS Kabupaten Karo Tahun 2013

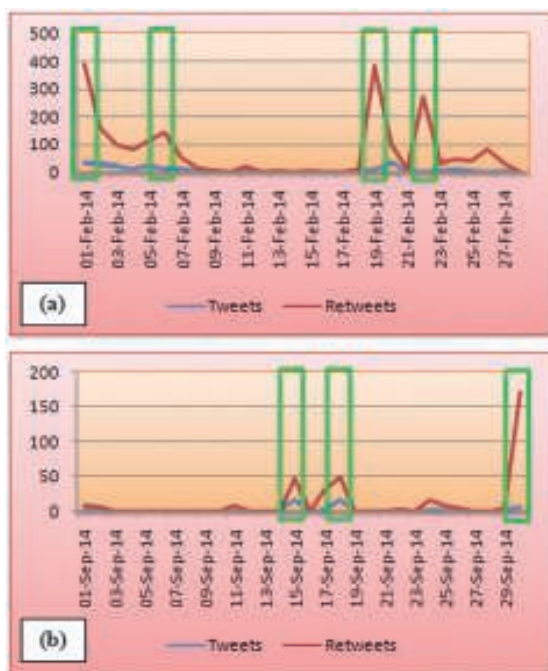
Perhitungan DaLA pada Tabel 6 dilakukan dengan adanya asumsi bahwa penduduk di masing-masing kecamatan yang rawan terkena sebaran abu vulkanik pada kondisi I dan kondisi II tidak memiliki tindakan pencegahan serta jumlah penduduk yang terkena ISPA sebesar 3% dari total jumlah penduduk pada masing-masing kecamatan. Dari perhitungan DaLA yang dilakukan, didapat bahwa perkiraan kerugian ekonomi yang dapat ditimbulkan akibat penyakit ISPA pada tanggal 5 Februari 2014 (kondisi I) adalah sebesar Rp 149.292.360,00. Sedangkan pada tanggal 22 September 2014 (kondisi II) kerugian ekonomi bisa mencapai Rp 206.224.200,00.

3.5. Analisis Melalui Pendekatan Dengan Data dari Media Sosial

Pendekatan dengan data media sosial *Twitter* dilakukan dengan memilih satu *user* (pengguna) *Twitter* yaitu akun @infobencana. Berdasarkan pengolahan data media sosial (*Twitter*) dari akun @infobencana yang dilakukan pada bulan Februari dan September 2014, didapat bahwa akun @infobencana lulus dalam pengujian *general acceptability* (Gambar 15) dan pengujian kredibilitas (Gambar 16).

Pengujian *general acceptability* dilakukan dengan melihat setiap informasi (*tweets*) dari akun @infobencana yang di-*tweet* ulang (*retweet*) oleh *followers* (pengikut) dari akun @infobencana. Dari pengujian yang dilakukan, pada bulan Februari dan September 2014 akun @infobencana lulus dalam pengujian *general acceptability*.

Pengujian kredibilitas dari akun @infobencana dilakukan dengan menghitung nilai Koefisien Gini pada bulan Februari dan

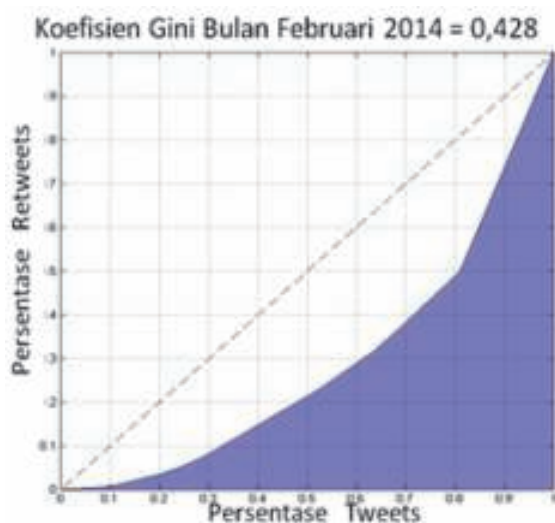


Gambar 15. Pengujian *general acceptability* akun @infobencana pada bulan Februari 2014 (a) dan bulan September 2014 (b). Kotak hijau merupakan puncak-puncak dari *tweets* dan *retweets* pada bulan Februari dan September 2014.

September 2014. Pada bulan Februari dan September 2014 akun @infobencana memiliki nilai Koefisien Gini di bawah 0,5. Hal ini menyatakan bahwa akun @infobencana pada bulan Februari dan September 2014 memiliki kredibilitas.

3.5.1. Diskusi

Pada bagian ini akan dilakukan diskusi mengenai pendekatan dengan data dari media sosial. Penggunaan media sosial (*Twitter*) dapat menjadi sarana komunikasi efektif dalam menyampaikan informasi. Media sosial (*Twitter*) dapat berperan penting dalam menyampaikan informasi penting seperti misalnya pada saat terjadi suatu bencana alam. Berdasarkan pendekatan yang dilakukan dari data media sosial (*Twitter*), ketika terjadi bencana erupsi Gunung Sinabung ataupun hal-hal yang berkaitan dengan kondisi Gunung Sinabung terjadi peningkatan *tweets* dan *retweets* (Gambar 3.16). Pada Gambar 3.16 (a), puncak-puncak grafik (kotak hijau) menunjukkan adanya *tweets* penting seputar Gunung Sinabung seperti pada tanggal 1 Februari 2014 terdapat *tweets* mengenai zona merah dari Gunung Sinabung dan korban-korban yang terkena



Gambar 16. Pengujian kredibilitas akun @infobencana pada bulan Februari 2014 (kiri) dan bulan September 2014 (kanan).

awan panas erupsi Gunung Sinabung, tanggal 5 Februari 2014 terdapat *tweets* mengenai erupsi Gunung Sinabung, tanggal 19 Februari 2014 terdapat *tweets* mengenai kepedulian pemerintah terhadap Gunung Sinabung yang lebih memerhatikan bencana Gunung Kelud, dan tanggal 22 Februari 2014 terdapat *tweets* mengenai Universitas Negeri Medan yang menggratiskan uang kuliah dari mahasiswa yang menjadi korban erupsi Gunung Sinabung. Informasi yang diperoleh dari media sosial (*Twitter*) ini dapat dimanfaatkan sebagai mitigasi terhadap bencana alam. Namun untuk memastikan bahwa informasi yang diberikan oleh media sosial (*Twitter*) adalah benar, perlu dilakukan dua pengujian yaitu pengujian general *acceptability* serta pengujian kredibilitas. Pengujian ini penting dilakukan untuk mendapatkan informasi yang benar dan terpercaya. Ketika informasi yang diperoleh lulus dari dua pengujian ini, informasi yang diperoleh dari media sosial (*Twitter*) dapat dipercaya. Informasi yang dapat dipercaya dari media sosial (*Twitter*) ini dapat dimanfaatkan dengan baik dalam mengantisipasi bencana alam, seperti erupsi Gunung Sinabung. Dengan memerhatikan informasi dari media sosial (*Twitter*), dapat dilakukan antisipasi terlebih dahulu ketika sedang terjadi bencana alam. Antisipasi yang dilakukan dapat membantu meminimalisir *potential lost* yang dapat timbul dari bencana alam. Dengan demikian, kerugian ekonomi dapat diminimalisir dengan pemanfaatan informasi dari media sosial (*Twitter*) yang dapat dipercaya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian mengenai kajian dampak sebaran abu vulkanik terhadap kesehatan dengan studi kasus erupsi Gunung Sinabung adalah:

1. Daerah yang rawan akan persebaran abu vulkanik pada kondisi I adalah daerah yang berada pada arah barat daya hingga barat laut dari Gunung Sinabung, yaitu Kecamatan Tigabinanga, Juhar, Payung,

dan Tiganderket. Sedangkan pada kondisi II adalah daerah yang berada pada arah utara hingga barat laut dari Gunung Sinabung, yaitu Kecamatan Naman Teran, Sei Bingai, dan Simpang Empat.

2. Pada saat kondisi I, persebaran material PM10 abu vulkanik cenderung lebih dekat dengan konsentrasi mencapai $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan saat kondisi II persebarannya lebih jauh dengan konsentrasi yang juga dapat mencapai $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Persebaran abu vulkanik ini sangat dipengaruhi parameter kecepatan dan arah angin, kondisi *humidity*, dan deposisi.
3. Berdasarkan perhitungan kajian kerusakan dan kerugian (DaLA) yang dilakukan, kerugian ekonomi yang dapat dihindari dengan memperhitungkan unsur meteorologi adalah sebesar Rp 149.292.360,00 pada kondisi I dan sebesar Rp 206.224.200,00 pada kondisi II.

4.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya ialah diperlukan adanya simulasi pada kasus-kasus lain dari erupsi Gunung Sinabung agar memperoleh hasil arah sebaran abu vulkanik yang lebih baik dan akurat. Selain itu, perlu dikaji juga mengenai faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi sebaran abu vulkanik yang tidak dibahas pada penelitian ini, seperti volume erupsi, kelajuan erupsi, dan faktor internal lain dari gunung sehingga ketika dilakukan perhitungan DaLA dapat diketahui kerugian ekonomi yang lebih baik dan akurat. Selain itu, kunjungan lapangan juga perlu dilakukan untuk mendukung data-data dari media sosial sehingga perhitungan DaLA akan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, PP RI No. 41 / 1999, Jakarta, 1999.

- Buist, A.S., dkk. (1982). *Acute Effects of Volcanic Ash from Mount Saint Helens on Lung Function in Children*.
- ECLAC. (2003). *Handbook for Estimating the Socio-economic and Environmental Effects of Disasters*. LC/MEX/G.5. LC/L.1874.
- GFDRR. (2010). *Disaster, Damage, Loss, and Needs Assessment*. Training Guidelines.
- Horwell, C.J., Baxter, P.J. (2006). *The Respiratory Health Hazards of Volcanic Ash: a Review for Volcanic Risk Mitigation*. Bull Volcanol. 2006;69: 1-24.
- Kumar, K.P.K. dan Geethakumari, G. (2014). *Detecting Misinformation in Online Social Networks Using Cognitive Psychology*. Human-centric Computing and Information Sciences.
- Pering, T. (2010). *Dispersal and Deposition Modelling of Ash from Soufriere Hilss Volcana Montserrat*. Geoverse ISSN 1758-3411.
- Ripberger, J.T., Jenkins-Smith, H.C., Silva, C.I., Carlson, D.E., Henderson, M. (2014). *Social Media and Severe Weather: Do Tweets Provide a Valid Indicator of Public Attention to Severe Weather Risk Communication?*. Weather, Climate, and Society.
- Small, C., Naumann, T.H. (2001). *Volcanism and The Global Distribution of Human Population*. Environ Hazards. 2001;3: 93-109.
- Tjasyono, B. (2004). *Klimatologi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Wark, K. dan Warner, C. (1981). *Air Pollution: Its Origin and Control*. Harper-Collins, New York, NY.
- Webley, P., Mastin, L. (2009). *Improved Prediction and Tracking of Volcanic Ash Clouds*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 186, pp. 1-9