

## KAJIAN PERBANDINGAN MODEL WRF-CHEM DENGAN PENGINDERAAN JAUH UNTUK IDENTIFIKASI ARAH DAN DISTRIBUSI ABU VULKANIK GUNUNG MERAPI PADA KASUS ERUPSI 3 MARET 2020

### COMPARATIVE STUDY OF WRF-CHEM MODEL WITH REMOTE SENSING FOR DIRECTION IDENTIFICATION AND DISTRIBUTION OF VOLCANIC ASH IN MOUNT MERAPI IN THE CASE OF THE ERUPTION OF 3 MARCH 2020

I Made Agus Satya<sup>1\*</sup>, Eriska Febriati<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang, Indonesia

#### Sejarah Artikel

Diterima: November 2021  
Disetujui: April 2022  
Dipublikasikan: Mei 2022

#### Abstract

*The aerosol properties of volcanic ash can cause aircraft engine failure. The method is used to predict the distribution of volcanic ash is WRF-Chem model, which is a numerical weather forecasting model that is added to elements of chemistry parameters. This study aims to examine the comparison of the direction and distribution of the WRF-Chem model and remote sensing of the eruption of Mount Merapi on March 3, 2020. The results show that there are differences in terms of distribution in the ash bin 5-6 classification compared to the Himawari-8 satellite observation, however, for ash bins 1-4 and 7-9, it shows the suitability of the distribution direction moving northeast towards the coast of East Java. While the comparison based on the concentration distribution of each size classification according to the height of the layers in the atmosphere in general shows a significant difference between the WRF-Chem model and observations from Radar Yogyakarta.*

#### Kata Kunci

WRF-Chem; Himawari-8; Radar Cuaca; Abu Vulkanik; Merapi

#### Abstrak

Abu vulkanik hasil erupsi gunung api dapat membahayakan aktivitas penerbangan. Sifat aerosol abu vulkanik dapat menyebabkan kegagalan pada mesin pesawat. Salah satu cara untuk memprakirakan sebaran abu vulkanik adalah dengan pemanfaatan model WRF-Chem, yang merupakan model prakiraan cuaca numerik yang ditambahkan unsur parameter chemistry. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perbandingan arah dan sebaran dari model WRF-Chem dan penginderaan jauh dari kejadian erupsi gunung Merapi pada 3 Maret 2020. Hasil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dari segi sebaran pada klasifikasi ash bin 5-6 dibandingkan observasi satelit Himawari-8, namun untuk ash bin 1-4 dan 7-9 menunjukkan kesesuaian arah sebaran yang bergerak ke arah timur laut menuju pesisir Jawa Timur.

Sedangkan perbandingan berdasarkan distribusi konsentrasi dari masing-masing klasifikasi ukuran menurut ketinggian lapisan di atmosfer secara umum menunjukkan perbedaan cukup signifikan antara model WRF-Chem dengan observasi dari Radar Yogyakarta.

DOI:  
10.33172/jmb.v8i1.792

e-ISSN: 2716-4462  
© 2022 Published by Program Studi Manajemen Bencana  
Universitas Pertahanan Republik Indonesia

**\*Corresponding Author:**

I Made Agus Satya  
Email: agoessatya3@gmail.com



## PENDAHULUAN

Abu vulkanik sebagai material yang dikeluarkan dalam proses erupsi gunung berapi sangat berpengaruh bagi kehidupan manusia. Salah satunya adalah mengancam keamanan dari transportasi penerbangan. Pesawat akan terpengaruh jika dihadapkan oleh awan yang bercampur dengan material vulkanik. Abu dapat masuk ke dalam mesin jet yang mungkin meleleh ketika bertemu suhu yang tinggi di dalamnya yang lebih dari 800°C sehingga dapat menyebabkan kegagalan mesin dikarenakan sifat aerosol dari abu vulkanik, terutama asam sulfat yang bersifat abrasif. Pendeteksian dari awan vulkanik dengan penginderaan jauh atau metode deteksi lainnya menjadi penting dikarenakan secara visual langsung, mirip dengan awan meteorologi (Prata & Rose, 2015; Yurika et al., 2022; Zakiyah et al., 2022).

Gunung Merapi merupakan gunung berapi yang terletak di provinsi Jawa Tengah yang telah aktif terus menerus selama periode Holosen (Newhall et al., 2000; Rahmat et al., 2021). Pada tanggal 3 Maret 2020 gunung Merapi mengalami erupsi dengan ketinggian kolom abu menjulang hingga 6000 meter dari kawah. Kejadian ini menyebabkan pembatalan dan penundaan jadwal penerbangan di Bandar Udara Adi Soemarmo, Boyolali, Jawa Tengah (PVMBG, 2021). Penginderaan jauh seperti citra satelit biasa digunakan untuk mengamati fenomena erupsi gunung berapi serta sebaran abunya menggunakan metode *RGB Composite* dengan menggabungkan tiga kanal sekaligus yang di-*overlay* ke dalam warna merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*). Metode RGB menghasilkan informasi dari beberapa kanal yang berbeda sehingga menghasilkan warna tertentu dengan memanfaatkan *brightness temperature* (BT) dan *brightness temperature different* (BTD). Terdapat beberapa skema yang dapat digunakan dalam pendeteksian abu vulkanik dengan metode RGB seperti yang dikembangkan oleh BMKG (2011) dan Shimizu (2020)

menggunakan masing-masing kanal IR, IR4, dan IR2 dari satelit Himawari-8 untuk menghasilkan deteksi berdasarkan *response function* masing-masing kanal. Identifikasi sebaran abu vulkanik juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan citra radar cuaca yang salah satu penelitian sebelumnya dilakukan oleh Azani et al. (2019) pada kejadian erupsi Gunung Agung, penggunaan citra radar dengan produk CMAX/ MAX, VCUT, CAPPI V, dan VVP dapat menggambarkan sebaran ketinggian serta jenis material dari abu vulkanik.

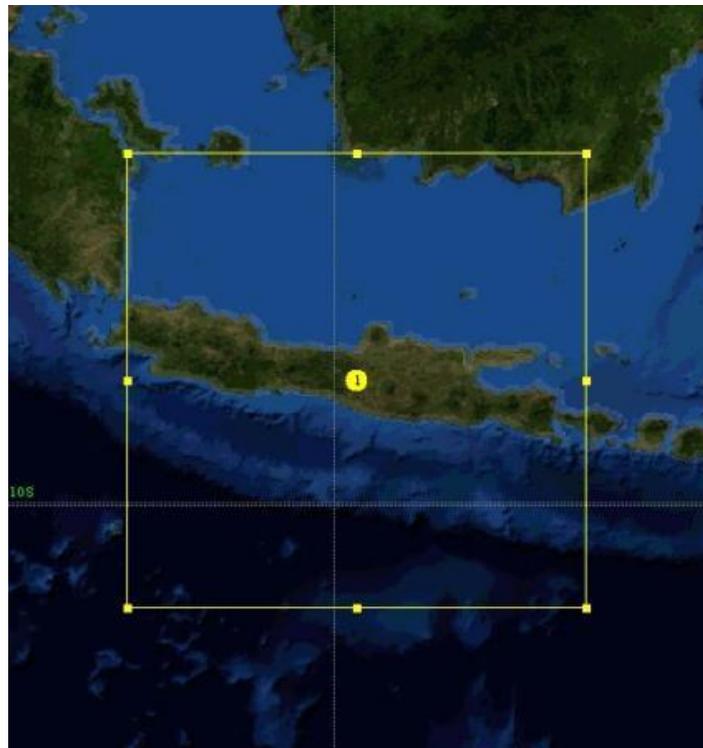
Selain dengan observasi langsung dengan penginderaan jauh, sebaran abu vulkanik juga dapat disimulasikan ataupun diprediksi dengan menggunakan model WRF-Chem yang merupakan model prakiraan cuaca berbasis numerik yang ditambahkan parameter *chemistry* sehingga mampu untuk menyimulasikan interaksi meteorologis dan kimia di atmosfer serta aerosol di udara (UCAR, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Mastin et al. (2009) membagi *Eruption Source Parameter* (ESP) gunung berapi di dunia ke dalam 11 jenis berdasarkan karakteristik seperti *injection height*, durasi, *eruption rate*, volume, dan gesekan massa yang kemudian juga memberikan rincian distribusi sebaran diameter partikel ke dalam kriteria 10 *ash bin* yang kemudian ditambahkan ke dalam *plume* model awalan untuk digunakan dalam inisiasi model WRF-Chem oleh Freitas et al. (2011). Penelitian pemanfaatan WRF-Chem untuk memantau sebaran dan dispersi abu vulkanik telah banyak dilakukan, salah satunya yang dilakukan oleh Webley et al. (2012) pada erupsi gunung Eyjafjallajökull, kemudian Brega et al. (2020) pada gunung Etna. Untuk penelitian yang dilakukan di Indonesia salah satunya dilakukan pada gunung Barujari (Wiguna et al., 2016) yang memperoleh analisis sebaran spasial pada *ash bin* 10 dan gunung Merapi (Yudistira et al., 2019) yang membandingkan arah dan sebaran abu vulkanik setiap ukuran *ash bin*. Hasil sebaran setiap lapisan sesuai dengan data *advisory* yang dikeluarkan oleh VAAC Darwin. Akan tetapi, hasil model WRF-Chem memiliki keterlambatan waktu terhadap sebaran abu vulkanik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan model WRF-Chem untuk menganalisis sebaran abu vulkanik yang disebabkan oleh erupsi gunung Merapi, Jawa Tengah pada tanggal 3 Maret 2020 serta perbandingannya terhadap observasi dari penginderaan jauh secara spasial dan distribusi kuantitas dari masing-masing *ash bin*. Diharapkan penelitian ini mampu untuk memberikan sumbangan pemikiran dalam pemanfaatan WRF-Chem untuk memantau sebaran abu vulkanik, terutama di wilayah Indonesia.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada wilayah penelitian dengan titik pusat adalah gunung Merapi pada koordinat -7.5420 LS dan 110.4420 BT (Pratikno et al., 2020; Rahmat et al., 2020a; Rahmat et al., 2020b; Priambodo et al., 2020). Domain penelitian yang digunakan berjumlah satu domain tanpa adanya *nesting* sehingga diharapkan mampu mempercepat proses komputasi model WRF-Chem. Kemudian untuk data yang digunakan serta sumber data initial dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut.

- a. Data final (FNL) dari *National Center for Environment* (NCEP) dengan resolusi spasial 1 derajat dan resolusi waktu 6 jam dalam format grib sebagai data *initial input* model simulasi WRF-Chem.
- b. *Raw data* radar Baron Yogyakarta yang telah di konversi dalam format *.vol* yang diperoleh dari Pusat Pengolahan Citra Radar BMKG.
- c. Data satelit Himawari-8 dengan resolusi temporal per 30 menit yang diperoleh dari layanan Himawari-Cast STMKG.
- d. Data *advisory* VAAC darwin dalam format *.png* pada tanggal 3 Maret 2020 untuk wilayah gunung Merapi.



**Gambar 1.** Peta Wilayah Penelitian

Model WRF-Chem yang digunakan memiliki konfigurasi pengaturan parameter *physics* dan *chemistry* disajikan dalam **Tabel 1**.

**Tabel 1 .** Konfigurasi WRF-Chem

<b>Konfigurasi Domain</b>	<b>Input Value</b>
<i>Number of x grid point</i>	100
<i>Number of y grid point</i>	100
<i>Map projection</i>	<i>Mercator</i>
<i>Grid Point resolution</i>	10000
<i>Central latitude</i>	-7.5420
<i>Central longitude</i>	110.4420
<i>Time step</i>	60
<b>Konfigurasi Physics</b>	<b>Input Value</b>
<i>Microphysics</i>	(2) <i>Lin et al. scheme</i>
<i>Cumulus</i>	(5) <i>Grell 3D ensemble scheme</i>
<i>Surface layer</i>	(1) <i>Revised MM5 Monin-Obukhov scheme</i>
<i>Land surface</i>	(2) <i>Unified Noah land-surface model</i>
<i>Planetary boundary layer</i>	(1) <i>YSU scheme</i>
<i>Longwave radiation</i>	(4) <i>RRTMG scheme</i>
<i>Shortwave radiation</i>	(4) <i>RRTMG scheme</i>
<b>Konfigurasi Chem</b>	<b>Input Value</b>
<i>Chemistry option</i>	(400) <i>Volcanic ash fall and concentration only</i>
<i>Anthropogenic emissions</i>	(6) <i>GOCART simple emissions</i>
<i>Volcanic ash emissions</i>	(1) <i>Include volcanic ash emissions for 10 size bins</i>
<i>Dry deposition of aerosols</i>	(1) <i>Turned on</i>
<i>Biomass burning emissions</i>	(1) <i>Biomass burning emissions and plume rise</i>
<i>Dust emissions</i>	(1) <i>Include GOCART dust emissions</i>
<i>Aerosols-radiation feedback</i>	(1) <i>Turned on</i>

Waktu running model WRF-Chem dimulai dari 2 Maret 18 UTC hingga 3 Maret 2020 pukul 18 UTC dan erupsi dimulai pukul 22.21 UTC. Proses running WRF CHEM dilakukan menggunakan perangkat laptop dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2 .** Spesifikasi Hardware Pengolah Data

<b>Merk, dan Type</b>	<b>Spesifikasi</b>
PROCESSOR	I7 - 8750H 2.20
RAM	8 GB Memory
Waktu Running	2-3 jam

Kemudian untuk prosedur penelitian yang dilakukan adalah dengan melakukan beberapa tahapan berikut antara lain sebagai berikut.

- a. Mengumpulkan data-data yang diperlukan sebagai *initial condition* dari model WRF-Chem yang akan di-*running*.
- b. Menentukan konfigurasi domain dan konfigurasi *physics*, kemudian dijalankan proses *geogrid*, *ungrib*, dan *metgrid* untuk mendapatkan file berupa *met\_em* sebagai input proses selanjutnya.
- c. Menjalankan *real.exe* yang pertama untuk proses meteorologis, kemudian dijalankan proses *convert\_emiss*. Sebagai input *real.exe* yang kedua untuk proses kimia. Selanjutnya dijalankan model WRF-Chem dalam *wrf.exe*.
- d. Mengkonversi hasil *wrfout* menjadi file *ctl* dan *dat* yang kemudian hasilnya diolah menggunakan aplikasi GrADS dan VAPOR 3D.
- e. Mengolah *raw data* citra radar menggunakan aplikasi *rainbow* untuk memperoleh produk CMAX dan VCUT dengan perubahan *pallette* abu vulkanik.
- f. Mengolah data citra satelit menggunakan aplikasi SATAID untuk mendapatkan hasil *RGB Composite* dengan skema BMKG untuk abu vulkanik dengan komposisi sebagai berikut (BMKG, 2011).  

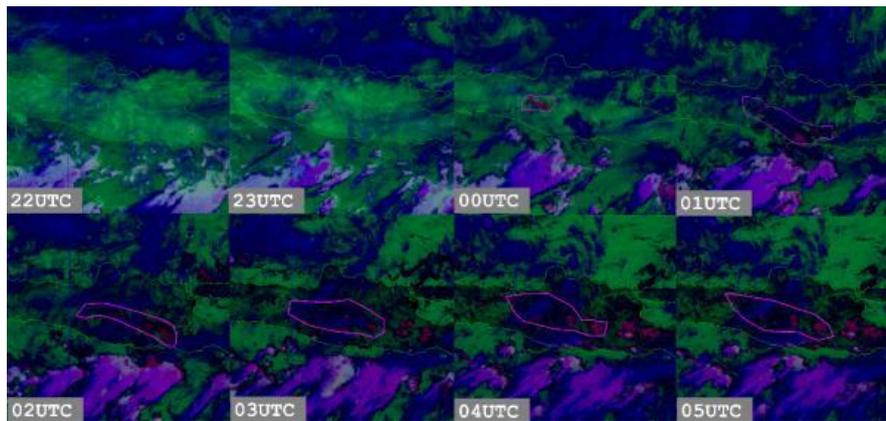
*Red*, kanal IR (10.4  $\mu\text{m}$ ) – IR2(12.4  $\mu\text{m}$ )  
*Green*, kanal IR4(3.9  $\mu\text{m}$ ) - IR2(10.4  $\mu\text{m}$ )  
*Blue*, kanal IR4(3.9  $\mu\text{m}$ ) untuk malam hari
- g. Abu vulkanik akan memberikan nilai negatif jika menggunakan profil *contour* pada aplikasi SATAID.
- h. Analisis dan komparasi dengan hasil model WRF-Chem.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

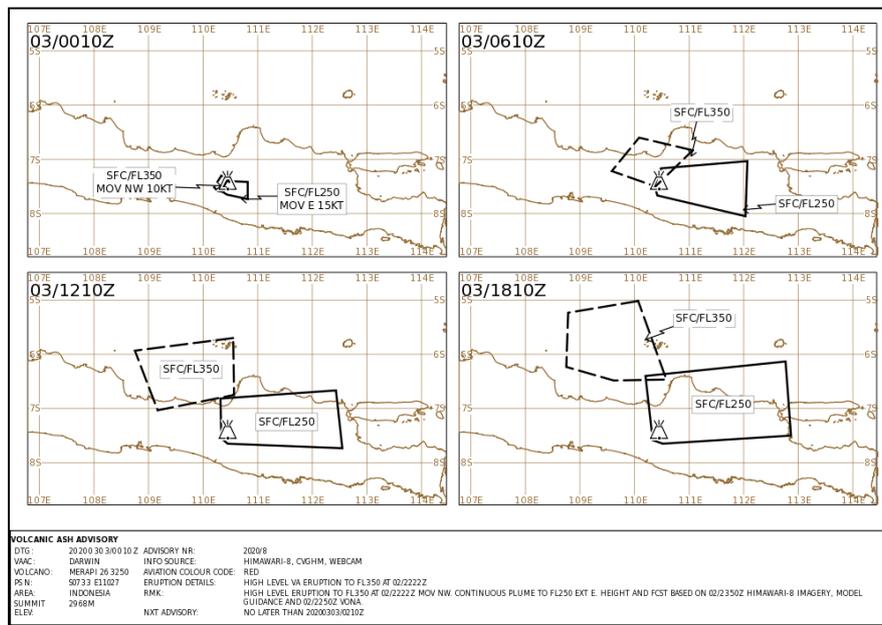
### Pantauan Citra Satelit dan *Advisory* VAAC Darwin

Pantauan dari citra satelit Himawari-8 dengan menggunakan teknik *RGB Composite* kombinasi BMKG untuk memantau sebaran abu vulkanik, terlihat cukup jelas dari kronologi awal erupsi gunung Merapi. Letusan terpantau dimulai dari pukul 23.00 UTC pada **Gambar 2**, kemudian abu vulkanik terbawa ke arah timur mengarah ke arah Jawa Timur. Sebaran mulai terlihat kurang jelas pada pukul 02.00 UTC dikarenakan mulai tertutup oleh awan meteorologis dan kemudian diduga bercampur dengannya. Hal ini terus berlangsung hingga kiranya sulit untuk mengidentifikasi sebaran abu vulkanik erupsi gunung Merapi ini dengan citra satelit Himawari-8.

**Gambar 3** merupakan data *advisory* VAAC Darwin untuk prakiraan sebaran abu vulkanik yang bersumber dari data satelit dan pengamatan PVMBG. Sesuai dengan pantauan citra satelit, hingga pukul 06.10 UTC sebaran diperkirakan mengarah ke arah Jawa Timur untuk periode *forecast* +6 jam dengan garis hitam dan ketinggian hingga 25000 feet dari permukaan. Kemudian pada pukul 12.10 UTC sebaran juga diperkirakan untuk periode *forecast* +12 jam dengan garis putus-putus mengarah ke utara dan ketinggian hingga 35000 dari permukaan, dan kemudian semakin meluas pada pukul 18.10 UTC.



**Gambar 2.** Sebaran Abu Vulkanik Dari Citra Satelit *RGB Composite* Periode 2 Maret 22.00 UTC Hingga 3 Maret 05.00 UTC



**Gambar 3.** Sebaran Abu Vulkanik VAAC Darwin Periode 3 Maret 00.10 UTC – 18.10 UTC

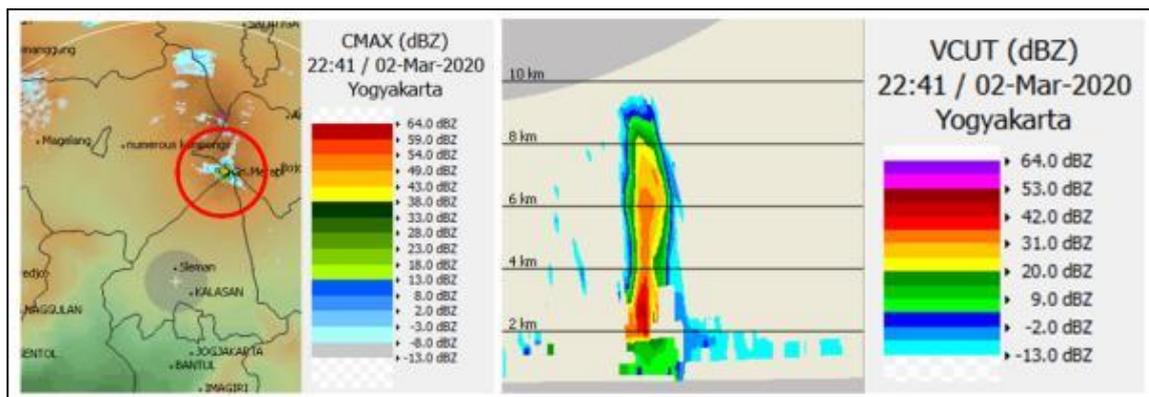
### Pantauan Observasi Radar

Observasi dari radar cuaca sendiri, selain digunakan dalam mengamati kejadian meteorologis, dapat juga dimanfaatkan dalam deteksi sebaran abu vulkanik. Radar mampu untuk mengklasifikasikan jenis material yang dihasilkan pada saat terjadinya erupsi berdasarkan dari nilai reflektivitasnya dan klasifikasi tersebut terbagi dalam beberapa jenis ukuran sesuai pada **Tabel 3**.

Dari hasil pemantauan dari radar cuaca Yogyakarta dengan menggunakan produk CMAX dan VCUT dapat diketahui distribusi ukuran material yang dikeluarkan gunung Merapi pada saat erupsinya. Pada puncak erupsinya pukul 22.41 UTC, diketahui bahwa material yang mendominasi adalah *Coarse Ash* dan *Fine Ash* dengan ukuran 0.01 mm dan 0.1 mm pada lapisan atas yang membumbung hingga ketinggian di atas 8 km. Kemudian pada lapisan bawah terpantau juga material dengan ukuran 1 mm berjenis *Small Lapilli* pada ketinggian di bawah 4 km yang ditandai dengan warna merah terang pada produk VCUT.

**Tabel 3.** Klasifikasi Material Abu Vulkanik  
Berdasarkan dBZ dan Ukurannya (SELEX, 2013)

Jenis	Reflektivitas	Diameter
<i>Fine Ash</i>	-13 s/d -12 dBZ	0.01 mm
<i>Coarse Ash</i>	16 s/d 17 dBZ	0.1 mm
<i>Small Lapilli</i>	46 s/d 47 dBZ	1 mm
<i>Large Lapilli</i>	63 s/d 64 dBZ	10 mm



**Gambar 4.** Produk Citra Radar Yogyakarta CMAX dan VCUT pukul 22.41 UTC

### Analisis Hasil Model WRF-Chem

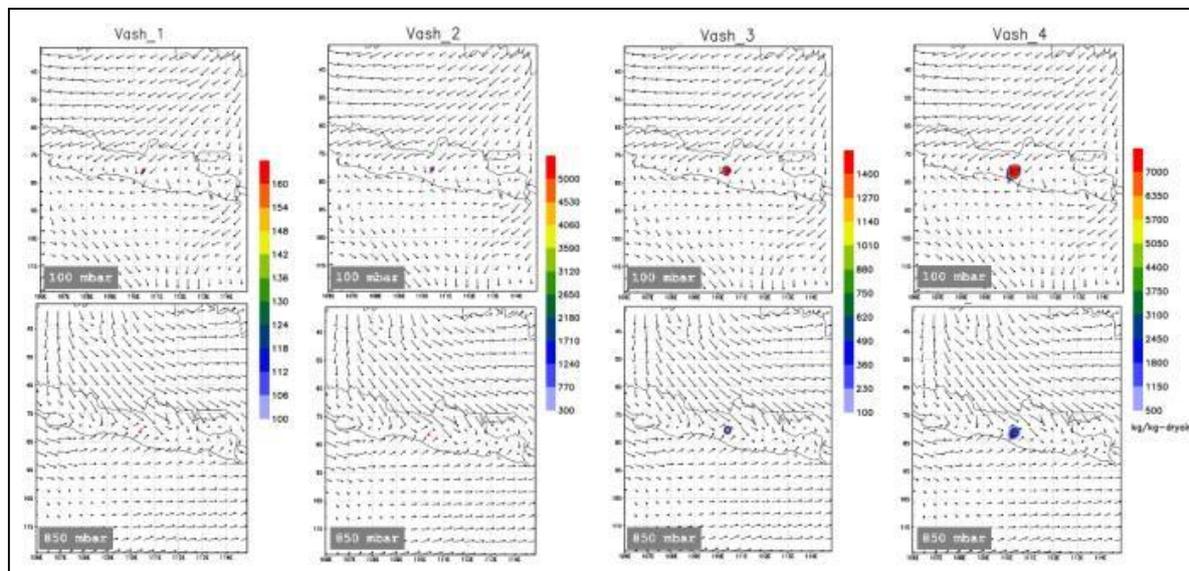
Berdasarkan kategori *Eruption Source Parameter* (ESP) yang digunakan untuk gunung Merapi sesuai kriteria dari Mastin et al. (2009) adalah menggunakan tipe M0 (*Mafic Standard*) yang memiliki distribusi sebaran diameter partikel debu vulkanik dengan persentase distribusi ukuran yang dominan lebih besar dari 125 $\mu\text{m}$ . Mastin et al. (2009) memberikan rincian distribusi sebaran diameter partikel ke dalam kriteria 10 *ash bin* pada tabel (4) yang kemudian ditambahkan ke dalam *plume* model awalan untuk digunakan dalam inisiasi model WRF-CHEM oleh Freitas et al. (2011). Sehingga diketahui bahwa diameter 125-250 $\mu\text{m}$  (*vash.4*) merupakan dominan dengan persentase 36.3%, sedangkan diameter kurang dari 3.9  $\mu\text{m}$  (*vash.10*) tidak dianggap.

**Tabel 4.** Distribusi Persentase Ukuran Diameter Partikel Tiap *ash bin* ESP M0,  
Diadaptasi dari Stuefer et al. (2013)

<i>Particle size bin</i>	<i>WRF Var</i>	<b>M0</b>
1-2 mm	<i>vash.1</i>	6.5
0.5-1 mm	<i>vash.2</i>	12.0
0.25-0.5 mm	<i>vash.3</i>	18.8
125-250 $\mu\text{m}$	<i>vash.4</i>	36.3
62.5-125 $\mu\text{m}$	<i>vash.5</i>	20.5
31.25-62.5 $\mu\text{m}$	<i>vash.6</i>	3.0
15.625-31.625 $\mu\text{m}$	<i>vash.7</i>	1.5
7.8125-15.625 $\mu\text{m}$	<i>vash.8</i>	1.0
3.9065-7.8125 $\mu\text{m}$	<i>vash.9</i>	0.5
<3.9 $\mu\text{m}$	<i>vash.10</i>	0.0

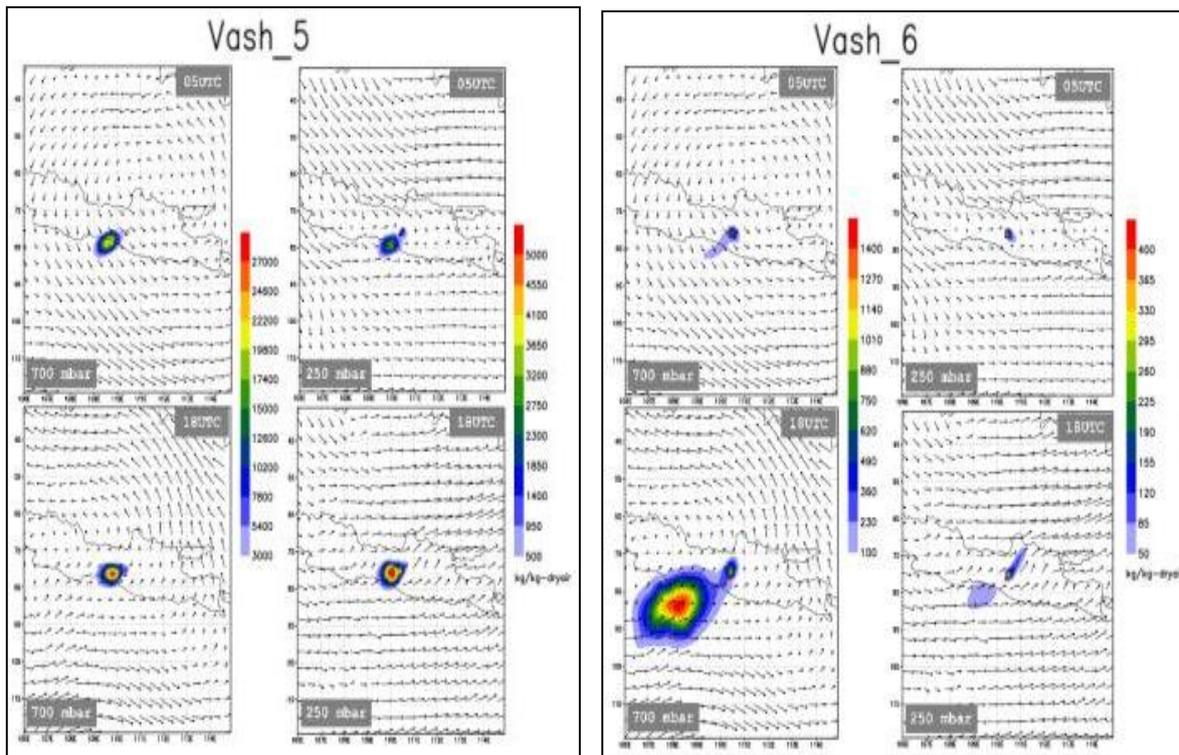
Hasil model WRF-Chem untuk sebaran *ash bin* ukuran 0.5-1 mm yang masuk ke dalam kategori *ash bin* 1-3 memiliki karakteristik yang hampir sama. Material letusan berupa abu vulkanik dengan rentang diameter ini cenderung tidak terpengaruh oleh adanya arus angin, baik pada lapisan dekat permukaan 850 mb ( $\pm 4700$  feet) hingga ke lapisan 100 mb ( $\pm 51000$  feet). Hal ini dikarenakan diameter partikel yang masih cukup besar sehingga memiliki massa yang lebih berat, yang menyebabkannya jatuh kembali ke permukaan lebih cepat dibandingkan ukuran *ash bin* lainnya. *Ash bin* 3 memiliki sedikit perbedaan dibandingkan *ash bin* 1 dan 2. Sebarannya pada titik gunung Merapi cenderung lebih luas diameternya yang diduga sebagai *plume* letusan yang dikeluarkan oleh gunung Merapi pada saat erupsi terjadi. Hal ini terus berlangsung dari awal erupsi hingga akhir periode model pada 18.00 UTC tanggal 3 Maret 2020 seperti pada **Gambar 5** yang menunjukkan sebaran pada pukul 09.00 UTC. Sedangkan untuk nilai konsentrasi abu vulkanik tertingginya pada

lapisan 850 mb dan terus menurun jika dibandingkan dengan lapisan 100 mb. Untuk *ash bin* 4 yang memiliki persentase tertinggi yakni 36.3% dibandingkan 10 *ash bin* lainnya memiliki sifat sebaran yang serupa dengan *ash bin* 1 hingga 3, namun dengan sebaran *plume* lebih besar dan cenderung mengarah ke selatan pada awal kejadian erupsi.



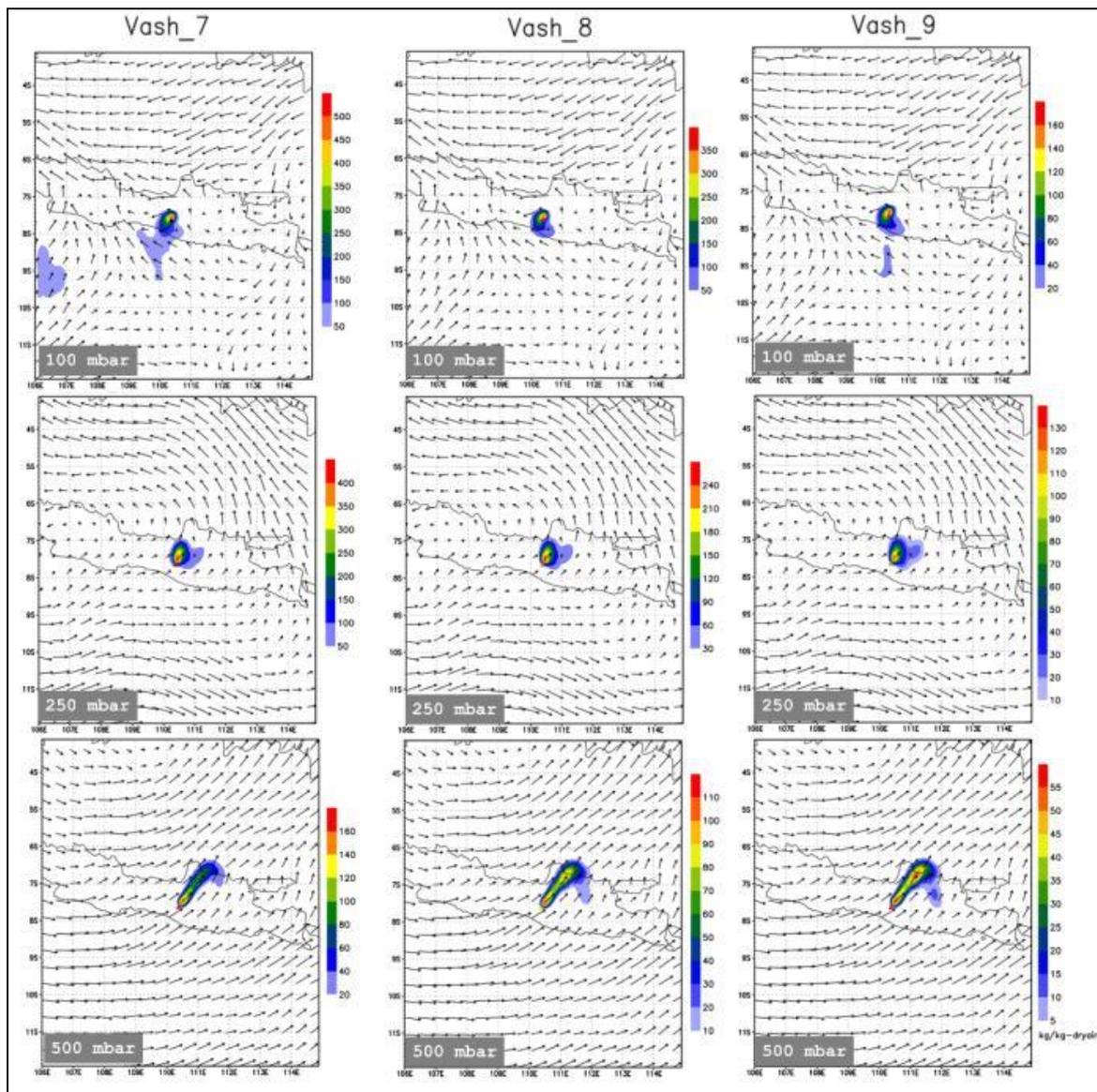
**Gambar 5.** Hasil Keluaran WRF-Chem Klasifikasi *ash bin* 1-4 pukul 09.00 UTC

Pola sebaran yang cukup unik ditemukan untuk klasifikasi *ash bin* 5 hingga 6 dengan rentang ukuran diameter 62.5-125  $\mu\text{m}$ . Ketika erupsi dimulai dalam *input* model WRF, terpantau sebaran abu vulkanik menyebar sebagai *plume* dengan area kurang lebih tidak jauh dari sekitar *vent* seperti pada *ash bin* 4 pada **Gambar 5**. Kemudian pukul 05.00 UTC abu vulkanik terbawa ke arah barat daya dan berkumpul, kemudian terdiam di sekitar pesisir Yogyakarta. Hal ini diduga disebabkan oleh arus angin yang membawa materi dengan ukuran diameter 62.5-125  $\mu\text{m}$  hanya memberi pengaruhnya pada awal kejadian erupsi saja. Arah propagasinya kemudian mulai berubah sekitar pukul 18 UTC mengikuti arah angin model yang dominan ke utara. Hal ini berlaku untuk keseluruhan lapisan ketinggian *ash bin* 5 seperti pada **Gambar 6**, namun sedikit berbeda dengan *ash bin* 6. Pola sebaran mulai terlihat mulai lapisan 250 mb ( $\pm 34000$  feet) untuk *ash bin* 6, ke arah barat daya dengan pola pumpunan yang serupa dengan *ash bin* 5 pada **Gambar 6** akan tetapi dengan sebaran yang lebih luas dan lebih masuk ke dalam Samudera Hindia dibanding pesisir Yogyakarta pada *ash bin* 5.



**Gambar 6.** Hasil Keluaran WRF-Chem Klasifikasi *ash bin* 5 dan 6 Pukul 05.00 UTC dan 18.00 UTC pada Ketinggian 700 mb dan 250 mb

Pada *ash bin* 7 dengan ukuran 15.625-31.625  $\mu\text{m}$  dengan persentase jauh lebih kecil dibandingkan *ash bin* dengan ukuran lebih besar darinya ini pola sebaran yang lebih luas mulai terlihat. Pola sebaran *ash bin* 7 secara umum menyebar ke arah timur laut pada tiap lapisan dengan fluktuasi tidak berarti dari awal erupsi hingga akhir periode model WRF dengan jarak sebaran mencapai hingga pesisir utara Jawa Timur. Fluktuasi ditemui untuk lapisan 500 mb ( $\pm 18000$  feet) dengan jarak sebaran yang sama yakni hingga pesisir utara Jawa Timur pada pukul 17.00 UTC, selanjutnya untuk lapisan 250 mb menyebar ke arah tenggara dan berfluktuasi ke arah utara pada pukul 17.00 UTC dengan jarak sebaran tidak terlalu luas, dan yang terakhir pada lapisan 100 mb yang menyebar dengan jarak terjauh dibandingkan lapisan lainnya ke arah barat daya menuju Samudra Hindia konstan selama periode waktu model WRF. Jika diperhatikan, pola sebaran pada *ash bin* 7 sangat terpengaruh oleh arah angin pada tiap lapisannya dengan konsentrasi lebih tinggi pada lapisan atas dan terus berkurang berbanding lurus dengan berkurangnya ketinggian.

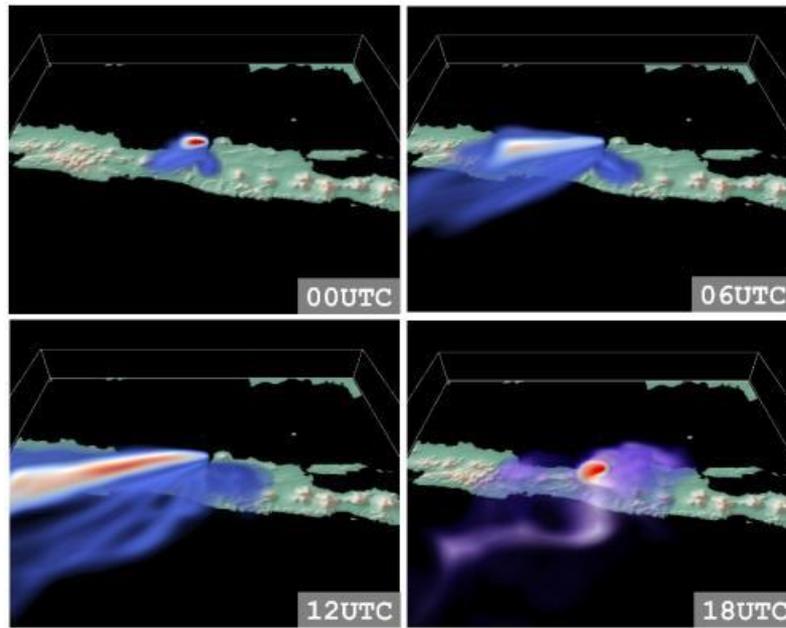


**Gambar 7.** Hasil Keluaran WRF-Chem Klasifikasi ash bin 7-9 Pukul 17.00 UTC pada Ketinggian 500, 250, dan 100mbar

Pola sebaran yang sama dengan ash bin 7 juga terjadi pada ash bin 8 dan 9. Tidak jauh berbeda pada arah sebarannya seperti pada gambar (5), namun dengan luasan spasial yang sedikit lebih jauh pada ash bin 9 dibandingkan ash bin 8, dan sedikit lebih jauh pula ash bin 8 dibandingkan ash bin 7. Karakteristik ash bin 8 dan 9 juga memiliki kesamaan yakni mudah terpengaruh oleh fluktuasi perubahan angin, dan konsentrasinya yang lebih tinggi pada lapisan atas dan terus berkurang seiring menurunnya lapisan.

Sebaran secara vertikal tampak jelas jika merujuk kepada gambar (8) dimana profil vertikal dari sebaran abu vulkanik yang dicerminkan dari ash bin 9 paling mendominasi

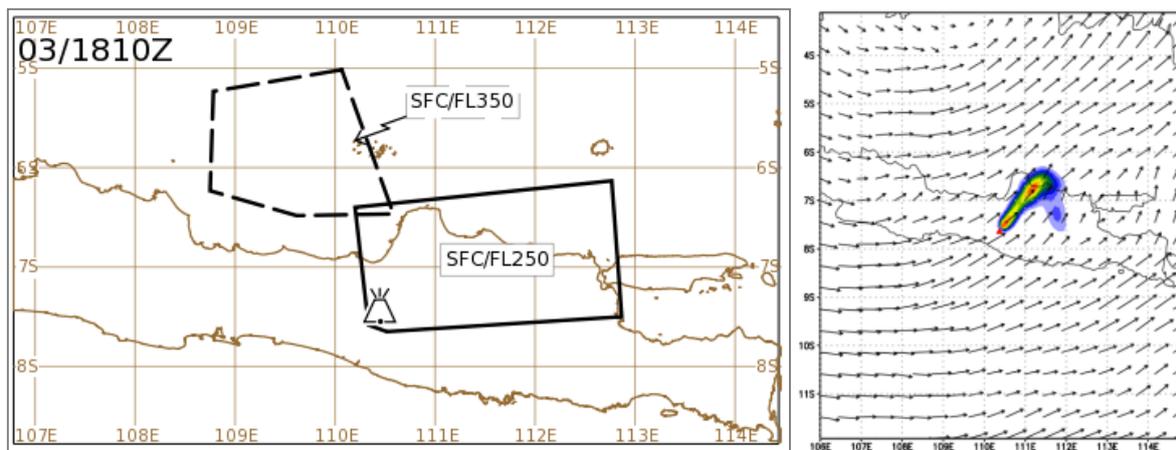
mengarah ke arah barat daya menuju Samudera Hindia dan ke arah timur laut menuju arah Jawa Timur. Terpantau profil letusan yang terus tumbuh menjulang tinggi dan menyebar lebih jauh dari pukul 00.00-12.00 UTC dan kemudian mulai mengalami *dispersi* pada pukul 18.00 UTC.



**Gambar 8.** Hasil Keluaran WRF-Chem Klasifikasi *ash bin* 7-9 Pukul 17.00 UTC pada Ketinggian 500, 250, dan 100mbar

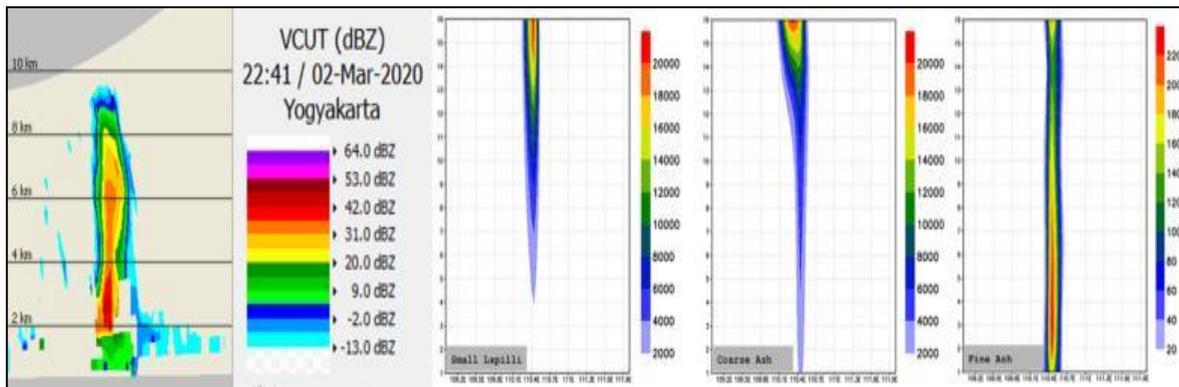
### Komparasi Hasil Model-WRF

Berdasarkan hasil nilai konsentrasi dari masing-masing *ash bin* 1-9, secara umum menunjukkan kesesuaian dari model WRF dengan observasi menggunakan satelit dan radar, serta prakiraan dari data *advisory* VAAC Darwin dari segi arah sebarannya. Sebaran berdasarkan klasifikasi yang sesuai adalah *ash bin* 7, 8 dan 9. Pada *ash bin* jenis ini sebaran mengarah sesuai dengan observasi satelit dan prakiraan dari VAAC Darwin yakni mengarah ke timur dan ke utara pada ketinggian 500 mb atau 35000 feet. Kemudian, konsentrasi dan sebarannya terus berkurang seiring bertambahnya ketinggian hingga lapisan 100 mb. Hal ini dicerminkan dari **Gambar 7** yang menggambarkan kondisi sebaran abu vulkanik oleh model WRF pada pukul 18.00 UTC. Perbandingan dengan menggunakan citra satelit cenderung sulit dilakukan dikarenakan pada pukul 02.00 UTC kondisi perawanan mulai menutup dari pandangan citra satelit terhadap abu vulkanik seperti yang terlihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 9.** Prakiraan Sebaran Abu Vulkanik VAAC Darwin (kiri) dan Sebaran Abu Vulkanik Hasil WRF Chem Untuk *ash bin 9* lapisan 500 mb Pukul 18 UTC (kanan)

Sedangkan, pengamatan dari citra radar yang memberikan informasi distribusi ukuran material letusan dari gunung Merapi yang puncaknya terjadi pukul 22.41 UTC pada **Gambar 4**, dapat dibandingkan dengan ukuran klasifikasi *ash bin* hasil dari model WRF. Jika merujuk kepada ukurannya maka masing-masing klasifikasi dapat dicocokkan sebagai *Small Lapilli* (*ash bin 1-3*), *Coarse Ash* (*ash bin 4-7*), dan *Fine Ash* (*ash bin 8-9*). Sehingga dapat diperoleh juga perbandingan yakni konsentrasi dari material seukuran *Small Lapilli* berdasarkan model WRF memiliki perbedaan. Sebaran untuk hasil model dominan pada lapisan 250 mb, sedangkan hasil observasi radar cenderung pada lapisan rendah saja. Kemudian material seukuran *Coarse Ash* cenderung dominan berada pada lapisan 250 mb yang berbeda dengan pengamatan radar yang dominan pada lapisan menengah untuk material dengan klasifikasi ukuran serupa dengan konsentrasi hasil model maksimum mencapai 20000 kg/kg-dryair yang mana ukuran klasifikasi *Small Lapilli* juga memiliki nilai maksimum yang sama. Terakhir adalah material dengan klasifikasi ukuran tipe *Fine Ash* yang juga memiliki perbedaan jika dibandingkan dari segi nilai konsentrasinya dari hasil model dengan pengamatan radar. Material dengan klasifikasi ini cenderung dominan pada lapisan rendah berkisar 850 – 700 mb dengan konsentrasi maksimumnya adalah 220 kg/kg-dryair berdasarkan hasil model. Sedangkan berdasarkan pengamatan radar, material dengan klasifikasi ini mulai terdeteksi pada ketinggian hingga 6km atau berkisar 500 mb.



**Gambar 10.** Perbandingan Keluaran Produk VCUT radar dengan Masing-Masing Akumulasi Konsentrasi ash bin 1-3 (*small lapilli*), ash bin 4-7 (*coarse ash*), ash bin 8-9 (*fine ash*)

Kemudian untuk perbandingannya dengan citra satelit, secara umum klasifikasi *ash bin* yang mendapat kecocokan arah sebarannya dimulai dari *ash bin* 7 hingga 9 jika kita menarik perbandingan pada gambar (7) dengan gambar (2). Perbedaan yang sangat terlihat yakni pada *ash bin* 5 dan 6 jika merujuk pada gambar (6) dengan gambar (2) yang mana hasil citra satelit cenderung menangkap sebaran abu vulkanik yang mengarah ke Jawa Timur, sedangkan hasil dari model untuk *ash bin* 5 dan 6 cenderung mengarah ke pesisir selatan Yogyakarta. Sehingga diduga, hasil dari pemantauan dengan menggunakan citra satelit, lebih sensitif terhadap material pada ukuran yang sesuai dengan *ash bin* 7, 8, dan 9 dibandingkan klasifikasi *ash bin* dengan ukuran diameter yang lebih besar.

## PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis dan perbandingan model WRF-Chem dengan observasi menggunakan penginderaan jarak jauh menggunakan radar dan satelit diperoleh informasi bahwa arah sebaran abu vulkanik dengan menggunakan WRF-Chem memiliki perbedaan yang signifikan dari segi distribusi konsentrasi tiap-tiap klasifikasi ukuran abu vulkanik berdasarkan ketinggiannya, jika dibandingkan dengan hasil observasi radar Yogyakarta. Sedangkan dari segi arah sebaran abu vulkanik, hasil dari WRF-Chem menunjukkan kesamaan pada klasifikasi *ash bin* 1-4 dan 7-8 jika dibandingkan dengan observasi dengan satelit Himawari-8 dan data prakiraan dari VAAC Darwin yang dominan mengarah ke pesisir utara Jawa Timur. Namun pada klasifikasi *ash bin* 5-6 perbedaan terlihat yang mana ia mengarah ke pesisir selatan Yogyakarta. Sehingga diduga, pengamatan dari citra satelit lebih sensitif terhadap sebaran dari klasifikasi *ash bin* 7, 8, dan 9 dibandingkan klasifikasi *ash bin* dengan ukuran diameter yang lebih besar.

Pemantauan sebaran abu vulkanik dengan menggunakan model WRF-Chem cenderung memiliki keunggulan dari segi detail nilai konsentrasi dan sebaran abu vulkanik yang dipisahkan berdasarkan lapisan dan klasifikasi ukuran, maupun dari segi skala temporal. Dibandingkan dengan pengamatan satelit yang sangat terpengaruh oleh awan meteorologis dan radar yang kurang mampu untuk melihat dari segi ukuran material abu vulkanik yang lebih kecil dan data dari konsentrasinya yang kurang dapat diunggulkan, contohnya pada profil reflektivitas yang tervisualisasikan dengan *pallette* ukuran abu vulkanik dari radar pukul 22.41 UTC tersebut tidak dapat dijadikan acuan untuk nilai konsentrasi. Sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan penginderaan jauh yang mumpuni untuk menghitung konsentrasi aerosol di udara seperti halnya *Lidar Ground* maupun satelit CALIPSO untuk verifikasi perbandingan hasil model yang akurat. Dari keunggulan tersebut, model WRF-Chem juga memiliki kekurangan dari segi waktu komputasi yang terbilang cukup memakan waktu, sehingga sulit untuk dijadikan acuan peringatan dini dibandingkan dengan prediksi subjektif tradisional.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azani, A. A., Tata, C. N. S., Kuntinah, Nugraheni, I. R., & Ali, A. (2019). Pemanfaatan Produk Radar Cuaca dan Satelit untuk Mengidentifikasi Sebaran Abu Vulkanik (Studi Kasus Letusan Gunung Agung Tanggal 26 November 2018). *Seminar Nasional Pendidikan*, 195–203.
- BMKG. (2011). *Pedoman Operasional Pengelolaan Citra Satelit Cuaca*. Jakarta: Pusat Meteorologi Publik.
- Brega, E., Caccamo, M. T., Castorina, G., Magazú, S., Morichetti, M., Munaó, G., ... Rizza, U. (2020). *WRF-Chem optimization for the estimation of Etna volcanic ash fallout*. diakses dari <http://arxiv.org/abs/2005.14641>
- Freitas, S. R., Longo, K. M., Alonso, M. F., Pirre, M., Marecal, V., Grell, G., ... Sánchez Gácita, M. (2011). PREP-CHEM-SRC – 1.0: a preprocessor of trace gas and aerosol emission fields for regional and global atmospheric chemistry models. *Geoscientific Model Development*, 4(2), 419–433. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-419-2011>
- Mastin, L. G., Guffanti, M., Servranckx, R., Webley, P., Barsotti, S., Dean, K., ... Waythomas, C. F. (2009). A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 186(1–2), 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.01.008>
- Newhall, C. G., Bronto, S., Alloway, B., Banks, N. G., Bahar, I., del Marmol, M. A., ... Wirakusumah, A. D. (2000). 10,000Years of explosive eruptions of Merapi Volcano,

- Central Java: archaeological and modern implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100(1–4), 9–50. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00132-3](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00132-3)
- Prata, F., & Rose, B. (2015). Volcanic Ash Hazards to Aviation. In *The Encyclopedia of Volcanoes* (pp. 911–934). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00052-3>
- Pratikno, H., Rahmat, H. K., & Sumantri, S. H. (2020). Implementasi Cultural Resource Management dalam Mitigasi Bencana pada Cagar Budaya di Indonesia. *NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 7(2), 427-436.
- Priambodo, A., Widyaningrum, N., & Rahmat, H. K. (2020). Strategi Komando Resor Militer 043/Garuda Hitam dalam Penanggulangan Bencana Alam di Provinsi Lampung. *PERSPEKTIF*, 9(2), 307-313.
- PVMBG. (2021). Data Dasar Gunung Api Indonesia [online]. Diakses May 14, 2021, dari <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/%0Agunungapi/data-dasar-gunungapi>
- Rahmat, H. K., Pratikno, H., Gustaman, F. A. I., & Dirhamsyah, D. (2020a). Persepsi Risiko dan Kesiapsiagaan Rumah Tangga dalam Menghadapi Bencana Tanah Longsor di Kecamatan Sukaraja Kabupaten Bogor. *SOSIOHUMANIORA: Jurnal Ilmiah Ilmu Sosial dan Humaniora*, 6(2), 25-31.
- Rahmat, H. K., Pratikno, H., Gustaman, F. A. I., & Dirhamsyah, D. (2020b). Persepsi Risiko dan Kesiapsiagaan Rumah Tangga dalam Menghadapi Bencana Tanah Longsor di Kecamatan Sukaraja Kabupaten Bogor. *SOSIOHUMANIORA: Jurnal Ilmiah Ilmu Sosial dan Humaniora*, 6(2), 25-31.
- Rahmat, H. K., Syarifah, H., Kurniadi, A., Putra, R. M., & Wahyuni, S. W. (2021). Implementasi Kepemimpinan Strategis Guna Menghadapi Ancaman Bencana Banjir Dan Tsunami Di Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Manajemen Bencana (JMB)*, 7(1).
- SELEX. (2013). *Software Manual Rainbow 5 Product & Algorithms*. Germany: SELEX SIGmbH.
- Shimizu, A. (2020). Newly proposed RGBs by Himawari-8 and some case studies. *Meteorological Satellite Center Technical Note*, (65).
- Stuefer, M., Freitas, S. R., Grell, G., Webley, P., Peckham, S., McKeen, S. A., & Egan, S. D. (2013). Inclusion of ash and SO<sub>2</sub> emissions from volcanic eruptions in WRF-Chem: development and some applications. *Geoscientific Model Development*, 6(2), 457–468. <https://doi.org/10.5194/gmd-6-457-2013>
- UCAR. (2021). WRF-CHEM. Retrieved July 3, 2021, from <https://www2.acom.ucar.edu/WRF-CHEM>
- Webley, P. W., Steensen, T., Stuefer, M., Grell, G., Freitas, S., & Pavolonis, M. (2012). Analyzing the Eyjafjallajökull 2010 eruption using satellite remote sensing, lidar and

WRF-Chem dispersion and tracking model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D20). <https://doi.org/10.1029/2011JD016817>

- Wiguna, P. P. H., Wati, K. S., & Setiawan, F. (2016). Utilization of WRF-Chem Modelling for Barujari Mount of Volcanic Ash Distribution Analysis. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6(6), 561–566.
- Yudistira, R., Sary, I., & Saputra, A. H. (2019). Pemanfaatan model WRF-Chem dalam analisis sebaran abu vulkanik Gunung Merapi (Erupsi tanggal 23 Maret 2020). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 6(3), 15–22.
- Yurika, R. E., Rahmat, H. K., & Widyastuti, C. (2022, June). Integrasi Layanan Bimbingan dan Konseling dengan Kurikulum Berbasis Budaya Yogyakarta untuk Membangun Cultural Awareness. In *NCESCO: National Conference on Educational Science and Counseling* (Vol. 2, No. 1).
- Zakiah, A., Rahmat, H. K., & Sa'adah, N. (2022). Peran konselor lintas agama dan budaya sebagai problem solving masyarakat multibudaya [The role of cross-religious and cultural counselors as a multi-cultural community solving problem]. *Al-Ihtiram: Multidisciplinary Journal of Counseling and Social Research*, 1(1).