

# IDENTIFIKASI DAMPAK SEBARAN DEBU VULKANIK TERHADAP PENERBANGAN DI BANDAR UDARA I GUSTI NGURAH RAI (STUDI KASUS: ERUPSI GUNUNG AGUNG PERIODE OKTOBER SAMPAI DESEMBER 2017

Oktiana Winarni<sup>1</sup>, Winardi Tjahyo Baskoro<sup>2</sup>, Kadek Sumaja<sup>3</sup>  
Universitas Udayana<sup>1,2</sup>

Stasiun Meteorologi Kelas I Ngurah Rai<sup>3</sup>

**Email:** oktiana.winarni18@gmail.com<sup>1</sup>, winardi@unud.ac.id<sup>2</sup>, kadek.sumaja@gmail.com<sup>3</sup>

## Abstract

*Mount Agung is one of the active mountains in the Bali region which is in the north of Bali and is about 75 kilometers from I Gusti Ngurah Rai Airport which is in the southwest of Mount Agung. Mount Agung has an eruption record from early October to late December 2017 with Level 3 to Level 4. By using 4 methods, namely Himawari-8 satellite imagery, trajectory and dispersion hysplit and Streamline models, a pattern of volcanic ash distribution was produced that directed towards the South to Southwest due to the influence of wind patterns and cyclones with wind speeds reaching 10 to 100 knots at altitudes of 400, 500, 600, 700 and 850 hPa and the minimum particle concentration value in volcanic ash eruption of Mount Agung reaches  $3,8^{-21}$  mass/m<sup>3</sup> and the maximum particle concentration value reaches  $1,0^{-11}$  mass/m<sup>3</sup>. In addition, the distribution of volcanic ash leading to I Gusti Ngurah Rai Airport also has an impact on the safety of flight activities both during take-off and landing, so that on November 27 to 30, 2017 I Gusti Ngurah Rai Airport was officially closed and canceled flights to and from Bali.*

**Keywords:** Mount Agung, Volcanic Dust, Himawari-8 Satellite Imagery, Hysplit, Streamline

## Abstrak

Gunung Agung merupakan salah satu gunung aktif di wilayah Bali yang berada di sebelah Utara wilayah Bali dan berjarak sekitar 75 kilometer dari Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai yang berada di sebelah Barat Daya gunung Agung. Gunung Agung memiliki catatan erupsi dari awal Oktober sampai akhir Desember 2017 dengan status siaga hingga awas. Dengan menggunakan 4 metode yaitu citra satelit himawari-8, trajektori dan dispersi model hysplit serta Streamline, dihasilkan pola sebaran debu vulkanik yang mengarah ke arah Selatan hingga Barat Daya akibat pengaruh pola angin dan siklon cempaka dengan kecepatan angin mencapai 10 hingga 100 knot pada ketinggian 400, 500, 600, 700 dan 850 hPa serta nilai konsentrasi partikel minimum pada debu vulkanik erupsi gunung Agung mencapai  $3,8^{-21}$  mass/m<sup>3</sup> dan nilai konsentrasi partikel maksimum mencapai  $1,0^{-11}$  mass/m<sup>3</sup>. Selain itu, sebaran debu vulkanik yang mengarah ke Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai juga memiliki dampak bagi keselamatan aktivitas penerbangan baik saat take-off maupun landing, sehingga pada tanggal 27 hingga 30 November 2017 Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai resmi ditutup serta membatalkan penerbangan dari dan menuju Bali.

**Kata kunci:** Gunung Agung, Debu Vulkanik, Citra Satelit Himawari-8, Hysplit, Streamline

## PENDAHULUAN

Dalam mengoperasikan pesawat terbang, unsur keselamatan, keamanan, konsistensi dan kenyamanan penerbangan merupakan hal yang harus menjadi perhatian dan juga menjadi perhatian. Kecelakaan juga dapat disebabkan oleh faktor teknis, manusia (human factor), atau faktor alam, seperti cuaca, gempa bumi, atau debu vulkanik, padahal pesawat terbang merupakan salah satu moda transportasi tercepat (Saputra, dkk 2015). Saat lepas landas dan mendarat, debu vulkanik dapat menimbulkan risiko terhadap keselamatan aktivitas penerbangan. Puing-puing vulkanik juga dapat merusak tabung steker dan salah

membaca informasi kecepatan pesawat. Selain itu, debu vulkanik dengan kontur tajam akan menggores kaca kokpit pesawat sehingga menghalangi pandangan pilot. Kemudian, jika residu vulkanik masuk ke motor pesawat dapat membuat ujung tombak turbin larut karena suhu motor yang panas. Gunung Agung merupakan salah satu gunung berapi yang dinamis di kawasan Bali. Gunung Agung merupakan titik tertinggi di Pulau Bali dan menguasai wilayah sekitarnya sehingga berdampak pada lingkungan, khususnya pola curah hujan (Lararenjana, 2021). Pada periode Oktober hingga Desember 2017, gunung Agung tercatat mengalami status siaga 3 karena adanya perubahan arah angin dari Barat-Barat Laut ke Timur-Tenggara. Letusan debu vulkanik Gunung Agung di Bandara Ngurah Rai Denpasar mengancam operasional penerbangan akibat pergeseran arah angin tersebut.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Angin**

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan gaya pneumatik dan jalannya aliran angin dari daerah dengan regangan tinggi ke daerah dengan tegangan rendah atau dari daerah dengan suhu/temperatur rendah ke daerah dengan suhu tinggi. Angin memiliki hubungan yang erat dengan siang hari karena daerah yang terpapar banyak sinar matahari akan memiliki suhu yang lebih tinggi dan tekanan gas yang lebih rendah daripada daerah lain di sekitarnya, menyebabkan aliran angin. Benda bergerak juga dapat menyebabkan angin mendorong udara di sekitarnya untuk bergerak ke tempat lain. (Lararenjana, 2020).

### **Angin Muson**

Angin muson merupakan perkembangan udara yang terjadi karena adanya perbedaan gaya pneumatik di wilayah darat (daratan) dan di wilayah laut (laut). Perubahan iklim dapat terjadi akibat perbedaan tekanan udara antara kedua lokasi tersebut (Geost, 2019). Angin muson barat dan muson timur adalah dua jenis angin muson yang berbeda. Angin muson barat adalah angin yang berhembus dari benua Asia ke benua Australia antara bulan Oktober sampai April. Benua Asia memiliki tekanan udara yang lebih tinggi (lebih panas) dibandingkan dengan benua Australia, yang menyebabkan terjadinya pergerakan angin ini (Rianjani, 2021). Sedangkan angin muson timur adalah angin yang berhembus dari benua Australia ke benua Asia antara bulan April hingga Oktober. Pergerakan angin tersebut terjadi akibat tekanan udara di benua Australia lebih tinggi (panas) dibanding benua Asia. Angin ini sedikit membawa uap air, sehingga Indonesia mengalami musim kemarau (Rianjani, 2021).

### **Gunung Agung**

Gunung Agung merupakan salah satu gunung berapi aktif yang ada di Bali dan merupakan gunung yang paling terkenal menurut wisatawan asing. Gunung Agung mengalami beberapa kali erupsi dan memasuki status awas pada 22 September 2017 pukul 20.30 WITA. Status gunung Agung mengalami penurunan menjadi level siaga pada tanggal 29 Oktober 2017 16:00 WITA dan naik kembali pada tanggal 27 November 2017 pukul 06:00 WITA menjadi level awas.

### **Debu Vulkanik**

Udara membawa partikel padat yang sangat kecil yang dikenal sebagai debu. Ukuran partikel debu juga sangat bervariasi, mulai dari yang tidak terdeteksi oleh mata telanjang hingga ukuran yang terlihat oleh mata telanjang (Fadhilah, 2022). Partikel yang lebih kecil akan terbang atau tetap melayang di udara sedangkan partikel yang lebih besar akan tetap berada di permukaan benda atau jatuh (mengendap sementara di udara). Ukuran debu biasanya dalam mikron, sedangkan ukuran rambut antara 50 dan 70 mikron (Gianto, 2015).  
Citra Satelit RGB (Merah-Hijau-Biru)

Salah satu informasi pendeteksian jarak jauh yang dapat dimanfaatkan untuk menyaring peredaran puing-puing vulkanik adalah simbolisme satelit Himawari-8. Satelit Himawari-8 adalah satelit kondisi cuaca yang dikerjakan oleh Japan Meteorological Office (JMA) dari Juli 2015 hingga saat ini.. (Sugianto, 2018). Simbolisme Satelit RGB (Merah-Hijau-Biru) Salah satu informasi pendeteksian jarak jauh yang dapat dimanfaatkan untuk menyaring peredaran puing-puing vulkanik adalah simbolisme satelit Himawari-8. Satelit Himawari-8 adalah satelit kondisi cuaca yang dikerjakan oleh Japan Meteorological Office (JMA) dari Juli 2015 hingga saat ini.

### **HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)**

Untuk lintasan parsel udara langsung dan transportasi rumit, dispersi, transformasi kimia, dan simulasi pengendapan, model Hysplit (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) adalah keseluruhan sistem. Selain itu, Hysplit telah digunakan dalam sejumlah simulasi yang menjelaskan transportasi, dispersi, dan pengendapan bahan berbahaya dan polutan di atmosfer. Pelacakan dan peramalan pelepasan bahan radioaktif, asap kebakaran, debu yang tertiuip angin, polutan dari berbagai sumber emisi tetap dan bergerak, alergen, dan debu vulkanik adalah beberapa contoh penerapannya.

#### **Angin Streamline**

Kondisi yang digambarkan dalam kurva di setiap titik berdasarkan garis singgung atau paralel dengan data angin di daerah tempat mereka berada. Kondisi ini dikenal sebagai "angin arus" (Agus, 2011). Streamline adalah garis gradien aliran pada grafik sinoptik yang digunakan dalam meteorologi untuk mewakili angin yang bertiup sejajar dengan tekanan horizontal dan normal terhadap gradien tekanan. Arah gerakan fluida di area tertentu atau melalui volume tertentu pada waktu tertentu dapat dijelaskan dengan menggunakan istilah "garis arus"(Oliver, 2012).

### **METODE**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2021, yang bertempat di Stasiun Meteorologi Kelas 1 Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai, Denpasar. Adapun sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Data Citra Satelit Himawari-8 yang di dapat melalui aplikasi Filezilla dengan periode data yang di ambil pada bulan Oktober sampai Desember 2017.
- Data trajektori dan disperi diakses melalui laman web Ready NOAA dengan periode data yang di ambil pada bulan Oktober sampai Desember 2017.
- Data Angin Streamline bersumber dari laman resmi BMKG di [cfs.climat.copernicus](https://cfs.climat.copernicus) dengan periode data yang di ambil pada bulan Oktober sampai Desember 2017.

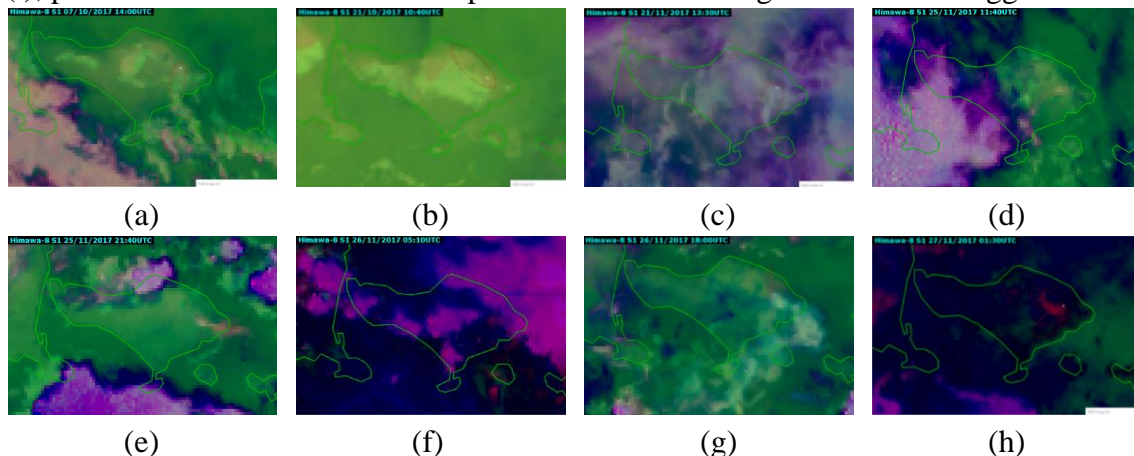
## HASIL DAN PEMBAHASAN

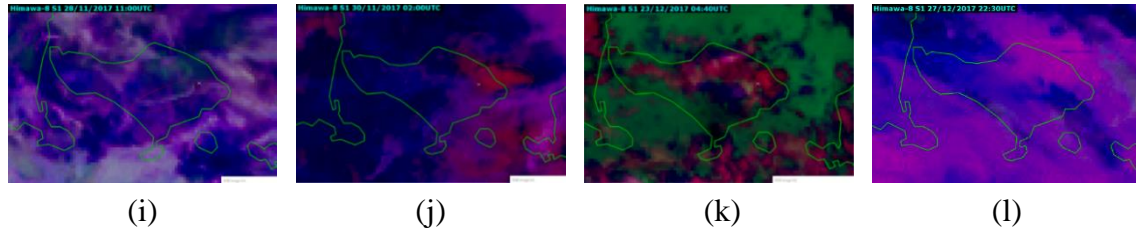
### Citra satelit RGB Himawari-8

Citra satelit RGB himawari digunakan untuk mengetahui pola sebaran debu vulkanik yang terjadi saat erupsi gunung berapi. Erupsi gunung agung pada periode oktober terjadi pada tanggal 7 Oktober 2017 pukul 12:30 UTC, pola sebaran debu vulkanik saat pukul 14:00 UTC mengarah ke arah Selatan gunung Agung yang dapat di lihat pada **Gambar 1(a)**. Erupsi kedua terjadi pada tanggal 21 Oktober 2017 pukul 09:05 UTC, terlihat pada **Gambar 1(b)** bahwa pola sebaran debu vulkanik saat pukul 10:40 UTC mengarah ke arah Barat Laut wilayah Bali.

Pada periode bulan November 2017, erupsi gunung Agung pertama kali terjadi pada tanggal 21 November 2017 pukul 09:05 UTC. Berdasarkan **Gambar 1(c)**, pola sebaran debu vulkanik saat pukul 13:30 UTC mengarah ke arah Selatan gunung Agung. Erupsi berikutnya terjadi pada tanggal 25 November 2017 pukul 09:30 UTC yang dapat dilihat pada **Gambar 1(d)** bahwa pola sebaran debu vulkanik saat pukul 11:40 UTC mengarah ke arah Barat Daya gunung Agung. Erupsi berikutnya terjadi pada tanggal 25 November 2017 pukul 21:05 UTC yang dapat dilihat pada **Gambar 1(e)** bahwa pola sebaran debu vulkanik saat pukul 21:40 UTC mengarah ke arah Timur Bali. Erupsi berikutnya terjadi pada tanggal 26 November 2017 pukul 03:46 UTC. Berdasarkan **Gambar 1(f)** dapat dilihat bahwa pola sebaran debu vulkanik saat pukul 05:10 UTC mengarah ke arah Selatan gunung Agung. Pola sebaran debu vulkanik mengarah ke arah Selatan Bali saat pukul 18:00 UTC yang dapat dilihat pada **Gambar 1(g)**. Erupsi berikutnya terjadi pada tanggal 26 November 2017 pukul 23:37 UTC yang dapat dilihat pada **Gambar 1(h)** bahwa pola sebaran debu vulkanik pada tanggal 27 November 2017 pukul 01:30 UTC mengarah ke arah Barat Daya gunung Agung. Pada tanggal 28 November 2017 pukul 07:00 UTC gunung Agung mengalami erupsi kembali, pola sebaran debu vulkanik saat pukul 11:00 UTC yang dapat di lihat pada **Gambar 1(i)** mengarah ke arah Barat Daya gunung Agung. Erupsi berikutnya terjadi pada tanggal 29 November 2017 pukul 22:00 UTC, dapat dilihat pada **Gambar 1(j)** bahwa pola sebaran debu vulkanik, pada tanggal 30 November 2017 pukul 02:00 UTC mengarah ke arah Timur Bali.

Pada periode bulan Desember 2017, erupsi gunung Agung terjadi pada tanggal 23 Desember 2017 pukul 03:57 UTC. Berdasarkan **Gambar 1(k)** bahwa pola sebaran debu vulkanik saat pukul 04:40 UTC mengarah ke arah Timur Laut wilayah Bali. Erupsi berikutnya terjadi pada tanggal 27 Desember 2017 pukul 21:00 UTC. Berdasarkan **Gambar 1(l)**, pola sebaran debu vulkanik saat pukul 22:30 UTC mengarah ke arah Tenggara Bali.

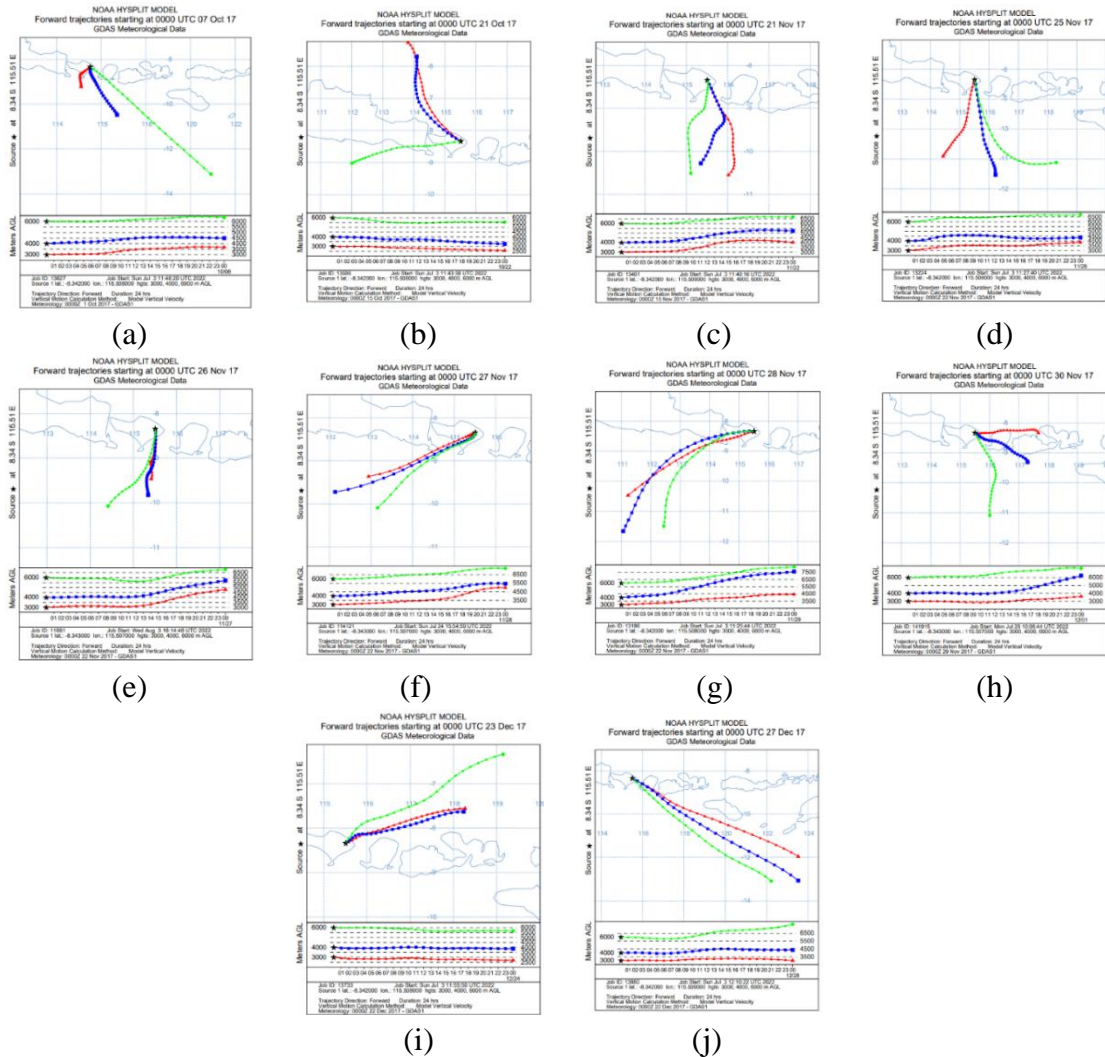




**Gambar 1** Hasil Pengolahan Data Citra Satelit Himawari Gunung Agung (a) tanggal 7 Oktober 2017 pukul 14:00 UTC; (b) tanggal 21 Oktober 2017 pukul 10:40 UTC; (c) tanggal 21 Nopember 2017 pukul 13:30 UTC; (d) tanggal 25 Nopember 2017 pukul 11:40 UTC; (e) tanggal 25 Nopember 2017 pukul 21:40 UTC; (f) tanggal 26 Nopember 2017 pukul 05:10 UTC; (g) tanggal 26 Nopember 2017 pukul 18:00 UTC; (h) tanggal 27 Nopember 2017 pukul 01:30 UTC; (i) tanggal 28 Nopember 2017 pukul 11:00 UTC; (j) tanggal 30 Nopember 2017 pukul 02:00 UTC; (k) tanggal 23 Desember 2017 pukul 04:40 UTC; (l) tanggal 27 Desember 2017 pukul 22:30 UTC

### Hysplit (Hybrid Single Lagrangian Trajectory)

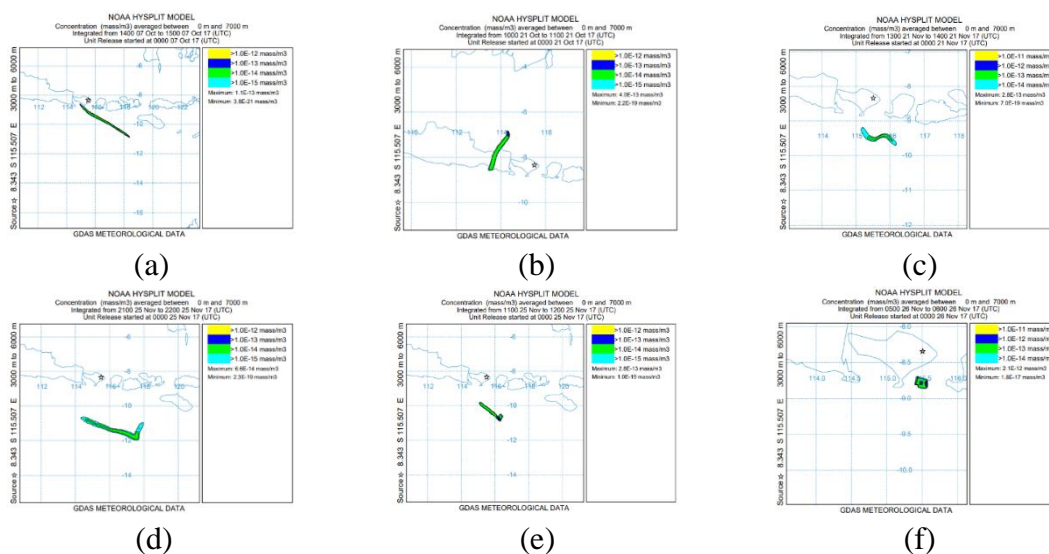
Hysplit memiliki 2 model yaitu Trajektori model yang digunakan untuk mengetahui arah lintasan debu vulkanik dan dispersi model yang digunakan untuk mengetahui nilai konsentrasi partikel debu vulkanik dan arah sebarannya. Pada tanggal 7 Oktober 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(a)** bahwa pergerakan debu vulkanik pada ketinggian 3.000 mdpl ke arah Selatan Bali, sedangkan pada ketinggian 4.000 dan 6.000 mdpl ke arah Tenggara Bali. Pada tanggal 21 Oktober 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(b)** bahwa pergerakan debu vulkanik dominan ke arah Laut Jawa, pada ketinggian 3.000 dan 4.000 mdpl ke arah Laut Jawa bagian Barat Laut wilayah Bali, sedangkan pada ketinggian 6.000 mdpl ke arah Laut Indonesia bagian Barat Daya Bali. Pada tanggal 21 November 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(c)** bahwa pergerakan debu vulkanik pada ketinggian 3.000 dan 4.000 mdpl ke arah Laut Indonesia bagian Tenggara Bali dan pada ketinggian 6.000 mdpl ke arah Laut Indonesia bagian Selatan Bali. Pada tanggal 25 November 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(d)** bahwa pergerakan debu vulkanik pada ketinggian 3.000 dan 4.000 mdpl ke arah Laut Indonesia bagian Selatan Bali, sedangkan pada ketinggian 6.000 mdpl ke arah Laut Indonesia bagian Tenggara Bali. Pada tanggal 26 November 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(e)** bahwa pergerakan debu vulkanik pada ketinggian 3.000, 4.000 dan 6.000 mdpl ke arah Selatan Bali. Pada tanggal 27 November 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(f)** bahwa pergerakan debu vulkanik pada ketinggian 3.000, 4.000 dan 6.000 mdpl ke arah Laut Indonesia bagian Selatan Jawa Timur. Pada tanggal 28 November 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(g)** bahwa pergerakan debu vulkanik pada ketinggian 3.000, 4.000 dan 6.000 mdpl ke arah Laut Indonesia bagian Selatan Jawa Timur. Pada tanggal 30 November 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(h)** bahwa pergerakan debu vulkanik pada ketinggian 3.000 mdpl ke arah Timur Bali, pada ketinggian 4.000 mdpl ke arah Tenggara Bali, pada ketinggian 6.000 mdpl ke arah Laut Indonesia bagian Selatan Lombok. Pada tanggal 23 Desember 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(i)** bahwa pergerakan debu vulkanik pada ketinggian 3.000, 4.000, dan 6.000 mdpl ke arah Timur Laut wilayah Bali. Pada tanggal 27 Desember 2017, terlihat pada **Gambar 2.1(j)** bahwa pergerakan debu vulkanik pada ketinggian 3.000, 4.000, dan 6.000 mdpl ke arah Laut Indonesia bagian Tenggara Bali.

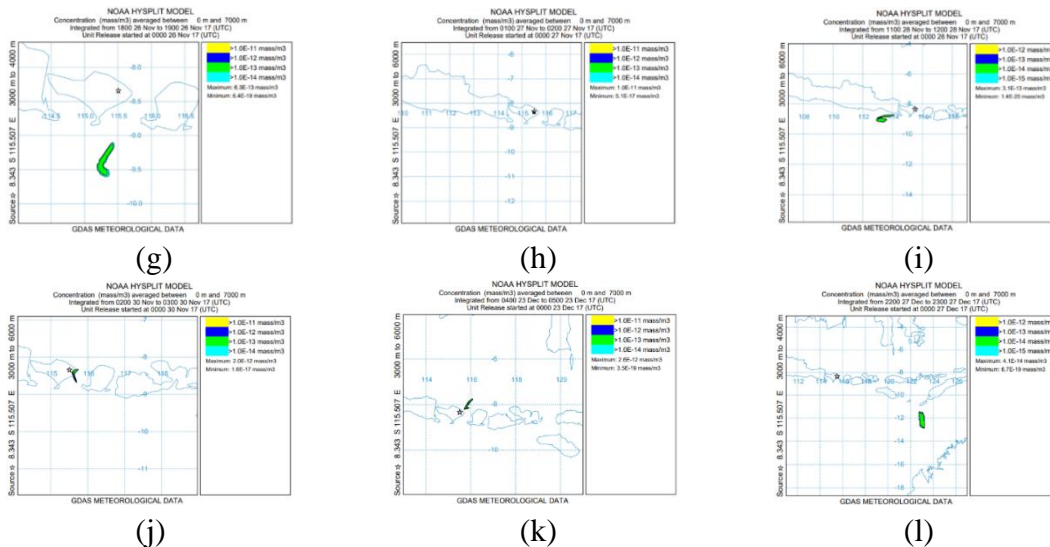


**Gambar 2.1** Hasil Pengolahan Data Hysplit Model Trajektori pada tanggal (a) tanggal 7 Oktober 2017; (b) tanggal 21 Oktober 2017; (c) tanggal 21 Nopember 2017; (d) tanggal 25 Nopember 2017; (e) tanggal 26 Nopember 2017; (f) tanggal 27 Nopember 2017; (g) tanggal 28 Nopember 2017; (h) tanggal 30 November 2017; (i) tanggal 23 Desember 2017; (j) tanggal 27 Desember 2017

Pada **Gambar 2.2(a)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 7 Oktober 2017 pukul 14:00 sampai 15:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-14} \text{ mass/m}^3$  bergerak menuju arah Selatan-Tenggara Bali dengan partikel minimum  $3,8^{-21} \text{ mass/m}^3$  dan partikel maksimum mencapai  $1,1^{-13} \text{ mass/m}^3$ . Pada **Gambar 2.2(b)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 21 Oktober 2017 pukul 10:00 sampai 11:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-13} \text{ mass/m}^3$  bergerak menuju Selatan Bali dengan partikel minimum  $7,0^{-19} \text{ mass/m}^3$  dan partikel maksimum mencapai  $2,8^{-13} \text{ mass/m}^3$ . Pada **Gambar 2.2(c)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 21 November 2017 pukul 13:00 sampai 14:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-13} \text{ mass/m}^3$  bergerak menuju Selatan Bali dengan partikel minimum  $7,0^{-19} \text{ mass/m}^3$  dan partikel maksimum mencapai  $2,8^{-13} \text{ mass/m}^3$ . Pada **Gambar 2.2(d)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 25 November 2017 pukul 11:00 sampai 12:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-14} \text{ mass/m}^3$  bergerak menuju Selatan-Tenggara Bali dengan partikel minimum  $1,0^{-19} \text{ mass/m}^3$  dan partikel maksimum mencapai  $2,8^{-13} \text{ mass/m}^3$ . Pada **Gambar**

**2.2(e)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 25 November 2017 pukul 21:00 sampai 22:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-14}$  mass/m<sup>3</sup> bergerak menuju Selatan-Tenggara Bali dengan partikel minimum  $2,3^{-19}$  mass/m<sup>3</sup> dan partikel maksimum mencapai  $6,6^{-14}$  mass/m<sup>3</sup>. Pada **Gambar 2.2(f)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 26 November 2017 pukul 05:00 sampai 06:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-12}$  mass/m<sup>3</sup> bergerak menuju Selatan gunung Agung dengan partikel minimum  $2,2^{-16}$  mass/m<sup>3</sup> dan partikel maksimum mencapai  $2,9^{-12}$  mass/m<sup>3</sup>. Pada **Gambar 2.2(g)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 26 November 2017 pukul 18:00 sampai 19:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-13}$  mass/m<sup>3</sup> bergerak menuju Selatan gunung Agung dengan partikel minimum  $6,4^{-19}$  mass/m<sup>3</sup> dan partikel maksimum mencapai  $6,3^{-13}$  mass/m<sup>3</sup>. Pada **Gambar 2.2(h)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 27 November 2017 pukul 01:00 sampai 02:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-12}$  mass/m<sup>3</sup> bergerak menuju Barat Daya Bali dengan partikel minimum  $5,1^{-17}$  mass/m<sup>3</sup> dan partikel maksimum mencapai  $1,0^{-11}$  mass/m<sup>3</sup>. Pada **Gambar 2.2(i)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 28 November 2017 pukul 11:00 sampai 12:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-13}$  mass/m<sup>3</sup> bergerak menuju Barat Daya Bali dengan partikel minimum  $1,4^{-20}$  mass/m<sup>3</sup> dan partikel maksimum mencapai  $3,1^{-13}$  mass/m<sup>3</sup>. Pada **Gambar 2.2(j)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 30 November 2017 pukul 02:00 sampai 03:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-12}$  mass/m<sup>3</sup> bergerak menuju Timur Bali dengan partikel minimum  $1,6^{-17}$  mass/m<sup>3</sup> dan partikel maksimum mencapai  $2,0^{-12}$  mass/m<sup>3</sup>. Pada **Gambar 2.2(k)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 23 Desember 2017 pukul 04:00 sampai 05:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-13}$  mass/m<sup>3</sup> bergerak menuju Timur Laut wilayah Bali dengan partikel minimum  $3,5^{-19}$  mass/m<sup>3</sup> dan partikel maksimum mencapai  $2,6^{-12}$  mass/m<sup>3</sup>. Pada **Gambar 2.2(l)** terlihat bahwa konsentrasi rata-rata partikel letusan pada tanggal 27 Desember 2017 pukul 22:00 sampai 23:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-14}$  mass/m<sup>3</sup> bergerak menuju Tenggara Bali dengan partikel minimum  $6,7^{-19}$  mass/m<sup>3</sup> dan partikel maksimum mencapai  $4,1^{-14}$  mass/m<sup>3</sup>.

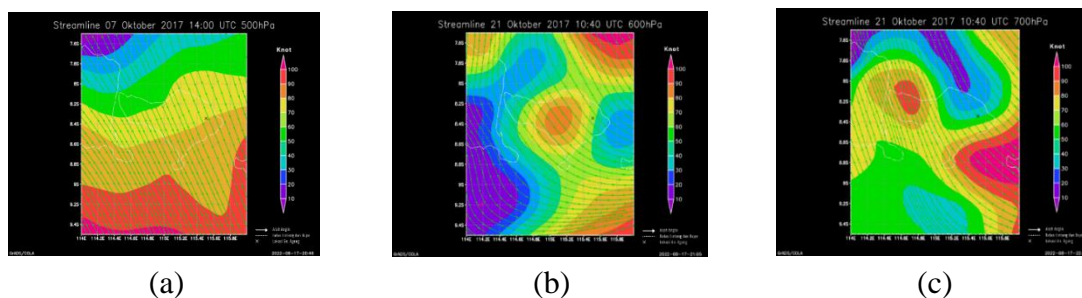




**Gambar 2.2** Hasil Pengolahan Data Hysplit Model Dispersi pada tanggal (a) 7 Oktober 2017 pukul 14:00-15:00 UTC; (b) 21 Oktober 2017 pukul 10:00-11:00 UTC; (c) 21 November 2017 pukul 13:00-14:00 UTC; (d) 25 November 2017 pukul 11:00-12:00 UTC; (e) 25 November 2017 pukul 21:00-22:00 UTC; (f) 26 November 2017 pukul 05:00-06:00 UTC; (g) 26 November 2017 pukul 18:00-19:00 UTC; (h) 27 November 2017 pukul 01:00-02:00 UTC; (i) 28 November 2017 pukul 11:00-12:00 UTC; (j) 30 November 2017 pukul 02:00-03:00 UTC; (k) 23 Desember 2017 pukul 04:00-05:00 UTC; (l) 27 Desember 2017 pukul 22:00-23:00 UTC

**Angin Streamline**

Angin streamline digunakan untuk mengetahui pola angin pada ketinggian atas. Pada tanggal 7 Oktober 2017 pukul 14:00 UTC, dapat dilihat pada **Gambar 3.1(a)** bahwa pola angin streamline pada ketinggian 500 hPa berasal dari arah Utara Bali ke Tenggara Bali melewati Selat Lombok dengan kecepatan 80 knot. Pada tanggal 21 Oktober 2017 10:40 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 600 hPa berasal dari arah Lombok ke Utara Bali dengan kecepatan 70 knot yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1(b)**, pada ketinggian 700 hPa berdasarkan **Gambar 3.1(c)** terlihat bahwa pola angin streamline berasal dari arah Lombok ke Utara Bali dengan kecepatan 50 knot.

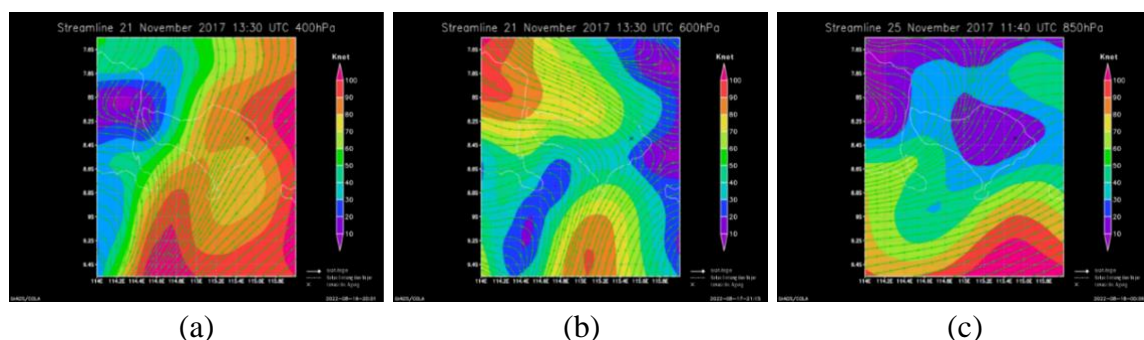


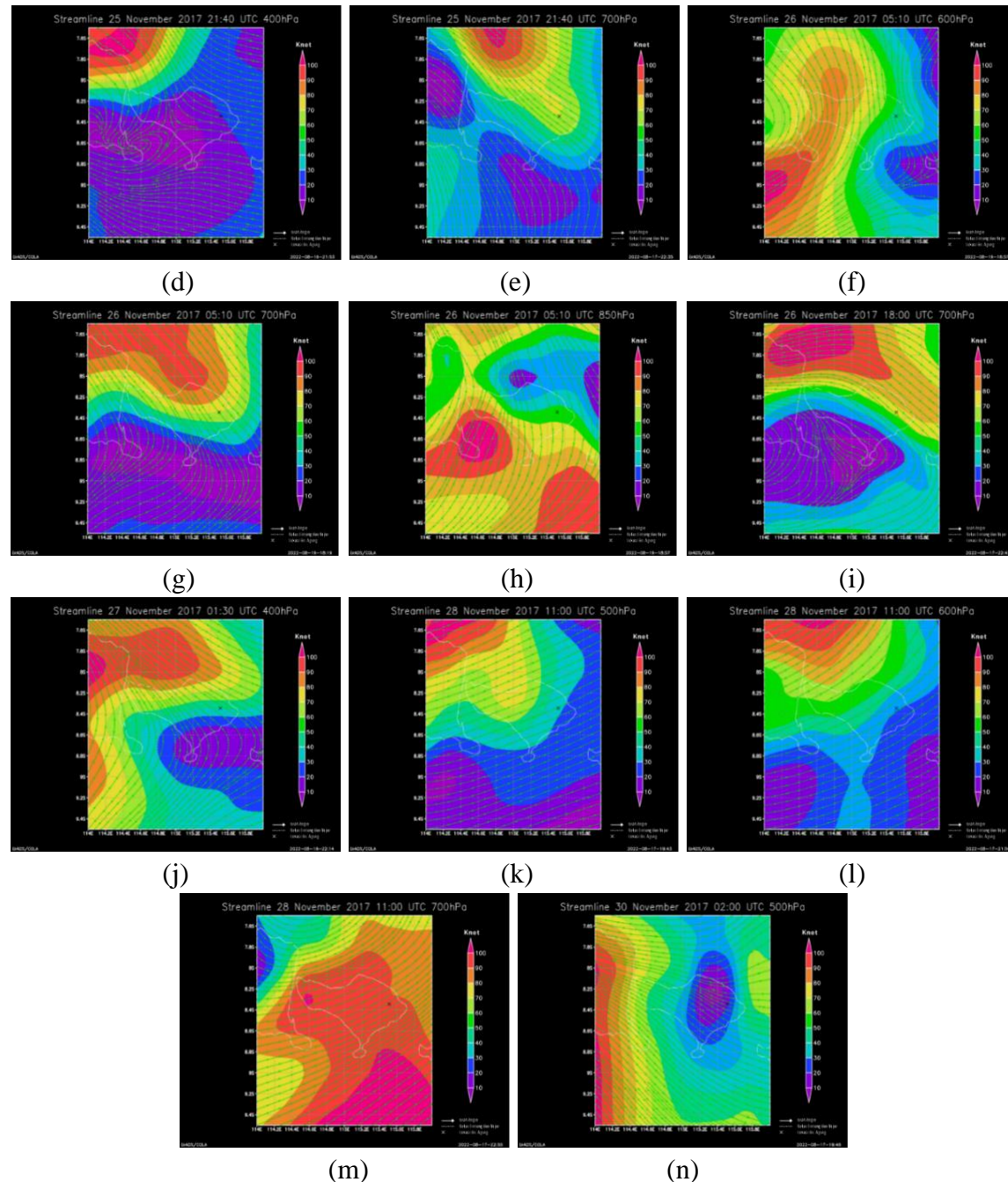
**Gambar 3.1** Hasil Pengolahan Data Streamline pada tanggal (a) 7 Oktober 2017 pukul 14:00 ketinggian 500 hPa; (b) 21 Oktober 2017 pukul 10:40 ketinggian 600 hPa; (c) 21 Oktober 2017 pukul 10:40 ketinggian 700 hPa

Pada tanggal 21 November 2017 13:30 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 400 hPa yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(a)** terlihat bahwa adanya belokan angin yang berasal dari arah Timur Laut wilayah Bali ke Selatan Bali melewati Timur Sanur dengan kecepatan 90 knot. Pada ketinggian 600 hPa, pola angin streamline berasal dari arah Utara



Jawa Timur ke Selatan Bali melewati Bali bagian Utara dan Nusa Penida dengan kecepatan 40 knot yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(b)**. Pada tanggal 25 November 2017 11:40 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 850 hPa yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(c)**, bahwa pola angin streamline berasal dari arah Timur Laut wilayah Bali ke Selatan Jawa Timur melewati Selat Bali dengan kecepatan 20 knot. Pada tanggal 25 November 2017 21:40 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 400 hPa yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(d)** terlihat bahwa adanya belokan angin yang berasal dari arah Barat Laut wilayah Bali ke Timur Bali dengan kecepatan 20 knot. Pada ketinggian 700 hPa berdasarkan **Gambar 3.2(e)** terlihat bahwa pola angin streamline berasal dari Barat Laut wilayah Bali ke Lombok dengan kecepatan 70 knot. Pada tanggal 26 November 2017 05:10 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 600 hPa, pola angin streamline berasal dari arah Utara Bali ke Selatan Bali melewati Selat Lombok dengan kecepatan 50 knot yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(f)**. Pada ketinggian 700 hPa berdasarkan **Gambar 3.2(g)** terlihat bahwa pola angin streamline berasal dari Barat Laut wilayah Bali ke Selatan Bali melewati Lombok bagian Barat dengan kecepatan 70 knot, dan pada ketinggian 850 hPa yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(h)**, bahwa pola angin streamline berasal dari arah Utara Bali ke Selatan Bali melewati Nusa Penida dengan kecepatan 60 knot. Pada tanggal 26 November 2017 pukul 18:00 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 700 hPa berdasarkan **Gambar 3.2(i)** terlihat bahwa pola angin streamline berasal dari Jawa Timur ke Selatan Bali melewati Utara Bali dan Lombok Barat dengan kecepatan 80 knot. Pada tanggal 27 November 2017 01:30 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 400 hPa yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(j)** terlihat bahwa adanya belokan angin yang berasal dari arah Barat Laut wilayah Bali ke Selatan Bali melewati Selat Lombok dengan kecepatan 50 knot. Pada tanggal 28 November 2017 11:00 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 500 hPa yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(k)** terlihat bahwa pola angin berasal dari arah Timur Laut wilayah Bali ke Selatan Jawa Timur melewati Selat Bali dengan kecepatan 40 knot. Pada ketinggian 600 hPa, pola angin streamline berasal dari arah Timur Laut wilayah Bali ke Selatan Jawa Timur melewati Selat Bali dengan kecepatan 35 knot yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(l)**, pada ketinggian 700 hPa berdasarkan **Gambar 3.2(m)** terlihat bahwa pola angin streamline berasal dari Timur Laut wilayah Bali ke Selatan Jawa Timur melewati Selat Bali dengan kecepatan 100 knot. Pada tanggal 30 November 2017 02:00 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 500 hPa yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2(n)** bahwa pola angin berasal dari arah Bali bagian Barat Laut ke Timur Bali dengan kecepatan 20 knot.

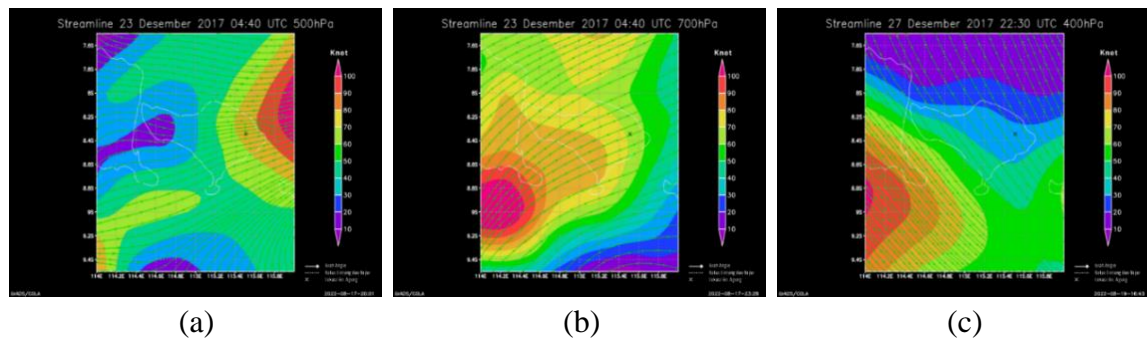




**Gambar 3.2** Hasil Pengolahan Data Streamline pada tanggal (a) tanggal 21 November 2017 pukul 13:30 UTC ketinggian 400 hPa; (b) tanggal 21 November 2017 pukul 13:30 UTC ketinggian 600 hPa; (c) tanggal 25 November 2017 pukul 11:40 UTC ketinggian 850 hPa; (d) tanggal 25 November 2017 pukul 21:40 UTC ketinggian 400 hPa; (e) tanggal 25 November 2017 pukul 21:40 UTC ketinggian 700 hPa; (f) tanggal 26 November 2017 pukul 05:10 UTC ketinggian 600 hPa; (g) tanggal 26 November 2017 pukul 05:10 UTC ketinggian 700 hPa; (h) tanggal 26 November 2017 pukul 05:10 UTC ketinggian 850 hPa; (i) tanggal 26 November 2017 pukul 18:00 UTC ketinggian 700 hPa ; (j) tanggal 27 November 2017 01:30 UTC ketinggian 400 hPa; (k) tanggal 28 November 2017 11:00 UTC ketinggian 500 hPa; (l) tanggal 28 November 2017 11:00 UTC ketinggian 600 hPa; (m) tanggal 28 November 2017 11:00 UTC ketinggian 700 hPa; (n) tanggal 30 November 2017 02:00 UTC ketinggian 500 hPa

Pada tanggal 23 Desember 2017 04:40 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 500 hPa yang dapat dilihat pada **Gambar 3.3(a)** bahwa pola angin streamline berasal dari

arah Jawa Timur ke Timur Laut wilayah Bali melewati Selat Bali dengan kecepatan 85 knot. Pada ketinggian 700 hPa berdasarkan **Gambar 3.3(b)** terlihat bahwa pola angin streamline berasal dari Selatan Jawa Timur ke Timur Laut wilayah Bali melewati Selat Bali dengan kecepatan 70 knot. Pada tanggal 27 Desember 2017 22:30 UTC, pola angin streamline pada ketinggian 400 hPa yang dapat dilihat pada **Gambar 3.3(c)** bahwa adanya belokan angin yang berasal dari arah Utara Bali ke Selatan Lombok melewati Selat Lombok dengan kecepatan 40 knot.



**Gambar 3.3** Hasil Pengolahan Data Streamline pada tanggal (a) tanggal 23 Desember 2017 04:40 UTC ketinggian 500 hPa; (b) tanggal 23 Desember 2017 04:40 UTC ketinggian 700 hPa; (c) tanggal 27 Desember 2017 22:30 UTC ketinggian 400 hPa

Berdasarkan hasil dari pengolahan citra satelit Himawari-8, trajektori dan dispersi hysplit serta angin streamline, pada tanggal 7 Oktober 2017 pukul 14:00 UTC, debu vulkanik bergerak ke arah Selatan gunung Agung dengan nilai konsentrasi rata-rata partikel letusan pada saat pukul 14:00 sampai 15:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-14}$  mass/m<sup>3</sup> dengan kecepatan angin mencapai 80 knot pada ketinggian 500 hPa. Pasca terjadinya erupsi, gunung Agung mendapatkan peringatan letusan Gunung api Indonesia yang berpotensi membahayakan keselamatan penerbangan. Volcano Observatory Notice for Aviation (VONA) pada pukul 22:30 WITA telah mengirim kode warna orange dengan ketinggian abu mencapai 4.642 mdpl atau 1.500 meter di atas puncak (ESDM, 2017). Kepala Pusat Data Informasi dan Humas Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menyampaikan bahwa potensi letusan gunung Agung mulai memasuki fase krisis sejak periode bulan September, dimana status yang terjadi pada gunung Agung terus mengalami peningkatan dari normal hingga awas dan kembali turun menjadi siaga pada 29 Oktober 2017. (Muhajir. 2017).

Pada tanggal 21 November 2017 pukul 17:05 WITA, letusan gunung Agung masih terus berlangsung dengan status Siaga (Martanto, 2022). Pada tanggal 21 November 2017 pukul 13:30 UTC, debu vulkanik bergerak ke arah Selatan gunung Agung dengan nilai konsentrasi rata-rata partikel letusan pada saat pukul 13:00 sampai 14:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-13}$  mass/m<sup>3</sup> dengan kecepatan angin mencapai 90 knot pada ketinggian 400 hPa. Pada tanggal 25 November 2017 pukul 09:30 UTC, gunung Agung mengalami erupsi kembali dan diiringi dengan peringatan dari *Volcano Observatory Notice for Aviation* (VONA) yang telah mengirim kode warna orange. Dalam hal ini, masyarakat di sekitar gunung Agung dihimbau agar tidak berada dan tidak melakukan aktivitas apapun di Zona Perkiraan Bahaya yaitu di dalam area kawah gunung Agung dan di seluruh area di dalam

radius 6 km dari kawah puncak gunung Agung dan ditambah perluasan zona sektoral ke arah Utara – Timur Laut dan Tenggara – Selatan sampai Barat Daya sejauh 7.5 km (ESDM, 2017). Pada saat pukul 11:40 UTC, arah sebaran debu vulkanik mengarah ke arah Barat Daya gunung Agung dengan nilai konsentrasi rata-rata partikel letusan pada saat pukul 13:00 sampai 14:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-13}$  mass/m<sup>3</sup> dengan kecepatan angin mencapai 20 knot pada ketinggian 850 hPa. Sampai pukul 22:20 UTC gunung Agung terus mengalami erupsi dan mengarah ke arah Timur - Tenggara ke arah Lombok. Sifat dan arah sebaran debu vulkanik ini sangat tergantung dari arah tiupan angin (Putra, 2017).

Aktivitas gunung Agung kembali meningkat dalam sepekan terakhir, mengakibatkan Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai ditutup, dan memaksa 455 penerbangan dari dan menuju Bali dibatalkan (Muhajir. 2017). Pada tanggal 26 November 2017 pukul 05:10 UTC, arah lintasan dan sebaran debu vulkanik pada hasil pengolahan trajektori hysplit dan citra satelit himawari-8 ke arah Selatan gunung Agung dengan nilai konsentrasi rata-rata partikel letusan pada saat pukul 05:00 sampai 06:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-12}$  mass/m<sup>3</sup> dengan kecepatan angin mencapai 50 knot pada ketinggian 600 hPa. Pada tanggal 27 November 2017 pukul 06.00 WITA, status gunung Agung dinaikkan dari level III (siaga) ke level IV (awas) (Dewi. 2017). Kepala Humas Bandar Udara Ngurah Rai Angkasa Pura I menyampaikan bahwa pada tanggal 27 November 2017 Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai resmi ditutup pasca erupsi gunung Agung yang belum juga berhenti pada pukul 07.00 WITA sampai 24 jam ke depan . Penutupan ini dilakukan melalui Notice to Airmen (Notam) yang dikeluarkan pada tanggal 27 November 2017 pukul 07.15 WITA karena abu vulkanik diketahui telah menutup wilayah udara Bandar Udara Ngurah Rai (Kartini, 2017). Saat pukul 01:30 UTC, arah lintasan dan sebaran debu vulkanik pada hasil pengolahan trajektori hysplit dan citra satelit himawari-8 mengarah ke arah Barat Daya gunung Agung dengan nilai konsentrasi rata-rata partikel letusan pada saat pukul 01:00 sampai 02:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-12}$  mass/m<sup>3</sup> dengan kecepatan angin mencapai 50 knot pada ketinggian 400 hPa. Sejak 28 November 2017 pukul 07.15 UTC VONA (Vulcano Observatory Notice to Aviation) menetapkan status RED (Putra, 2017). Dari laporan rekaman pilot, pada ketinggian 2.000 sampai 4.000 feet, masih ditemui adanya abu vulkanik di ruang udara dengan arah angin ke Barat daya. Dengan pertimbangan ruang udara, Bandar Udara masih tertutup oleh sebaran debu vulksnik ke arah Barat daya atau mengarah ke Bandar Udara Ngurah Rai sesuai dengan plotting ASHTAM (Ash Notam) (Putra, 2017). Pada saat pukul 11:00 UTC arah lintasan dan sebaran debu vulkanik pada hasil pengolahan trajektori hysplit dan citra satelit himawari-8 mengarah ke arah Barat Daya gunung Agung dengan nilai konsentrasi rata-rata partikel letusan pada saat pukul 11:00 sampai 12:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-13}$  mass/m<sup>3</sup> dengan kecepatan angin mencapai 40 knot pada ketinggian 500 hPa.

Penutupan operasi penerbangan masih diperpanjang sampai tanggal 29 November 2017 pukul 07.00 WITA oleh Otoritas Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai di Bali karena ruang udara di wilayah Bandar Udara masih tertutup abu vulkanik gunung Agung (Saputri. 2017). Keputusan diambil berdasarkan NOTAM A4274/17. Keputusan tersebut berdasarkan hasil Rapat Koordinasi Erupsi gunung Agung yang dilaksanakan oleh Komunitas Bandar Udara pada tanggal 28 November 2017 pukul 00.00 WITA (Tabelak,

2017). Sebelum keputusan diambil, pada tanggal 27 November 2017 pukul 23.10 WITA, *meteorological watch office* telah menerbitkan berita *meteorologi significant* untuk penerbangan berdasarkan pengamatan dari Volcanic Ash Advisory Darwin. Berita tersebut menyatakan semburan abu vulkanik dari gunung Agung telah mencapai pada ketinggian 30.000 feet. Di mana, debu vulkanik bergerak ke arah Selatan-Barat Daya dengan kecepatan 5-10 knot dan masih mengarah ke Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai Bali (Hikmah, 2017). Menurut Kepala Bidang Hubungan Masyarakat Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai, meski hingga pukul 00.00 WITA, pengujian abu gunung telah dilakukan dan hasilnya nihil di Bandar Udara, namun ruang udara Bandar Udara masih tertutup oleh sebaran abu gunung api tersebut. (Saputri, 2017). Pasca dinaikkan kembali status aktivitasnya menjadi Level IV (Awat) pada tanggal 27 November 2017 pukul 06:00 WITA lalu, pada tanggal 30 November 2017 aktivitas vulkanik gunung Agung masih tetap tinggi (ESDM, 2017). Kepala Pusat Data Informasi dan Humas Badan Penanggulangan Bencana (BNPB) menyampaikan bahwa Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali masih ditutup hingga 30 November 2017 pukul 07.00 WITA abu vulkanik di ketinggian 25.000 feet bergerak ke Selatan-Barat Daya mengikuti tarikan siklon Cempaka yang berada di selatan atau Samudera Hindia (Hadi, 2017). Pada saat pukul 02:00 UTC, sebaran debu vulkanik mengarah ke arah Timur Bali dengan nilai konsentrasi rata-rata partikel letusan pada saat pukul 02:00 sampai 03:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-12}$  mass/m<sup>3</sup> dengan kecepatan angin mencapai 20 knot pada ketinggian 500 hPa.

Hingga pada tanggal 1 Desember 2017, aktivitas vulkanik gunung Agung masih tinggi dan masih berada dalam fase erupsi serta masih berada pada Level IV (Awat) (Kasbani, 2017). Pada tanggal 23 Desember 2017 gunung Agung kembali meletus dan angin cenderung bertiup lemah ke arah Timur Laut. Karena itu PVMBG menghimbau masyarakat, pendaki dan wisatawan agar tidak beraktivitas atau berada di zona perkiraan bahaya di seluruh radius 8 kilometer dan perluasan sektoral ke arah Utara-Timur Laut dan Tenggara – Selatan – Barat Daya sejauh 10 kilometer dari kawah gunung Agung (Galih, 2017). Pada saat pukul 04:40 UTC, sebaran debu vulkanik mengarah ke arah Timur Laut wilayah Bali dengan nilai konsentrasi rata-rata partikel letusan pada saat pukul 04:00 sampai 05:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-13}$  mass/m<sup>3</sup> dengan kecepatan angin mencapai 85 knot pada ketinggian 500 hPa. Erupsi 28 Desember 2017 pada saat pukul 05.00 WITA menyebabkan hujan abu di wilayah kota Amplapura, Karangasem. Secara visual terlihat kolom abu tebal bertekanan sedang berwarna kelabu setinggi 1.000 meter yang condong ke arah Timur (Kertasari, 2017). Pada tanggal 27 Desember 2017 pukul 22:30 UTC, arah lintasan dan sebaran debu vulkanik mengarah ke arah Tenggara Bali dengan nilai konsentrasi rata-rata partikel letusan pada saat pukul 22:00 sampai 23:00 UTC mencapai lebih dari  $1,0^{-14}$  mass/m<sup>3</sup> dengan kecepatan angin mencapai 40 knot pada ketinggian 400 hPa.

## **PENUTUP**

### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode hysplit model dispersi dihasilkan nilai konsentrasi partikel pada gunung Agung. Selama masa erupsi gunung Agung pada periode bulan Oktober sampai Desember 2017, nilai

konsentrasi partikel minimum paling rendah terjadi pada tanggal 7 Oktober 2017 pukul 14:00 sampai 15:00 UTC mencapai  $3,8^{-21}$  mass/m<sup>3</sup> dan nilai konsentrasi partikel minimum paling tinggi mencapai  $2,2^{-16}$  mass/m<sup>3</sup> pada tanggal 26 November 2017 pukul 05:00 sampai 06:00 UTC. sedangkan nilai konsentrasi partikel maksimum paling rendah terjadi pada tanggal 25 November 2017 pukul 21:00 sampai 22:00 UTC mencapai  $6,6^{-14}$  mass/m<sup>3</sup> dan nilai konsentrasi partikel maksimum paling tinggi mencapai  $1,0^{-11}$  mass/m<sup>3</sup> pada tanggal 27 November 2017 pukul 01:00 sampai 02:00 UTC. Dengan menggunakan metode RGB Citra Satelit Himawari-8 dan trajektori model hysplit dihasilkan lintasan sebaran debu vulkanik Gunung Agung. Selain itu, pada dispersi model hysplit dihasilkan pergerakan serta nilai konsentrasi partikel pada debu vulkanik Gunung Agung. Pergerakan konsentrasi partikel pada debu vulkanik diperkuat dengan analisis streamline. Lintasan debu vulkanik yang mengarah ke wilayah Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai akibat pengaruh dari pola angin dan mengikuti tarikan siklon yang bergerak ke arah Selatan hingga Barat Daya Bali, sehingga pada tanggal 27 hingga 30 November 2017 Bandara resmi ditutup dan memaksa 455 penerbangan dari dan menuju Bali dibatalkan. Penutupan dilakukan karena debu vulkanik diketahui telah menutup wilayah udara Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai.

### Saran

Perlu dilakukan penelitian tambahan mengenai pengaruh kecepatan angin dan nilai konsentrasi partikel terhadap sebaran debu vulkanik untuk mengetahui berapa lama pengaruh debu vulkanik terhadap penerbangan yang dapat mengakibatkan kecelakaan pesawat dan penutupan bandara secara paksa.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agus W P. 2011. *Analisa Cuaca I*. Akademi Meteorologi dan Geofisika (AMG) Jakarta.
- Dewi Citra. 2017. Bandara Ngurah Rai Tutup Akibat Erupsi Gunung Agung Disorot Dunia. (<https://www.liputan6.com/global/read/3176629/bandara-ngurah-rai-tutup-akibat-erupsi-gunung-agung-disorot-dunia>, diakses 27 Agustus 2022)
- ESDM, RI. 2017. Perkembangan Gunung Agung, Selasa 10 Oktober 2017 Pukul 06.00 WITA. (<https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/perkembangan-gunung-agung-selasa-10-oktober-2017-pukul-0600-wita>, diakses 27 Agustus 2022)
- Fadhilah Hanny Nur. 2022. Benarkah Debu Berasal dari Sel Kulit Manusia? Simak Faktanya!. (<https://nationalgeographic.grid.id/read/133520858/benarkah-debu-berasal-dari-sel-kulit-manusia-simak-faktanya>, diakses 27 Agustus 2022)
- Galih Bayu. 2017. Gunung Agung Kembali Meletus, Semburkan Asap Setinggi 2.500 Meter. (<https://regional.kompas.com/read/2017/12/23/12052721/gunung-agung-kembali-meletus-semburkan-asap-setinggi-2500-meter>, diakses 6 September 2022)
- Geost Flysh. 2019. Apa itu Angin Muson Barat? Pengertian, Penyebab dan Proses Terjadinya. (<https://www.geologinesia.com/2019/03/angin-muson-barat.html>, diakses 8 Agustus 2021)
- Gianto, Sarwoko Mas, Kurniawan Ekki. 2015. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PENGENDAP DEBU DENGAN TEGANGAN TINGGI SECARA ELEKTROSTATIK. *e-Proceeding of Engineering*. Vol 2 (2): 2092

- Hadi Muhammad Saiful. 2017. Bandara I Gusti Ngurah Rai Kembali Tutup Sampai Besok. (<https://bali.inews.id/berita/bandara-i-gusti-ngurah-rai-kembali-tutup-sampai-besok>, diakses 27 Agustus 2022)
- Hikmah Nurul. 2017. Imbas Gunung Agung, Penutupan Bandara Ngurah Rai Diperpanjang hingga Besok. (<https://news.okezone.com/imbasm-gunung-agung-penutupan-bandara-ngurah-rai-diperpanjang-hingga-besok>, diakses 27 Agustus 2022)
- Kartini Dupla. 2017. Ngurah Rai ditutup, 7 penerbangan dialihkan. (<https://industri.kontan.co.id/news/ngurah-rai-ditutup-7-penerbangan-dialihkan>, diakses 27 Agustus 2022)
- Kasbani. 2022. Perkembangan Terkini Aktivitas Gunung Agung (1 Desember 2017 21:00 WITA). (<https://magma.vsi.esdm.go.id/press/view.php?id=116>, diakses 27 Agustus 2022)
- Kertasari Kis. 2017. Kembali Erupsi Gunung Agung Muntahkan Abu Vulkanik Setinggi 1.000 Meter. (<https://daerah.sindonews.com/berita/1269716/174/kembali-erupsi-gunung-agung-muntahkan-abu-vulkanik-setinggi-1000-meter>, diakses 23 Agustus 2022)
- Lararenjana Edelweis. 2020. 8 Macam-Macam Angin serta Pengertian dan Prosesnya yang Perlu Diketahui. (<https://www.merdeka.com/jatim/8-macam-macam-angin-serta-pengertian-dan-prosesnya-yang-perlu-diketahui-klm.html>, diakses 1 Agustus 2021)
- Lararenjana Edelweis. 2021. Sejarah 16 Maret: Meletusnya Gunung Agung 58 Tahun Silam yang Membunuh Ribuan Jiwa. (<https://www.merdeka.com/jatim/sejarah-16-maret-meletusnya-gunung-agung-58-tahun-silam-yang-membunuh-ribuan-jiwa-klm.html>, diakses 1 Agustus 2021)
- Martanto. 2022. Letusan Gunung Agung 21 November 2017 pukul 17:05 WITA. (<https://magma.vsi.esdm.go.id/press/view.php?id=111>, diakses 12 Maret 2022)
- Muhajir Anton. 2017. Gunung Agung Erupsi, Bandara Ngurah Rai Ditutup. (<https://www.benarnews.org/indonesian/berita/gunung-agung-bandara-ditutup-11272017143313.html>, diakses 27 Agustus 2022)
- Oliver, J.E., 2012, *Streamlines*, Climatology. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Boston, MA
- Putra Himas Puspito. 2017. Gunung Agung Terus Erupsi, Abu Mengarah ke Timur dan Tenggara. (<https://bali.inews.id/berita/gunung-agung-terus-erupsi-abu-mengarah-ke-timur-dan-tenggara>, diakses 27 Agustus 2022)
- Rianjani Olivia. 2021. Apa Itu Angin Muson, Jenis dan Proses Terjadinya. (<https://tirto.id/apa-itu-angin-muson-jenis-dan-proses-terjadinya-giTL>, diakses 8 Agustus 2021)
- Saputra A.D, Priyanto S, Muthohar I, Bhinnety M. 2015. Pengaruh Kondisi Cuaca Penerbangan (Aviation Weather) Terhadap Beban Kerja Mental Ditinjau Dari Perbedaan Usia Pilot. *Jurnal Transportasi* Vol. 15 (3): 160
- Saputri Maya. 2017. Terdampak Abu Gunung Agung, Bandara Ngurah Rai Masih Ditutup. (<https://tirto.id/terdampak-abu-gunung-agung-bandara-ngurah-rai-masih-ditutup-cAMF>, diakses 27 Agustus 2022)

- Sugianto P.A, Saragih I.J.A, Rosyady M.P, Kristianto A. 2018. “Deteksi Sebaran Debu Vulkanik Menggunakan Citra Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Gunung Raung, Gunung Rinjani, Dan Gunung Bromo)”. Program Sarjana Terapan Meteorologi. Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Tangerang Selatan
- Tabelak Donny. 2017. Ini Dasar Pertimbangan Bandara Ngurah Rai Kembali Ditutup Total. (<https://radarbali-jawapos.com/bali/denpasar-badung/28/11/2017/ini-dasar-pertimbangan-bandara-ngurah-rai-kembali-ditutup-total/>, diakses 27 Agustus 2022)