

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api paling aktif di Indonesia yang terletak di perbatasan Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Gunung ini memiliki sejarah panjang aktivitas vulkanik dengan erupsi yang terjadi dalam berbagai skala, baik kecil maupun besar. Salah satu letusan paling signifikan terjadi pada tahun 2010, yang menyebabkan peningkatan aktivitas vulkanik secara drastis dan menghasilkan kolom abu yang mencapai ketinggian sekitar 17 km di atmosfer (Surono et al., 2012). Erupsi ini menimbulkan dampak luas, tidak hanya di sekitar kawasan Gunung Merapi, tetapi juga di daerah yang lebih jauh akibat penyebaran abu vulkanik yang terbawa oleh angin. Dampaknya mencakup berbagai sektor, termasuk kerusakan lingkungan, gangguan kesehatan masyarakat akibat paparan abu, serta gangguan terhadap transportasi udara yang berisiko bagi keselamatan penerbangan (Horwell & Baxter, 2006).

Sebaran abu vulkanik dari letusan gunung berapi dapat memiliki konsekuensi serius, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, terutama bagi ekosistem, infrastruktur, dan kesehatan penduduk yang terdampak. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai pola penyebaran abu vulkanik menjadi aspek krusial dalam mitigasi risiko bencana. Informasi ini sangat penting bagi berbagai pihak, termasuk pemerintah, lembaga penanggulangan bencana, dan masyarakat, dalam mengambil langkah-langkah preventif serta responsif yang tepat. Untuk itu, diperlukan metode yang mampu memprediksi pola penyebaran abu vulkanik secara akurat, efektif, dan efisien guna mendukung perencanaan mitigasi bencana yang lebih baik.

Penelitian mengenai penyebaran abu vulkanik telah banyak dilakukan. Namun, tantangan dalam memperkirakan pola sebaran secara akurat masih menjadi permasalahan yang kompleks. Faktor utama yang mempengaruhi ketidakpastian ini adalah kondisi atmosfer yang dinamis serta topografi di sekitar Gunung Merapi

yang bervariasi dan dapat memengaruhi pergerakan abu vulkanik setelah erupsi (Kristiansen et al., 2012). Berbagai model numerik telah dikembangkan untuk memprediksi penyebaran abu, mulai dari model sederhana hingga model kompleks berbasis data meteorologi dan vulkanologi. Namun, model yang lebih kompleks sering kali membutuhkan kapasitas komputasi yang tinggi serta akses terhadap data yang detail dan akurat, yang tidak selalu tersedia, terutama dalam situasi darurat atau wilayah dengan keterbatasan infrastruktur (Webley et al., 2012). Selain itu, ketidakpastian dalam parameter meteorologi seperti pola angin, kelembaban udara, dan tekanan atmosfer, serta keterbatasan data vulkanologi seperti volume dan kecepatan pelepasan abu, dapat menyebabkan deviasi dalam hasil prediksi sebaran abu vulkanik (Stohl et al., 2011). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih praktis dan efisien, yang tidak hanya mampu memberikan gambaran awal yang cukup representatif mengenai pola penyebaran abu vulkanik, tetapi juga dapat diterapkan dalam berbagai kondisi, termasuk dalam situasi darurat untuk mendukung upaya mitigasi bencana secara cepat dan tepat.

Pemodelan penyebaran abu vulkanik berbasis persamaan Gaussian Plume telah banyak digunakan sebagai pendekatan yang efektif dalam memperkirakan distribusi polutan di atmosfer, termasuk abu vulkanik yang dilepaskan selama erupsi (Seinfeld, 2016). Model ini bekerja berdasarkan prinsip adveksi-difusi, yang menggambarkan pergerakan partikel abu di dalam medium udara dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti kecepatan angin, laju emisi abu dari sumber letusan, serta koefisien dispersi baik dalam arah horizontal maupun vertikal yang dipengaruhi oleh turbulensi atmosfer (Arya, 1999). Dalam perkembangannya, model Gaussian Plume tiga dimensi (3D) memungkinkan estimasi pola penyebaran abu dalam ruang tiga dimensi, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai konsentrasi abu di berbagai lapisan atmosfer. Keunggulan utama dari model ini adalah kemampuannya dalam menghasilkan prediksi dalam waktu yang relatif singkat dibandingkan dengan model numerik berbasis persamaan diferensial yang lebih kompleks. Selain itu, implementasi model ini relatif sederhana dan dapat diterapkan menggunakan berbagai perangkat lunak komputasi seperti MATLAB, Python, atau perangkat lunak simulasi berbasis pemrograman

lainnya, sehingga lebih mudah diadaptasi dalam berbagai skenario kondisi atmosfer dan kebutuhan analisis mitigasi bencana.

Model Gaussian Plume didasarkan pada persamaan matematis yang menggambarkan distribusi konsentrasi polutan di atmosfer dalam bentuk distribusi normal atau kurva lonceng, dengan konsentrasi tertinggi terdapat di sekitar pusat sumber emisi dan menurun seiring dengan meningkatnya jarak dari sumber tersebut (Holmes & Morawska, 2006). Dalam konteks penyebaran abu vulkanik, model ini memperhitungkan berbagai variabel utama, seperti laju emisi abu, kecepatan angin, serta stabilitas udara, yang memengaruhi pola adveksi dan difusi partikel abu di atmosfer. Dengan adanya model ini, pola penyebaran abu vulkanik dapat diprediksi dengan tingkat akurasi yang cukup baik untuk mendukung upaya mitigasi bencana dan analisis risiko lingkungan. Informasi hasil pemodelan ini dapat digunakan untuk menyusun peta risiko, yang menunjukkan area terdampak dengan tingkat paparan abu yang berbeda-beda.

Penelitian mengenai pemodelan penyebaran abu vulkanik menggunakan metode Gaussian Plume 3D memiliki peran penting dalam mendukung pengembangan strategi mitigasi bencana di Indonesia, khususnya dalam menghadapi dampak erupsi gunung berapi (Prata & Tupper, 2009). Model ini menawarkan pendekatan yang sederhana namun aplikatif, yang dapat digunakan oleh berbagai instansi terkait, seperti Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) dan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), dalam merancang langkah-langkah perencanaan evakuasi, perlindungan masyarakat, serta pengelolaan dampak abu vulkanik.

Pemodelan Gaussian Plume sederhana sering kali terbatas dalam menggambarkan penyebaran abu dalam tiga dimensi dan memerlukan data meteorologi yang sangat akurat. Untuk itu, model HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*), digunakan sebagai pelengkap pemodelan, yang berkontribusi dalam identifikasi sumber, perbaikan bias, dan validasi prakiraan, yang pada akhirnya meningkatkan ketepatan prediksi penyebaran abu vulkanik (A. Crawford et al., 2022). Citra satelit yang disediakan NOAA dapat digunakan untuk memverifikasi hasil simulasi dari HYSPLIT.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa pemodelan dengan Gaussian Plume dan validasi menggunakan data satelit merupakan kombinasi yang efektif dalam menganalisis sebaran abu vulkanik (Stohl et al., 2011). Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menggunakan model Gaussian Plume 3D dan HYSPLIT untuk memperkirakan sebaran abu vulkanik Gunung Merapi 2010, dan memvalidasi hasilnya dengan data satelit MODIS Tera melalui NOAA untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat mengenai dampak penyebaran abu.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yakni sebagai berikut:

1. Membangun dan menerapkan model dispersi abu vulkanik menggunakan Model Gaussian Plume 3D dan Model HYSPLIT NOAA untuk mensimulasikan pola sebaran abu dari erupsi Gunung Merapi tahun 2010.
2. Menganalisis pengaruh interaksi antara faktor-faktor meteorologi dan karakteristik erupsi terhadap pola sebaran dan konsentrasi abu vulkanik yang dihasilkan oleh model.
3. Melakukan validasi kualitatif terhadap hasil pemodelan dispersi abu vulkanik dari kedua model (Gaussian Plume 3D dan HYSPLIT NOAA) dengan membandingkannya terhadap observasi citra satelit MODIS Terra.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat baik secara teoritis maupun praktis:

1.3.1 Manfaat Teoritis

Secara teoritis, setidaknya penelitian ini memberikan 3 manfaat utama, yaitu:

- a. Memberikan kontribusi pada pemahaman aplikasi model dispersi atmosfer (Gaussian Plume 3D dan HYSPLIT NOAA) dalam konteks erupsi gunung api.

- b. Menambah pengetahuan mengenai karakteristik sebaran abu vulkanik Merapi 2010, termasuk pengaruh parameter erupsi dan meteorologi.
- c. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dalam pemodelan dispersi polutan atmosfer.

1.3.2 Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini bermanfaat untuk:

- a. Menyediakan informasi sebaran abu untuk penyusunan peta bahaya dan rencana mitigasi bencana erupsi gunung api.
- b. Mendukung pemerintah dan lembaga terkait (PVMBG, BMKG, BNPB) dalam pengambilan keputusan terkait peringatan dini dan manajemen risiko bencana.
- c. Membantu masyarakat sekitar gunung api memahami pola sebaran abu dan mempersiapkan diri menghadapi dampak erupsi.