

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Wilayah Indonesia memiliki jalur gunung api yang membentang dari Sumatera – Jawa – Bali – Nusa Tenggara – Sulawesi – Banda – Maluku – Papua sebagai bagian dari cincin api atau ring of fire (Bronto dkk. 2006). Jalur yang dikenal dengan ring of fire yang ada di wilayah Indonesia tersebut merupakan deretan gunung api yang 129 diantaranya masih aktif. Gunung api merupakan proses alam yang berhubungan dengan kegiatan kemunculan magma ke permukaan bumi, meliputi asal-usul pembentukan magma di dalam bumi hingga kemunculannya di permukaan bumi dalam berbagai bentuk dan kegiatannya (Bronto. 2010).

Gunung api di Indonesia terbentuk di area pertemuan tiga lempeng utama dunia yaitu Eurasia, Hindia-Australia, dan Pasifik. Hal tersebut menyebabkan adanya rangkaian aktivitas vulkanik akibat dari meningkatnya aktivitas kegempaan pada zona subduksi yang membentang dari sebelah barat Sumatera, selatan Jawa, Bali, Kepulauan Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku, hingga Papua (Sudibyakto. 2011). Aktivitas-aktivitas vulkanik dari gunungapi tersebut banyak dijumpai di Pulau Jawa. Gejala vulkanisme di Pulau Jawa ditandai dengan banyaknya gunungapi bertipe-A dengan jumlah 23 gunungapi yang berdasarkan sejarahnya pernah terjadi 470 kali erupsi atau 47% dari seluruh erupsi total yang pernah terjadi di Indonesia (Verstappen. 2013). Salah satu gunungapi yang paling aktif hingga kini adalah Gunungapi Semeru.

Gunungapi Semeru terletak di wilayah Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Pasuruan Provinsi Jawa Timur. Gunungapi Semeru memiliki ketinggian 3.676 Mdpl (Meter dari permukaan laut) yang merupakan gunung tertinggi di Pulau Jawa dengan puncaknya yang bernama Mahameru. Gunungapi Semeru memiliki karakteristik letusan yang bertipe vulkanian dan strombolian. Letusan tipe vulkanian dicirikan dengan letusan eksplosif yang dapat menghancurkan kubah

lava dan lidah lava yang telah terbentuk sebelumnya. Sedangkan letusan bertipe strombolian biasanya diikuti oleh pembentukan kubah lava dan lidah lava baru.

Gunungapi Semeru tercatat memiliki intensitas letusan tertinggi antara 2 hingga 3 VEI (Volcanic Eruption Index). Pada letusan skala 2 VEI menghasilkan material hasil erupsi sebanyak 1-5 kilometer kubik dan Skala 3 menghasilkan 3-15 kilometer kubik. Pada skala 2 tingkat, VEI memberikan deskripsi erupsi sebagai bersifat eksplosif, dan pada skala 3 masuk deskripsi bencana (*Global Vulkanisme Program*. Smithsonian Institution). Pada saat terjadi letusan eksplosif biasanya diikuti oleh terjadinya aliran awan panas yang mengalir ke lembah-lembah yang lebih rendah. Arah aliran awan panas tersebut sesuai dengan bukaan atau rekahan kawah Gunungapi Semeru yang saat ini mengarah ke arah Tenggara atau mengarah ke hulu Besuk Kembar, Besuk Kobokan, Besuk Bang, Kali Lanang, dan Besuk Sat. Biasanya aliran awan panas di Gunungapi Semeru umumnya berupa aliran awan panas guguran yang terjadi dari ujung aliran lava. Gambar 1.1 berikut merupakan jalur awan panas Gunungapi Semeru yang berada di Kecamatan Candipuro



Gambar 1. 1. Jalur Awan Panas Gunungapi Semeru Sektor Tenggara
Sumber: Pos Pengamatan Gunung Api Semeru Resort Gunung Sawur. 2022

Gunungapi Semeru diketahui meletus dalam catatan sejarah dimulai tahun 1818, dengan masa istirahat terpanjang selama 11 tahun. Aktivitas erupsi Gunungapi Semeru berupa pertumbuhan kubah lava, letusan abu yang disertai dengan aliran lava, guguran material pijar, serta terjadinya awan panas guguran dari ujung aliran lava. Sejak 1946 hingga saat ini, aktivitas letusannya tidak pernah berhenti. Letusan terjadi setiap interval antara 15 menit hingga 1 jam. Beberapa

kejadian awan panas guguran yang pernah terjadi mencapai jarak luncur hingga 17 kilometer yang mengarah ke Besuk Kobokan, Besuk Kembar, dan Besuk Bang. Tabel 1.1 berikut adalah catatan letusan besar Gunungapi Semeru yang terjadi hingga saat ini.

Tabel 1. Sejarah Erupsi Gunung Api Semeru

Tahun	Akvitas Erupsi	Jarak Luncur	Arah Letusan
1963	Awan Panas Guguran	8 km	Besuk Kembar, Besuk Sat, Besuk Bang, Besuk Kobokan
1977	Awan Panas Guguran	10 km	Besuk Kobokan, Besuk Kembar
1981	Awan Panas Guguran	10 km	Besuk Kobokan, Besuk Bang, Besuk Kembar
1994	Awan Panas Guguran	12 km	Besuk Kobokan, Besuk Kembar
2002	Awan Panas Guguran	11 km	Besuk Kobokan, Besuk Kembar, Besuk Bang,
2010	Awan Panas Guguran	8 km	Besuk Kobokan, Besuk Kembar, Besuk Bang
2012	Awan Panas Guguran	8 km	Besuk Kobokan, Besuk Kembar. Besuk Bang
2020	Awan Panas Guguran	12 km	Besuk Kobokan, Besuk Semut
2021	Awan Panas Guguran	15 km	Besuk Kobokan, Besuk Kembar, Kali Lanang, Besuk Bang, Besuk Sat
2022	Awan Panas Guguran	7 km	Besuk Kobokan, Kali Lanang
2022	Awan Panas Guguran	12 km	Besuk Kobokan, Kali Lanang

Sumber: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, KESDM. 2022



Gambar 1.2 & 1.3. Erupsi Gunung Semeru 4 Desember 2021 & 4 Desember 2022
Sumber: Pos Pengamatan Gunung Api Semeru Resort Gunung Sawur. 2022

Gambar 1.2 dan 1.3 di atas menunjukkan bahaya erupsi Gunungapi Semeru yang terjadi pada tahun 2021 dan tahun 2022. Erupsi Gunungapi Semeru yang terjadi pada hari Sabtu, 4 Desember 2021 pukul 14.20 WIB menyebabkan banyak terjadinya korban jiwa dan ribuan orang mengungsi. Setidaknya 51 orang tewas, 169 orang terluka, dan 22 orang hilang. Sementara itu 45 orang mengalami luka bakar karena letusan tersebut. Erupsi tersebut juga telah menimbulkan dampak yang serius pada lahan dan pemukiman di wilayah sekitar Gunungapi Semeru. Tercatat sebanyak 1.027 rumah warga rusak dan sebanyak 49 bangunan fasilitas umum masyarakat rusak berat.

Setahun kemudian Gunungapi Semeru kembali erupsi pada tanggal 4 Desember 2022 pukul 11.39 WIB. Awan panas erupsi tersebut mengarah ke Curah Kobokan dan Hulu Kali Lanang dengan jarak luncur hingga 17 kilometer. Erupsi Gunungapi Semeru saat ini mengikuti arah rekahan kawah yang mengarah ke sektor Tenggara. Sektor Tenggara tersebut terdapat beberapa kecamatan yang berpotensi terdampak erupsi seperti Kecamatan Candipuro, Kecamatan Candipuro, Kecamatan Pasirian, dan Kecamatan Pasru Jambe.

Kecamatan Candipuro berada di sebelah Tenggara Gunungapi Semeru yang merupakan kawasan rawan bencana erupsi Gunungapi Semeru. Pada 20 tahun terakhir, arah erupsi Gunung Semeru selalu ke arah Tenggara, sehingga Kecamatan Candipuro merupakan kecamatan yang terkena dampak paling parah. Berdasarkan peristiwa tersebut maka, diperlukan adanya kajian yang berkaitan tentang kebencanaan khususnya bencana erupsi gunung api untuk meminimalisir kerugian yang disebabkan oleh bencana tersebut.

Kajian kebencanaan dapat berupa kajian risiko bencana. Risiko bencana merupakan suatu potensi kerugian yang disebabkan oleh bencana pada suatu wilayah yang dapat merusak hingga memusnahkan peradaban di wilayah tersebut. Dalam mengkaji risiko bencana maka diperlukan beberapa parameter seperti parameter bahaya dan parameter kerentanan. Parameter bahaya digunakan untuk mengkaji dan menganalisis bahaya bencana di suatu wilayah. Parameter kerentanan dipengaruhi oleh hasil dari kondisi dan proses yang dipengaruhi dari bahaya yang berasal dari bencana. Dimensi kerentanan mencakup pada kerentanan sosial, kerentanan ekonomi, dan kerentanan lingkungan (Pine. 2009).

Berdasarkan peristiwa erupsi Gunungapi Semeru tersebut kemudian timbul pertanyaan mengenai risiko bencana berupa analisis tingkat risiko awan panas erupsi Gunungapi Semeru di Kecamatan Candipuro Kabupaten Lumajang yang merupakan daerah yang terkena dampak yang cukup parah. Dengan adanya analisis ini diharapkan masyarakat yang bertempat tinggal di area berisiko tinggi terkena bencana erupsi Gunungapi Semeru, dapat mewaspadaikan dan meningkatkan pengetahuan tentang mitigasi dan kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana erupsi Gunung Semeru khususnya awan panas yang selalu mengancam.

Dalam menganalisis sebaran risiko awan panas di Kecamatan Candipuro dalam kacamata geografi dapat dilakukan tanpa survei lapangan atau terestrial, namun dapat menggunakan alat berupa Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (PJ dan SIG). Penginderaan Jauh merupakan suatu proses pengamatan atau pengukuran objek menggunakan sebuah alat seperti satelit dan UAV. Sedangkan SIG merupakan sistem yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, memeriksa, mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan data yang berhubungan dengan kondisi di permukaan bumi. Pengukuran risiko bencana dengan PJ dan SIG dapat menggunakan beberapa citra satelit. Salah satunya yaitu menggunakan citra satelit Landsat 8 Oli/Tirs dan SAS Planet, karena citra satelit Landsat dan SAS Planet mempunyai waktu perekaman yang terbaru dan mudah didapatkan khususnya pada wilayah Gunungapi Semeru. Citra satelit tersebut digunakan untuk menginterpretasikan perbandingan citra

sebelum dan setelah erupsi di wilayah Gunung Semeru khususnya di Kecamatan Candipuro. SIG digunakan untuk pemetaan bahaya, kerentanan, dan risiko bencana untuk mengetahui sebaran risiko bencana khususnya bencana awan panas erupsi Gunungapi Semeru di Kecamatan Candipuro

1. 2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana tingkat bahaya awan panas erupsi Gunungapi Semeru di Kecamatan Candipuro?
2. Bagaimana tingkat kerentanan terhadap awan panas erupsi Gunungapi Semeru di Kecamatan Candipuro
3. Bagaimana tingkat risiko dan sebaran risiko awan panas Gunungapi Semeru di Kecamatan Candipuro?

1. 3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis tingkat bahaya awan panas erupsi Gunungapi Semeru di Kecamatan Candipuro
2. Menganalisis tingkat kerentanan awan panas erupsi Gunungapi Semeru di Kecamatan Candipuro
3. Menganalisis tingkat risiko dan sebaran risiko awan panas Gunungapi Semeru di Kecamatan Candipuro.

1. 4. Kegunaan Penelitian

1. Fakultas Geografi

Menambah pengetahuan bagi pembaca dan mengembangkan ilmu Geografi khususnya mahasiswa Fakultas Geografi untuk penelitian vulkanologi dan kebencanaan kegunung apian. Pengembangan tersebut bisa berupa Sistem Informasi Geografis yang dapat dipergunakan untuk menganalisis risiko erupsi serta cakupan wilayah yang berisiko terhadap bencana erupsi Gunung Semeru khususnya erupsi awan panas di Kecamatan Candipuro.

2. Masyarakat

Memberi informasi tingkat risiko dan sebaran risiko bencana erupsi Gunung Semeru agar masyarakat selalu waspada dan selalu berhati-hati terhadap aktivitas vulkanik Gunung Semeru yang selalu mengancam.

3. Lembaga/Organisasi Terkait

Dapat memberikan rekomendasi berkaitan dengan bencana kegunung-apian dan cakupan wilayah yang berisiko bencana erupsi Gunung Semeru menggunakan Sistem Informasi Geografis.

1. 5. Telaah Pustaka dan Penelitian Sebelumnya

1. 5. 1. Telaah Pustaka

a. Gunungapi

Gunungapi atau vulkano berasal dari bahasa Italia yaitu "*vulcan*", sebutan dari Dewa Api (penjaga tubuh gunung api) yang tinggal di puncak Gunung Vulcano, di Laut Mediterania, Sicilia-Italia (Tilling, 2000). Didasarkan pada arti suku katanya, vulkano berasal dari bahasa Belanda, yaitu "*vulkaan*"; dalam bahasa Inggris dari kata "*volcano*". Kedua kata tersebut diartikan sama yaitu gunung api. Menurut McDonald (1972), gunungapi adalah tempat atau bukaan tempat berasalnya atau keluarnya batuan pijar atau gas dan/ atau umumnya keduanya ke permukaan bumi, hingga lama-kelamaan terakumulasi dan membentuk bukit atau gunung. Sedangkan menurut Tilling (1999), gunungapi merupakan pegunungan, namun sangat berbeda dengan jenis pegunungan yang lain.

Gunungapi tidak terbentuk dari proses lipatan dan deformasi, ataupun oleh pengangkatan dan erosi. Gunung api membangun tubuhnya sendiri, yang tubuhnya terbentuk dari akumulasi material hasil aktivitasnya. Material tersebut dapat berupa lava, bom (aliran abu terkerakkan) dan tefra (material piroklastika). Dari kedua pendapat ilmuwan tersebut, dapat di definisikan bahwa gunung api merupakan proses magmatisme yang berlangsung secara alamiah, yang dicirikan oleh bergerakinya magma dari dalam bumi (reservoir magma) ke

permukaan bumi melalui suatu rekahan yang terbentuk secara tektonika.

Peristiwa tersebut dapat berlangsung secara berulang-ulang (poligenetik) maupun sekali saja (monogenetik). Dalam hal ini, gunung api tersebut harus memiliki pasokan magma, memiliki rekahan yang menghubungkan sumber magma tersebut dengan permukaan bumi, dan gerakan magma ke permukaan bumi. Untuk itu keberadaan gunung api selalu dikontrol oleh adanya tektonika aktif, seperti zona pemekaran lantai samudra dan zona magmatisme pada mekanisme tektonika lempeng. Prinsip dasar gunung api adalah adanya magma sebagai sumber material gunung api yang di erupsikan, rekahan yang menghubungkan magma dengan permukaan bumi (yang terbentuk secara tektonika) dan tektonika yang mengontrol pergerakan magma ke permukaan bumi.

Sifat-sifat dan kegiatan magma di dalam perut bumi disebut magmatisme. Terjadinya magmatisme dikontrol oleh tatanan tektonismenya. Tektonisme dan gaya gravitasi bumi membentuk proses pemisahan dan pengangkatan magma dalam reservoir magma atau dalam dapur magma, ke lapisan kerak bumi yang di atasnya. Tektonisme menjaga keseimbangan siklus pembentukan batuan dalam lapisan kerak bumi, yaitu pelelehan, pembekuan, metamorfisme, penghancuran, sedimentasi, erosi dan litifikasi.

Di permukaan bumi, aktivitas gunung api dapat berlangsung di darat, laut dangkal di mana COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) berpengaruh menghasilkan suatu koloni organisme ataupun dalam laut dalam. Pada lingkungan darat, aktivitas geologi yang berlangsung secara normal dipengaruhi oleh proses eksogenik dan antropogenik. Saat kegiatan gunung api berlangsung, proses eksogenik dan antropogenik tersebut sejenak mengalami gangguan. Pengendapan material gunung api berlangsung di atas kegiatan antropogenik dan material sedimenter yang berhubungan dengan kegiatan gunung api. Hal itu menghasilkan runtunan batuan gunung api piroklastika dan lava yang berselingan dengan endapan epiklastik, seperti debris, lahar dan endapan fluvio-vulkanik.

Indonesia merupakan negara yang termasuk memiliki gunungapi terbanyak di dunia. Alasan mengapa Indonesia memiliki banyak gunung api adalah karena wilayahnya terletak di zona *ring of fire*. *Ring of fire* merupakan zona tektonik dan vulkanik yang paling aktif, yang juga dikenal dengan sabuk sirkum pasifik. *Ring of fire* terbentang sejauh 40 ribu kilometer di berbagai negara di sepanjang Samudra Pasifik. Secara geologis, Indonesia terletak di antara empat benturan lempeng tektonik, yang membuat Indonesia memiliki banyak gunung api. Gunung berapi dapat meletus dan mengeluarkan magma, abu vulkanik, dan tefra. Aktivitas gunung berapi, selain memberikan dampak pada bencana erupsi gunung api, juga menyuburkan tanah, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai daerah hutan, perkebunan, dan daerah pariwisata.

b. Tipe-tipe Gunungapi

Berdasarkan tatanan tektonikanya, tipe gunung api dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu gugusan gunung api busur magmatik, gugusan gunung api tengah samudra (*mid oceanic ridge volcanous*), dan gugusan gunung api zona rifting di belakang busur (*lava floods*). Tipe-tipe gunung api tersebut memiliki sifat dan komposisi litologi yang berbeda-beda, tergantung dari tatanan tektonikanya.

Didasarkan pada bentang alam dan jenis batuan yang menyusun tubuh gunung api, para ahli vulkanologi mengelompokkan tipenya menjadi empat, yaitu gunung api komposit atau strato (*composite volcanoes*), gunung api perisai (*shield volcanoes*), gunung api monogenetik dan kubah lava (*lava domes*). Selain tipe monogenetik, gunung api-gunung api tersebut dibangun dari erupsi-erupsi poligenetik, yang berlangsung secara berulang dalam waktu yang panjang. Tipe gunung api monogenetik terbentuk dari letusan tunggal, yang aktivitasnya berlangsung secara freatik maupun freatomagmatik adalah maar, cincin tuf, skoria tuf, dan kerucut tuf. Fenomena gunung api yang ada di muka Bumi memiliki bentuk yang berbeda-beda. Hal ini sangat bergantung dari tipe, kekuatan, dan frekuensi letusannya. Secara umum, gunungapi dibagi menjadi tiga bentuk yaitu tipe Perisai (Tameng), Maar, dan Strato.

i. Gunungapi Perisai

Gunungapi perisai terbentuk jika lava yang keluar dari tubuh gunungapi berasal dari magma yang sangat encer, sehingga erupsi hanya merupakan lelehan lava pijar ke wilayah di sekelilingnya. Oleh karena sifat magma yang dikandungnya sangat encer, aliran lava dapat menempuh jarak yang cukup jauh dan menyebar menutupi wilayah yang luas. Aliran lava ini pada akhirnya membeku menjadi batuan beku ekstrusif.

Tubuh gunung api perisai tersusun atas aliran-aliran lava (cair), yang mengalir dari pipa kepundannya ke segala arah atau kelompok kepundan dan bergerak ke samping. Tipe gunung api ini berbentuk kerucut dengan kemiringan kecil atau bahkan datar, atau berbentuk kubah datar seperti perisai perang. Tubuh gunung apinya dibentuk secara perlahan oleh pertumbuhan ribuan aliran lava sangat encer (basal), yang menyebar dalam radius yang cukup jauh. Aliran lava tersebut kemudian mendingin dan membeku sebagai lapisan lava tipis dengan kemiringan yang sangat kecil. Lava-lava tersebut umumnya juga keluar dari dalam bumi melalui rekahan-rekahan (fissures) yang selanjutnya berkembang pada tepian (lereng) kerucut. Gunungapi perisai ditandai dengan dinding lereng yang sangat landai, bahkan dapat menyerupai dataran. Contoh tipe ini antara lain pulau-pulau vulkanis yang terletak di Kepulauan Hawaii (Samudra Pasifik), seperti Mauna Loa, Mauna Kea, dan Kilauea.

ii. Gunungapi Maar

Bentuk gunungapi maar terjadi akibat letusan eksplosif yang hanya terjadi satu kali dengan materi yang dimuntahkan berupa eflata. Oleh karena dapur magmanya relatif dangkal serta kandungan gas dalam magma tidak terlalu banyak, letusan gunungapi maar tidak begitu kuat. Akibatnya hanya membentuk dinding gunung berupa tanggul di sekitar lubang kawah. Contoh gunungapi maar antara lain Gunung Lamongan (Jawa Timur), Gunung Pinacate (Sonora, Mexico), dan Gunung Monte Nuovo (Naples, Italia).

iii. Gunungapi Strato

Gunungapi strato terbentuk akibat erupsi yang berganti ganti antara efusif dan eksplosif, sehingga memperlihatkan batuan beku yang berlapis-lapis

pada dinding kawahnya. Batuan yang berlapis ini berasal dari pembekuan lava dan eflata yang silih berganti. gunung api ini terbentuk oleh proses kemunculan magma ke permukaan bumi melalui rekahan yang dibentuk secara tektonika, yang magmanya dibentuk oleh proses pelelehan batuan sebagian ketika terjadi penunjaman lempeng samudra di bawah lempeng benua atau lempeng samudra di bawah lempeng samudra yang lain. Menurut McDonald (1972), gunungapi tipe strato adalah gunung api yang tubuhnya tersusun oleh material hasil erupsinya yang bersusunan secara berlapis-lapis. Material gunung api yang menyusun gunung api tipe komposit biasanya terdiri atas material klastik gunung api (piroklastik), koheren lava dan lahar.

Hampir semua gunungapi di Indonesia merupakan tipe strato. Beberapa contohnya antara lain Gunung Merapi, Gunung Tangkuban Perahu, Gunung Krakatau, Gunung Semeru, dan Gunung Tambora. Kebanyakan tipe gunung api strato memiliki kawah di bagian puncak hingga lereng atas, yaitu tempat berpusatnya kepundan atau kelompok kepundan. Lava mengalir melalui zona rekahan pada dinding kawah atau di sepanjang pipa pada lerengnya. Lava mengalami pemadatan di dalam celah membentuk gang (*dike*) yang berperan sebagai tulang rusuk (*rib*) yang dapat memperkuat kerucut gunung api. Ciri utama tipe strato yang lain adalah adanya sistem konduit, yaitu bagian gunung api yang dilalui magma dari dapur magma ke permukaan. Tubuh gunung api tersusun atas akumulasi material yang dierupsikan melalui konduit tersebut dan makin lama makin bertambah besar oleh lava, sinder, abu dan lain-lain yang dihasilkan selama periode aktivitasnya berlangsung.

Saat gunung api ini beristirahat, proses erosi menghancurkan kerucut. Setelah kerucutnya terkelupas oleh erosi tersebut, selanjutnya dikeraskan dengan magma yang mengisi konduitnya dan celah hingga tersingkap, hal itu dapat mengurangi laju erosi. Akhirnya, semua yang tersisa adalah suatu kompleks sumbat gunung api dan batuan gang (intrusi ke samping) yang terlihat di permukaan tanah, sebagai petunjuk dari sisa-sisa bekas gunung api. Keberadaan batuan intrusi gang dan sisa-sisa batuan sumbat konduit tersebut

dapat digunakan sebagai petunjuk untuk mengidentifikasi tubuh gunung api purba (yang aktif pada masa lampau) tipe strato.

c. Erupsi Gunungapi

Erupsi gunungapi adalah proses keluarnya magma dari ruang magma dalam perut gunung berapi, akibat aktifitas magma dan pergerakan lempeng tektonik. Erupsi gunungapi juga disebut gunung meletus. Gunung meletus merupakan peristiwa yang terjadi akibat endapan magma di dalam perut bumi yang didorong keluar oleh gas yang bertekanan tinggi. Magma adalah cairan pijar yang terdapat di dalam lapisan bumi dengan suhu yang sangat tinggi, yakni diperkirakan lebih dari 1.000 °C. Cairan magma yang keluar dari dalam bumi disebut lava. Suhu lava yang dikeluarkan bisa mencapai 700-1.200 °C.

Letusan gunungapi yang membawa batu dan abu dapat menyembur sampai sejauh radius 18 km atau lebih, sedangkan lavanya bisa membanjiri sampai sejauh radius 90 km. Tidak semua gunung berapi sering meletus. Gunung berapi yang sering meletus disebut gunung berapi aktif. Erupsi bisa efusif yaitu lava keluar secara perlahan dan mengalir tanpa diikuti dengan suatu ledakan atau eksplosif yaitu magma keluar dari gunungapi dalam bentuk ledakan.

Dalam erupsi yang eksplosif, terbentuk endapan piroklastik, sedang dalam erupsi efusif terbentuk aliran lava. Secara garis besar ada tiga tipe/jenis erupsi yaitu: Hawaiiian, Strombolian dan Vulkanian. Istilah tipe hawaiiian diambil dari kata Hawaii, pulau vulkanik di tengah samudera Pasifik yang mempunyai gunung dengan tipe erupsi khas hawaiiian. Dinamika erupsi tipe hawaiiian dicirikan dengan adanya erupsi lava cair berasal dari kawah dalam waktu cukup lama. Lava yang membentuk erupsi tipe hawaiiian ini berjenis basalt. Dari bentuk fisiknya, gunung yang bertipe erupsi hawaiiian mempunyai bentuk perisai, dalam arti bahwa diam tubuh gunung jauh lebih besar dari tinggi gunung.

Istilah tipe strombolian diambil dari kata Stromboli, nama gunungapi di pulau Stromboli Italia yang terletak di Laut Thyrene, Mediterania. Erupsi jenis strombolian dicirikan dengan erupsi-erupsi kecil dari gas dan fragmen-fragmen atau serpihan magma. Material yang diletuskan jatuh kembali

ke dalam kawah atau di sekitar bibir kawah. Pada saat terjadi erupsi yang lebih besar, lava mengalir ke lereng di sekitarnya. Secara umum suatu gunungapi disebut bertipe strombolian apabila dalam suatu erupsi material padat yang terhamburkan kurang lebih setara dengan material yang mengalir sebagai aliran lava. Gunungapi tipe strombolian mempunyai kawah, biasanya berbentuk lingkaran. Tubuh dan lereng gunung tersusun dari batuan skoria hasil lontaran saat erupsi. Hasil letusan gunung berupa: gas vulkanik, lava dan aliran pasir serta batu panas, lahar, tanah longsor, gempa bumi, abu letusan, awan panas.

Istilah tipe vulkanian berasal dari nama gunung *Vulcano* yang terletak di kepulauan Lipar Italia. Erupsi bersifat eksplosif dengan tingkat eksplosivitas dari lemah ke katastrofik. Magma yang membentuk erupsi tipe vulkanian bersifat antara basa dan asam (dari andesit ke dasit). Erupsi vulkanian terjadi karena lobang kepundan tertutup oleh sumbat lava atau magma yang membeku di pipa magma setelah kejadian erupsi. Diperlukan suatu akumulasi tekanan yang relatif besar untuk membuka lobang kepundan atau menghancurkan sumbat lava. Erupsi melontarkan material hancuran dari puncak gunungapi tapi juga material baru dari magma yang keluar. Salah satu ciri dari erupsi vulkanian yaitu adanya asap erupsi yang membumbung tinggi ke atas dan kemudian asap tersebut melebar menyerupai cendawan. Asap erupsi membawa abu dan pasir yang kemudian akan turun sebagai hujan abu dan pasir. Tidak seperti tipe hawaiian dan strombolian, aliran lava tidak terjadi pada tipe erupsi vulkanian.

Gunung Semeru memiliki tipe letusan vulkanian dan strombolian yang terjadi 3 – 4 kali setiap jam. Karakter letusan vulkanian berupa letusan eksplosif yang dapat menghancurkan kubah dan lidah lava yang telah terbentuk sebelumnya. Sementara, karakter letusan strombolian biasanya terjadi pembentukan kawah dan lidah lava baru serta letusan atau hembusan asap yang terjadi setiap saat.

d. Bahaya Erupsi Gunungapi

Bahaya dari erupsi gunungapi dibagi menjadi dua jenis bahaya yaitu bahaya primer dan bahaya sekunder. Jenis bahaya tersebut terjadi secara langsung dan tidak langsung.

i. Bahaya Primer

Bahaya yang diakibatkan secara langsung oleh produk erupsi gunung api. Bahaya ini dapat berupa aliran awan panas, lahar letusan atau lumpur panas, jatuhnya piroklastik atau hujan abu, lelehan lava, serta gas vulkanik beracun. Bahaya primer dari letusan gunung berapi tidak hanya merusak apa saja yang berada di lanskap wilayah lereng, tetapi juga dapat menelan korban jiwa. Berikut macam-macam bahaya primer dari letusan gunungapi

a) Awan Panas (*Pyroclastic Density Flow*)

Istilah awanpanas dipakai untuk menyebut aliran suspensi dari batu, kerikil, abu, pasir dalam suatu masa gas vulkanik panas yang keluar dari gunungapi dan mengalir turun mengikuti lerengnya dengan kecepatan bisa lebih dari 100 km per jam sejauh puluhan km. Aliran turbulen tersebut dari jauh tampak seperti awan bergulung-gulung menuruni lereng gunungapi dan bila terjadi malam hari terlihat membara. Awanpanas biasanya tidak segemuruh longsoran biasa karena tingginya tekanan gas pada material menyebabkan benturan antar batu-batu atau material di dalam awanpanas tidak terjadi dengan kata lain benturan teredam oleh gas.

Awanpanas dibedakan atas awanpanas letusan dan awanpanas guguran. Awan panas letusan terjadi karena hancuran magma oleh suatu letusan. Partikel-partikel terlempar secara vertical dan horizontal. Kekuatan penghancuran material magma saat letusan ditentukan oleh kandungan gas vulkanik dalam magma. Awanpanas guguran terjadi akibat runtuhnya kubah lava bersuhu sekitar 500-600°C oleh tekanan magma dan pengaruh gravitasi. Proses awal yang memicu longsornya kubah dapat di timbulkan oleh: Longsor biasa yang sebagaimana sering terjadi di daerah lereng-lereng pegunungan. Peranan hujan menjadi faktor utama yang menimbulkan ketidakstabilan. Di daerah lereng pegunungan air hujan masuk dalam struktur tanah dan

memperkecil gaya gesek pada bidang gelincir sehingga tidak dapat lagi menahan berat lereng.

Dalam hal kubah lava Gunung Semeru, air hujan yang masuk ke dalam kubah lava mengalami pemanasan sehingga menjadi gas yang bertekanan cukup tinggi untuk mengganggu kestabilan kubah. Kohesi material penyusun tubuh kubah lava mengecil sehingga mudah muncul longsoran kecil maupun besar; Longsoran dipicu oleh suatu letusan kecil (lokal) yang terjadi di kubah lava. Gas bertekanan tinggi dalam kubah lava dapat memicu terjadinya letusan kecil setempat yang terjadi di permukaan kubah lava. Tekanan yang dilepaskan secara mendadak dapat mengganggu kestabilan kubah secara keseluruhan sehingga kubah dapat mengalami longsoran besar; Longsornya kubah dapat pula karena adanya dorongan dari bawah yaitu dari pipa magma gunungapi sehingga kubah lava bergeser dan akhirnya longsor. Karena adanya faktor gravitasi, tekanan dari bawah yang tidak terlalu besar sudah cukup untuk mengganggu kestabilan kubah.

Kecenderungan arah luncuran masa awanpanas ditentukan oleh arah aliran-aliran hulu sungai di lereng gunungapi yang berada di bawah posisi kubah lava yang terluncurkan. Material beratnya akan meluncur di dalam alur sungai, sedangkan awan yang kelihatan bergulung-gulung akan menyelimuti aliran masa awan panas dan melebar ke tepian alur hulu sungai di kiri kanan dari alur tersebut. Jarak jangkauan awanpanas ditentukan oleh kecepatan alirnya yang tergantung pada morfologi dan kelerengan/ gradien alur lembah sungai. Kekuatan awanpanas dalam membawa material berukuran besar dan bongkahan bongkahan merupakan ciri utama dari alirannya.

Awanpanas yang terjadi di Gunung Semeru umumnya termasuk dalam awan panas guguran. Gaya berat kubah lava atau bagian dari kubah lava yang runtuh menentukan laju dari awan panas. Semakin besar volume yang runtuh akan semakin cepat laju awanpanas dan semakin jauh jarak jangkauannya. Pada umumnya kubah lava yang terbentuk di puncak berbentuk memanjang menjulur ke arah lerengnya. Orientasi dari kubah lava ini yang menentukan arah awanpanas yang akan terjadi. Namun demikian kubah lava di puncak Semeru

tidak tunggal dalam arti ada banyak kubah lava yang tidak runtuh dan kemudian menjadi bagian dari morfologi puncak Gunung Semeru. Ada kecenderungan bahwa kubah lava yang lebih baru lebih tidak stabil dibanding kubah lava yang lebih dulu terbentuk. Kestabilan kubah lava juga sangat tergantung dari keadaan dasar kawah di mana suatu kubah terbentuk.

b) Jatuhan Piroklastik atau Abu Vulkanik

Abu Vulkanik adalah material vulkanik yang terdiri dari pecahan batuan, mineral, dan gelas vulkanik, yang terbentuk selama erupsi gunung api dan berdiameter kurang dari 2 mm (0,079 inci). Istilah abu vulkanik juga sering digunakan merujuk pada semua produk jatuhan erupsi eksplosif (tephra), termasuk partikel yang lebih besar dari 2 mm. Abu vulkanik terbentuk ketika gas terlarut dalam magma mengembang dan lepas secara tiba-tiba ke atmosfer. Kekuatan gas menghancurkan magma dan mendorongnya ke atmosfer dan membeku menjadi fragmen batuan vulkanik dan gelas vulkanik. Abu juga dihasilkan ketika magma bersentuhan dengan air selama letusan freatomagmatik, menyebabkan ledakan secara eksplosif menjadi uap yang menyebabkan pecahnya magma. Begitu berada di udara, abu diangkut oleh angin hingga mencapai ribuan kilometer.

c) Bom Vulkanik

Bom vulkanik atau bom lava adalah massa batuan berfasa cair dengan diameter lebih besar dari 64 mm (2,5 inci), terbentuk ketika gunung api mengeluarkan fragmen lava kental selama erupsi. Material tersebut mendingin menjadi fragmen padat sebelum mencapai permukaan. Karena bom vulkanik mendingin setelah dilontarkan gunung api, bom vulkanik termasuk ke dalam batuan beku ekstrusif. Bom vulkanik dapat dilemparkan beberapa kilometer dari titik erupsi, dan seringkali memperoleh bentuk aerodinamis selama proses transport. Bom bisa sangat besar contohnya pada letusan Gunung Asama tahun 1935 di Jepang mengeluarkan bom dengan diameter 5–6 m (16-20 kaki) hingga 600 m (2.000 kaki) dari titik erupsi.

Bom vulkanik adalah bahaya vulkanik yang signifikan, dan dapat menyebabkan cedera parah dan kematian bagi orang-orang di zona bahaya.

Salah satu insiden tersebut terjadi di gunung berapi Galeras di Kolombia pada tahun 1993; enam orang di dekat puncak tewas dan beberapa terluka parah oleh bom lava ketika terjadi erupsi secara tak terduga. Pada kasus tertentu, bom vulkanik terlontarkan dari tekanan gas internal saat mendingin. Sebagian besar kerusakan yang ditimbulkannya adalah dari benturan, atau kerusakan akibat kebakaran yang diakibatkan suhu panas bom vulkanik. Tekstur bom vulkanik yang paling sering diamati adalah bom jenis "kerak roti".

d) Lontaran Lava Pijar

Lava pijar adalah cairan panas yang mengalir dari gunung berapi dan memijarkan api. Cairan panas tersebut berasal dari lelehan batu atau magma pijar. Setelah meleleh, lelehan tersebut kemudian mengalir keluar dari dalam bumi, salah satunya melalui kawah gunung berapi. Biasanya lava pijar ini berada pada radius sekitar kawah gunungapi.

e) Gas Beracun

Gas-gas yang berasal dari magma antara lain gas H₂O, CO₂, SO₂, H₂S, HCl, CO, dan Nitrogen. Gas gunung api yang berkonsentrasi di atas ambang batas bersifat racun sehingga dapat melemahkan bahkan menewaskan manusia atau binatang, terdapat pada kawah atau bekas lubang letusan.

ii. Bahaya Sekunder

Bahaya yang diakibatkan secara tidak langsung oleh produk erupsi gunung api, seperti lahar dan endapan awan panas.

a) Lahar

Lava yang mengalir menuju sungai yang alirannya deras maka akan meningkatkan kapasitas dan kecepatan lahar. Apalagi jika ditambah dengan curah hujan, alirannya akan semakin deras. Lahar yang kapasitasnya melebihi kemampuan sungai untuk menampung air, akan keluar dari aliran sungai dan mengalir ke daerah di sekitarnya. Untuk itulah biasanya akan dibuatkan saluran khusus yang berukuran sangat lebar untuk menampung aliran lahar. Lahar bisa membentuk alirannya sendiri, jika aliran tersebut pernah dilalui oleh lava.

Lahar yang mengalir dibedakan berdasar kecepatan dan lebarnya, lahar dengan lebar yang kecil hanya bisa mengalir dengan kecepatan beberapa

meter/detik. Sifatnya juga cepat membeku. Sedangkan lahar yang lebih lebar bisa bergerak dengan kecepatan 22-60 mph atau setara 100 km/jam. Lahar dibedakan menjadi dua yaitu lahar dingin dan lahar panas.

Lahar dingin adalah lava yang mengalir dan bercampur dengan air atau lumpur yang dingin yang membawa materi seperti batuan besar, debu, lumpur, hingga bom vulkanik. Sifatnya seperti air, dan bergerak dari daerah yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah. Air dingin yang tercampur dengan lava panas, membuat lava kehilangan sifat panasnya dan berubah menjadi dingin. Karenanya lahar dingin berwarna abu-abu dan teksturnya menjadi kental. Lahar dingin membawa material yang besar dan bisa menyebabkan kerusakan yang sangat besar. Jika curah hujan pasca erupsi tinggi akan menyebabkan lahar dingin menjadi lebih cepat dan bisa berubah menjadi banjir bandang. Lahar dingin akan menyebabkan pengendapan di dasar sungai, sehingga sungai menjadi semakin dangkal. Hal ini berdampak sungai semakin mampu menampung lebih banyak aliran lahar dingin. Lahar dingin bisa menghancurkan rumah warga yang dilaluinya karena materi batuan ikut terbawa aliran lahar dingin juga cukup besar.

Sedangkan lahar panas adalah aliran lava yang tercampur dengan air panas. Air panasnya berasal dari endapan air hujan yang terjadi di sekitar gunung. Air hujan yang mengendap bisa membentuk danau di dasar kepundan yang memiliki sifat anti air dan menyerap air. Warna lahar panas berbeda dengan lahar dingin, yang disebabkan karena sifat air yang bersatu dengan lava yang bersatu dengan air panas. Lahar panas memiliki warna seperti besi yang meleleh, suhunya sampai 100°C, sehingga bisa menghanguskan apapun yang ditemuinya. Materi yang dibawa oleh lahar panas tidak sebesar dan sebanyak yang dibawa oleh lahar dingin sehingga tidak sampai menyebabkan kerusakan yang besar seperti yang dihasilkan oleh lahar dingin. Meski tidak membawa material yang berukuran besar, ketika lahar panas meluap, bisa menyebabkan luka bakar karena suhunya yang cukup tinggi.

b) Endapan Awan Panas

Endapan awanpanas tersusun dari dua bagian, yaitu bagian bawah, beberapa meter atau puluhan meter tebalnya, biasanya di dasar lembah sungai terdiri dari material berbutir kasar. Bagian atas terdiri dari endapan material abu. Menurut Fisher & Schmincke (1984), endapan awanpanas bervariasi dan mencerminkan berbagai tipe letusan dan pengendapan. Kejadian letusan awanpanas itu sendiri dapat menghasilkan asosiasi endapan awanpanas dan piroklastik surge atau hanya awanpanas atau piroklastik surge saja. Perbedaan dari dua jenis endapan ini terlihat dari pemilahan dan struktur endapannya. Endapan awanpanas terpilah buruk dan masif sedangkan piroklastik surge mempunyai pemilahan butir yang lebih baik, berukuran lebih halus dan memiliki struktur lapisan. Proses pengendapan awanpanas terjadi pada dasar lembah dan menjauh dari sumber endapannya akan menebal.

e. Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (PJ dan SIG)

Penginderaan jauh atau indera (remote sensing) adalah seni dan ilmu untuk mendapatkan informasi tentang obyek, area atau fenomena melalui analisa terhadap data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung dengan obyek, daerah ataupun fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer.1979). Alat yang dimaksud dalam pengertian di atas adalah alat pengindra atau sensor. Pada umumnya sensor dibawa oleh wahana baik berupa pesawat, balon udara, satelit maupun jenis wahana yang lainnya (Sutanto. 1987). Hasil perekaman oleh alat yang dibawa oleh suatu wahana ini selanjutnya disebut sebagai data penginderaan jauh. Lindgren (1985 dalam Sutanto, 1987) mengungkapkan bahwa penginderaan jauh adalah berbagai teknik yang dikembangkan untuk perolehan dan analisis informasi tentang bumi, informasi ini khusus berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi.

Dari pendapat beberapa ahli di atas dapat disimpulkan bahwa penginderaan jauh terdiri atas 3 komponen utama yaitu obyek yang diindra, sensor untuk merekam obyek dan gelombang elektronik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi. Interaksi dari ketiga komponen ini

menghasilkan data penginderaan jauh yang selanjutnya melalui proses interpretasi dapat diketahui jenis obyek area ataupun fenomena yang ada.

Perkembangan penginderaan jauh ini semakin cepat seiring dengan kemajuan teknologi dirgantara. Sebelumnya penginderaan jauh lebih banyak menggunakan pesawat udara dan balon udara dalam perekaman data permukaan bumi, tetapi seiring dengan perkembangan penerbangan antariksa dan penggunaan satelit untuk berbagai kepentingan termasuk didalamnya perekaman permukaan bumi, maka penginderaan jauh tumbuh berkembang semakin cepat. Demikian pula halnya dengan penggunaan sensor yang di bawa oleh berbagai wahana juga mengalami peningkatan baik dalam jenis sensor yang digunakan maupun tingkat kedetailan hasil penginderaan.

Secara umum dapat dikatakan bahwa penginderaan jauh dapat berperan dalam mengurangi secara signifikan kegiatan survey terestrial dalam inventarisasi dan monitoring sumberdaya alam. Kegiatan survey terestris dengan adanya teknologi ini hanya dilakukan untuk membuktikan suatu jenis obyek atau fenomena yang ada dilapangan untuk disesuaikan dengan hasil analisa data.

Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai gabungan dari beberapa unsur pokok diantaranya sistem, informasi, dan geografis. Sistem Informasi Geografis (SIG) sendiri merupakan sistem yang menekankan kepada berbagai unsur informasi geografis mulai dari informasi tentang tempat tempat yang berada di permukaan bumi, pengetahuan tentang informasi dan berbagai atribut di permukaan bumi namun dengan posisi yang telah diketahui serta letak suatu objek di permukaan bumi.

Menurut beberapa pakar Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem yang terdiri dari software atau perangkat lunak, perangkat keras, serta data manusia organisasi dan lembaga yang digunakan untuk menyimpan, menganalisis, mengumpulkan serta menyebarkan informasi-informasi terkait daerah-daerah di permukaan bumi.

Sistem Informasi Geografis (SIG) sendiri diantaranya adalah sistem komputer yang digunakan untuk mengintegrasikan, mengumpulkan, memeriksa, dan menganalisis informasi-informasi yang berhubungan dengan permukaan

bumi, Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai teknologi informasi dapat dimanfaatkan untuk menganalisis, menyimpan, dan menampilkan baik data spasial maupun nonspasial, Sistem Informasi Geografis (SIG) juga merupakan sistem komputer yang digunakan untuk menyimpan, memeriksa, mengintegrasikan, memasukkan (capturing), memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan berbagai data yang berhubungan dengan berbagai posisi di permukaan bumi.

Penggunaan Penginderaan Jauh (PJ) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam mengkaji atau menganalisis risiko bencana. Penilaian risiko bencana dapat digunakan untuk manajemen bencana atau pengurangan risiko bencana. SIG berperan sebagai komponen penting dalam manajemen bencana bersama sistem-sistem yang lain. SIG dapat bermanfaat untuk mitigasi bencana yang dapat diterapkan untuk melindungi kehidupan, kepemilikan, dan infrastruktur yang kritis terhadap bencana yang ditimbulkan oleh alam (Jumadi, dkk. 2021). PJ dan SIG dapat digunakan untuk menganalisis kerentanan, kajian multi bencana, perencanaan evakuasi, pemetaan zona bahaya, analisis bahaya, analisis risiko, dan perencanaan pengungsian, serta dapat merencanakan scenario penanganan bencana yang tepat sasaran.

Pemetaan sebaran bahaya, kerentanan, maupun risiko awan panas didasarkan pada SIG. Dengan menggunakan analisis SIG untuk menumpang-susunkan faktor kerentanan dan bahaya, maka dapat menentukan nilai dan sebaran risiko bencana awan panas Gunungapi Semeru khususnya.

f. Kajian Risiko Bencana

Kajian risiko bencana memberikan gambaran umum tingkat risiko suatu bencana pada suatu daerah. Proses kajian dilaksanakan untuk seluruh bencana yang berpotensi di suatu daerah. Selanjutnya, kajian risiko bencana menjadi landasan untuk memilih strategi yang dinilai mampu mengurangi risiko bencana melalui analisa setiap komponen bahaya, kerentanan, kapasitas untuk setiap bencana. Pengkajian ketiga komponen tersebut dilakukan untuk menentukan sifat dan besarnya risiko dilakukan dengan menganalisa bahaya potensial dan mengevaluasi kerentanan yang menyebabkan potensi bahaya

dengan risiko jiwa terpapar, rupiah yang hilang, dan hektar lingkungan yang rusak.

Pengkajian risiko bencana juga digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan implementasi rekomendasi-rekomendasi kebijakan penanggulangan bencana daerah. Upaya tersebut dilakukan dengan mengenal dan mempelajari kelemahan-kelemahan penanggulangan bencana dalam upaya pengurangan risiko bencana. Pengenalan daerah dalam informasi kebencanaan dimulai dengan mengetahui tingkat bahaya, tingkat kerentanan, tingkat kapasitas, dan tingkat risiko bencana terhadap masing-masing bencana. Penilaian risiko bencana tersebut menghasilkan kelas risiko bencana di daerah, baik kelas rendah, sedang, dan tinggi. Pengkajian risiko bencana merupakan sebuah pendekatan untuk memperlihatkan potensi dampak negatif yang mungkin timbul akibat suatu potensi bencana yang ada.

Potensi dampak negatif tersebut dihitung juga dengan mempertimbangkan tingkat kerentanan dan kapasitas kawasan tersebut. Potensi dampak negatif ini menggambarkan potensi jumlah jiwa, kerugian harta benda, dan kerusakan lingkungan yang terpapar oleh potensi bencana. Dalam pelaksanaannya, pengkajian risiko menggunakan rumus umum sebagai berikut:

$$R = H \frac{V}{C}$$

Dalam melakukan kajian risiko bencana, pendekatan fungsi dari tiga parameter pembentuk risiko bencana, yaitu ancaman (H), kerentanan (V), dan kapasitas (C) terkait bencana. Beberapa prinsip dari proses pengkajian risiko bencana yang juga menjadi pertimbangan proses analisa adalah: Menggunakan data dan segala bentuk rekaman kejadian yang ada, dengan mengutamakan data resmi dari lembaga yang berwenang; Melakukan integrasi analisis probabilitas kejadian ancaman dari para ahli dengan kearifan lokal masyarakat; Proses analisis yang dilakukan harus mampu menghitung potensi jumlah jiwa, kerugian harta benda, dan kerusakan lingkungan yang terpapar; Hasil kajian risiko dapat diterjemahkan menjadi kebijakan umum untuk pengurangan risiko bencana.

i. Bahaya

Penentuan indeks bahaya letusan gunungapi dibuat dengan mengacu pada pedoman yang dikeluarkan oleh PVMBG (2011) menggunakan metode pembobotan zona KRB (Kawasan Rawan Bencana) gunungapi. Masing-masing zona KRB (zona I, II, dan III) terdiri dari zona aliran dan zona jatuhan diberi nilai bobot yang berbeda-beda berdasarkan tingkat kerawanannya. Berikut adalah indikator penilaian bahaya letusan gunungapi

ii. Kerentanan

Kerentanan (*vulnerability*) merupakan hasil dari kondisi dan proses yang dipengaruhi dari bahaya yang berasal dari alam, bencana tektonik, atau kondisi ekstrim tertentu. Dimensi kerentanan mencakup pada kerentanan sosial (penduduk), kerentanan ekonomi, dan kerentanan lingkungan (Pine, 2009). Kerentanan terdiri dari beberapa parameter yaitu:

1) Kerentanan Sosial

Kerentanan sosial terdiri dari parameter kepadatan penduduk dan kelompok rentan. Kelompok rentan terdiri dari rasio jenis kelamin, rasio kelompok umur rentan, rasio penduduk miskin, dan rasio penduduk cacat. Secara spasial, masing-masing nilai parameter didistribusikan di wilayah pemukiman per desa/kelurahan dalam bentuk grid raster (piksel) berdasarkan acuan data WorldPop atau metode dasimetrik yang telah berkembang. Setiap piksel merepresentasikan nilai parameter sosial (jumlah jiwa) di seluruh wilayah pemukiman.

Pada analisis tingkat risiko awan panas gunung api semeru ini yang diperlukan adalah dari data kerentanan sosial. Hal tersebut dikarenakan kerentanan sosial lebih berisiko tinggi karena berkaitan dengan manusia atau antropogeniknya. Penilaian kerentanan sosial dapat dilakukan dengan memilih prioritas kerentanan seperti, kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, dan rasio kelompok umur rentan.

2) Kerentanan fisik

Kerentanan Fisik terdiri dari parameter rumah, fasilitas umum dan fasilitas kritis. Jumlah nilai rupiah rumah, fasilitas umum, dan fasilitas kritis

dihitung berdasarkan kelas bahaya di area yang terdampak. Distribusi spasial nilai rupiah untuk parameter rumah dan fasilitas umum dianalisis berdasarkan sebaran wilayah pemukiman seperti yang dilakukan untuk analisis kerentanan sosial.

3) Kerentanan Ekonomi

Kerentanan ekonomi terdiri dari parameter kontribusi PDRB dan lahan produktif. Nilai rupiah lahan produktif dihitung berdasarkan nilai kontribusi PDRB pada sektor yang berhubungan dengan lahan produktif (seperti sektor pertanian) yang dapat diklasifikasikan berdasarkan data penggunaan lahan.

4) Kerentana Lingkungan

Kerentanan lingkungan terdiri dari parameter hutan lindung, hutan alam, hutan bakau/mangrove, semak belukar, dan rawa. Setiap parameter dapat diidentifikasi menggunakan data tutupan lahan.

iii. Kapasitas

Kapasitas daerah adalah bagian penting dalam peningkatan upaya penyelenggaraan penanggulangan bencana melalui upaya pengurangan risiko bencana di daerah. Penilaian kapasitas daerah digunakan untuk menilai, merencanakan, mengimplementasikan, memonitoring dan mengembangkan lebih lanjut kapasitas daerah yang dimiliki untuk mengurangi risiko bencana. Pengkajian kapasitas daerah tersebut dilaksanakan berdasarkan masukan dan kondisi terkini dari beberapa parameter yang diukur dalam pelaksanaan penanggulangan bencana daerah. Penentuan kapasitas daerah dilakukan berdasarkan indeks ketahanan daerah dan indeks kesiapsiagaan daerah untuk setiap jenis bahaya. Penilaian ketahanan daerah dilakukan berdasarkan Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (Perka BNPB) Nomor 3 Tahun 2012 tentang Panduan Penilaian Kapasitas Daerah.

1. 5. 2. Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai Analisis Tingkat Resiko Erupsi Gunung Semeru di Kecamatan Candipuro Kabupaten Lumajang ini memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya tersebut antara lain:

A. S. Ardi dan D. R. S. Sumunar (2017) Penelitian yang berjudul “Analisis Tingkat Resiko Bencana Erupsi Gunung Merapi di Kecamatan Dukun Kabupaten Magelang”; A. N. Susilo dan I. Rudiarto (2014) Penelitiannya yang berjudul “Analisis Tingkat Resiko Erupsi Gunung Merapi Terhadap Pemukiman di Kecamatan Kemalang Kabupaten Klaten”; dan D. Kurniawan (2008) dengan penelitiannya yang berjudul “Analisis Tingkat Risiko Awan Panas Gunungapi Merapi Pasca Erupsi 2006 Terhadap Bangunan dan Penduduk di Kabupaten Sleman”. Ketiga penelitian tersebut memiliki kesamaan pada objek penelitiannya yaitu Gunung Merapi.

Ketiga penelitian tersebut memiliki perbedaan yaitu pada penelitian yang dilakukan oleh A. N. Susilo dan I. Rudianto (2014) memiliki objek pemukiman terdampak erupsi Gunung Merapi. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh A. S. Ardi dan D. R. S. Sumunar (2017) tujuannya hanya untuk mengetahui tingkat risiko bencana erupsi Gunung Merapi dan sebaran risikonya secara umum. Kedua penelitian tersebut juga memiliki perbedaan dengan penelitian yang dilakukan oleh D. Kurniawan (2008). Penelitian yang dilakukan oleh D. Kurniawan (2008) memiliki objek bangunan dan penduduk, serta bahaya erupsi yang diteliti merupakan awan panas, sehingga penelitian D. Kurniawan (2008) sangatlah detail. Berbeda dengan kedua penelitian yang dilakukan oleh A. N. Susilo dan I. Rudianto (2014) dan A. S. Ardi dan D. R. S. Sumunar (2017) yang memiliki bahaya erupsi secara *general* (umum).

Dari ketiga penelitian tersebut banyak perbedaan dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis dari segi metode maupun studi lokasi yang diteliti. Penulis menggunakan metode analisis data sekunder yang berkaitan dengan bahaya awan panas dan kerentanan penduduk, sehingga penelitian ini akan lebih detail daripada ketiga penelitian tersebut. Lokasi penelitian yang juga berbeda yaitu berlokasi di Gunungapi Semeru yang wilayahnya cukup luas dan sangat berbahaya, karena

memiliki frekuensi letusan setiap 20-30 menit sekali. Walaupun memiliki perbedaan lokasi penelitian, namun karakteristik Gunung Merapi dan Gunungapi Semeru hampir memiliki kesamaan.

Gunungapi Merapi memiliki karakteristik letusan berupa awan panas, jatuhnya piroklastik, dan lava pijar yang disebabkan oleh pertumbuhan kubah lava yang sangat cepat. Begitu juga dengan Gunungapi Semeru, karakteristik erupsi Gunungapi Semeru berupa awan panas, lava pijar, jatuhnya piroklastik, dan letusan asap setiap 20-30 menit sekali. Fenomena awan panas yang terjadi di Gunungapi Merapi dan Gunungapi Semeru berupa awan panas guguran dan awan panas letusan. Perbedaan fenomena tersebut adalah pada frekuensi dan rentang waktunya. Gunungapi Merapi memiliki frekuensi erupsi setiap 4 tahun sekali, sedangkan Gunungapi Semeru memiliki frekuensi erupsi 1 tahun sekali.

Metode yang digunakan oleh penulis memiliki kesamaan dengan ketiga penelitian sebelumnya, namun penulis memodifikasi penilaian risiko awan panas dari ketiga penelitian tersebut. Modifikasi penilaian risiko awan panas oleh penulis didasarkan pada ketentuan dari BNPB yang dimodifikasi berdasarkan Buku *Multiple Hazard Risk Assessment* (Van Westen. 2011). Teknik analisisnya juga memiliki kesamaan pada *overlay*, skoring, dan deskripsi kualitatif-kuantitatif. Persamaan tersebut dapat di pertanggung jawabkan karena lokasi penelitian yang berbeda. Ringkasan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 1. 2. di bawah ini.

Tabel 1. 2. Ringkasan Penelitian Sebelumnya

Nama Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
A. S. Ardi dan D. R. S. Sumunar. Mahasiswa Pendidikan Geografi UNY (2017)	Analisis Tingkat Resiko Bencana Erupsi Gunung Merapi di Kecamatan Dukun Kabupaten Magelang	Mengetahui tingkat risiko bencana dan sebaran risiko bencana erupsi Gunung Merapi di Kecamatan Dukun Kabupaten Magelang	Area Sampling, Observasi, dan Wawancara.	Hasil penelitian menunjukkan Tingkat risiko bencana erupsi dapat dibagi menjadi: Sedang, rendah, dan sangat rendah. Semakin tinggi tingkat risiko bencana maka potensi kerugian akibat terjadinya bencana erupsi Gunung Merapi semakin besar. Risiko bencana erupsi terdapat diseluruh wilayah. Sebaran tingkat risiko sedang mendominasi sebagian wilayah Desa Sengi dan Desa Kalibening.
A. N. Susilo dan I. Rudianto. Mahasiswa dan Dosen PWK UNDIP (2014)	Analisis Tingkat Resiko Erupsi Gunung Merapi Terhadap Pemukiman di Kecamatan Kemalang Kabupaten Klaten	Mengetahui tingkat risiko dan Dampak erupsi Gunung Merapi terhadap pemukiman.	Observasi, Survei Lokasi, <i>Overlay</i> , Interpretasi Citra	Hasil penelitian berupa perencanaan mitigasi dan jalur evakuasi. Penyesuaian pemukiman berdasarkan rencana tata ruang wilayah di Kabupaten Klaten sehingga dapat meminimalisir kerugian saat terjadi bencana erupsi Gunung Merapi.

Lanjutan Tabel 1. 2.

<p>Dody Kurniawan. Mahasiswa S2 Program <i>Geoinformation for Spatial Planning and Risk Management.</i> UGM (2008)</p>	<p>Analisis Tingkat Risiko Awan Panas Gunungapi Merapi Pasca Erupsi 2006 Terhadap Bangunan dan Penduduk di Kabupaten Sleman</p>	<p>Menganalisis risiko awan panas GA Merapi pascaerupsi 2006 pada Kawasan Rawan Bencana III dan II di Kabupaten Sleman dan menganalisis potensi kehilangan pada elemen berisiko di Kabupaten Sleman.</p>	<p>Analisis Data Sekunder, Interpretasi Citra, Wawancara, dan Observasi.</p>	<p>Hasil penelitian berupa sebaran risiko awan panas terhadap bangunan dan penduduk di wilayah yang berisiko atau wilayah yang berada di KRB 2 dan KRB 3 di Kabupaten Sleman; Estimasi kerugian yang diakibatkan oleh awan panas di wilayah yang berisiko tinggi terlanda awan panas di Kabupaten Sleman</p>
--	---	--	--	--

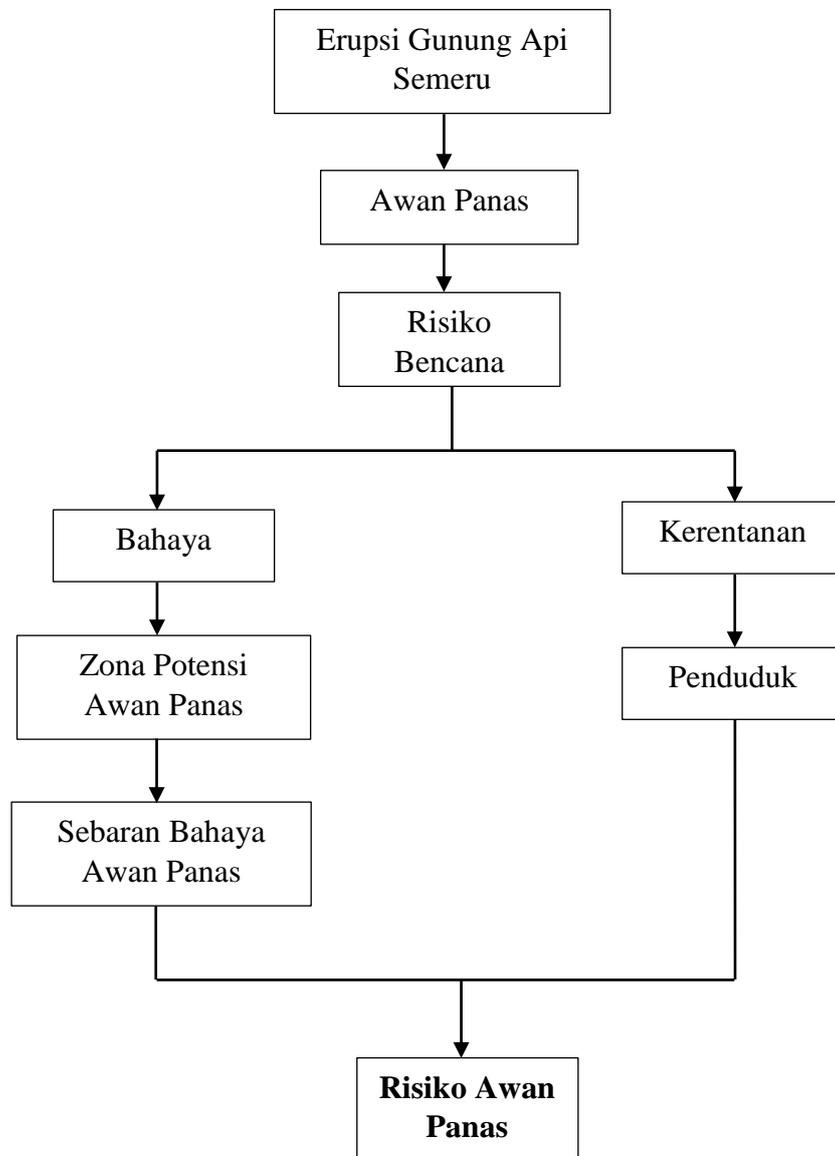
Sumber: Penulis. 2023

1. 6. Kerangka Penelitian

Gunungapi Semeru merupakan salah satu gunungapi paling aktif di Indonesia, terkenal dengan sebutan gunung api yang tidak pernah istirahat atau selalu menampakkan aktivitas letusannya, selalu menunjukkan aktivitas letusan abu rata-rata setiap 20 – 30 menit. Aktivitas erupsi saat ini terdapat di Kawah Jonggring Seloko.

Aktivitas erupsi Gunungapi Semeru yang paling mengancam yaitu awan panas. Kejadian awan panas seringkali mengakibatkan kerugian material hingga korban jiwa. Awan panas Gunungapi Semeru selalu mengarah ke arah rekahan kawah yang sekarang mengarah langsung ke Kecamatan Candipuro. Kecamatan Candipuro beberapa kali menjadi wilayah yang terdampak parah akibat erupsi Gunung Semeru khususnya awan panas sehingga perlu dilakukan penilaian tingkat risiko awan panas yang selalu mengancam wilayah Kecamatan Candipuro.

Risiko awan panas dipengaruhi oleh adanya bahaya awan panas, sehingga timbul zona potensi awan panas yang menjadi sebaran bahaya awan panas di Kecamatan Candipuro. Selain faktor bahaya awan panas, risiko awan panas juga dipengaruhi oleh adanya kerentanan penduduk. Kerentanan penduduk tersebut sangat mempengaruhi tingkat risiko awan panas karena adanya manusia di suatu daerah yang berbahaya akan menyebabkan potensi atau risiko kerugian akan lebih besar. Gambar 1. 4 berikut merupakan kerangka penelitian pada penelitian ini.



Gambar 1. 4. Kerangka Penelitian

1. 7. Batasan Operasional

Adapun Batasan operasional pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Zona Bahaya awan panas adalah wilayah terdampak erupsi yang merupakan wilayah aliran awan panas Gunungapi Semeru di Kecamatan Candipuro.
- b) Kerentanan Sosial (Penduduk) Desa di Kecamatan Candipuro yang menjadi *elemen at risk* awan panas Gunungapi Semeru.
- c) Risiko awan panas diketahui dengan parameter bahaya dan kerentanan sosial dan diklasifikasikan menjadi empat kelas.
- d) Observasi dilakukan pada segmen aliran awan panas Gunungapi Semeru yang mengarah ke Kecamatan Candipuro yaitu Besuk Kobokan, Kali Lanang, dan wilayah yang menjadi aliran awan panas lainnya.
- e) Erupsi Gunungapi Semeru berupa awan panas yang terbagi menjadi awan panas letusan dan awan panas guguran yang sangat berbahaya.
- f) *Overlay* yang dilakukan adalah *intersect* zona bahaya yang *polygonal* dan tingkat kerentanan
- g) Skoring dilakukan dengan modifikasi metode dari Skoring BNPB dan *Buku Multiple Hazard Risk Assesment* (Van Westen. 2011)