

Prediksi Ancaman Bahaya Primer Letusan G. Merapi Ke Arah Selatan Berdasarkan Karakteristik Abu – Lapili Awan Panas Erupsi 2010

Oleh:

Fadlin¹, Joko Sungkono¹, Hill. Gendoet Hartono¹, Teguh Wage Prakoso², dan Rasyid Verdianto²

¹Staf dosen Teknik Geologi STTNAS, Yogyakarta

²Mahasiswa Teknik Geologi STTNAS, Yogyakarta

E-mail: fadhli_idrus@yahoo.com

Abstrak

Gunung api Merapi terletak di bagian utara wilayah administrasi pemerintahan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, tepatnya masuk dalam Kabupaten Sleman. Gunung api Merapi terkenal karena tipe erupsinya yang selalu diikuti oleh pembentukan awan panas atau wedhus gembel. Letusan tahun 2006 membongkar kubah lava Geger Boyo, sehingga awan panas yang berasal dari runtuhnya kubah lava ke arah selatan mengikuti bukaan ke lembah Kali Gendol, Sleman. Namun, letusan tahun 2010 merupakan letusan yang berbeda yaitu letusan vertikal memperlebar bukaan ke arah selatan – tenggara, sehingga awan panas yang terbentuk berarah ke selatan mengikuti aliran Kali Gendol sejauh 15,43 km hingga mencapai dusun Morangan, Argomulyo. Tujuan penulisan ini untuk memprediksi ancaman bahaya primer pasca letusan G. Merapi 2010 dan menerapkan metode penelitian pemetaan geologi terhadap sebaran material berukuran abu – lapili, analisis laboratorium berupa petrografi dan granulometri. Hasil penelitian sementara di lapangan memperlihatkan bentang alam lembah berupa aliran Kali Gendol dari bagian hulu di puncak G. Merapi sampai di bagian hilir di daerah dusun Morangan. Dasar aliran Kali Gendol terisi oleh material lepas berukuran abu hingga bongkah yang berukuran mencapai 5 m, berbentuk menyudut, fragmental dan bersifat lepas. Hasil analisis petrografi menunjukkan material awan panas berkomposisi andesit – andesit basal, tekstur vitrik – afanit, sedangkan analisis granulometri menunjukkan bahwa semakin mendekati sumber atau kawah fragmen berdiameter lebih besar dibanding fragmen di bagian hilir berukuran abu – lapili. Material abu – lapili terpetakan di dusun Morangan yang terletak lebih kurang 12 km dari puncak G. Merapi. Sementara itu, ketebalan endapan awan panas di bagian hulu lebih tebal dibanding di bagian hilir. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa kemungkinan besar ancaman bahaya primer awan panas G. Merapi mendarang menuju lembah di sepanjang aliran Kali Gendol sesuai dengan bukaan kawah berbentuk mirip tapal kuda ke arah selatan – tenggara.

Kata kunci: G. Merapi, awan panas, K. Gendol, letusan.

1. Pendahuluan

Gunung api Merapi (+ 2.968 m dpl.) terletak di Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Perilaku aktivitasnya terkenal hingga manca negara, terlebih bagi warga yang menempati di sekitar tubuh bagian punggungnya, hingga bagian kakinya seperti kota Yogyakarta. Kepadatan penduduk mulai tampak karena ribuan penduduk telah nyaman tinggal hingga beranak cucu di radius tidak aman bagian tubuh G. Merapi. Mereka merasa aman hanya dengan mengandalkan perasaan atau naluri yang berkembang secara alamiah dan turun – temurun. Mereka akan turun gunung bilamana tubuh gunung yang mereka tempati memberi isyarat alam akan meletus. Aktivitasnya kadang atau sering memakan korban baik dalam kondisi luka parah, cacat atau bahkan meninggal, tidak terkecuali merusak karya anak bangsa yang dikenal sebagai budaya. Di sisi

yang lain, bahan atau material yang dihasilkannya membuat warga masyarakat giat mencari dan meningkatkan pendapatan hidupnya, seperti menggali pasir dan kerikil di sepanjang hilir Kali Gendol, Kali Boyong, Kali Woro, dan warga yang lain bertanam aneka sayuran dan padi karena tanahnya menjadi subur setelah tertimbun material abu G. Merapi.

Erupsi G. Merapi sebelum tahun 2006 umumnya mengarah ke area sisi bagian barat hingga baratdaya yakni ke daerah Magelang, Muntilan dan Purworejo, namun sebaliknya setelah erupsi atau letusan G. Merapi tahun 2006 dan terbongkarnya bukit Geger boyo, arah bukaan mulut kawah mengarah ke arah selatan – tenggara (Gambar 1). Geger boyo dipercaya sebagai benteng penahan alam untuk masyarakat yang mendiami sisi selatan G. Merapi, termasuk keberadaan Kraton Yogyakarta. Letusan G. Merapi tahun 2006, awan panasnya mampu berjalan cepat hingga mencapai

jarak 7 km di sepanjang Kali Gendol, dan di sisi lain awan panas tersebut memakan 2 orang korban meninggal karena terpendam material abu panas gunung api di dalam bunker area wisata Kaliadem.

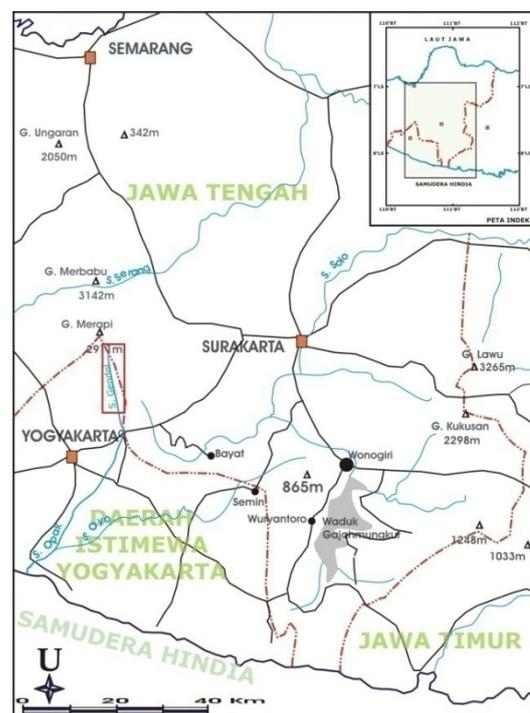
Erupsi G. Merapi tahun 2010 terbukti tidak kalah ganasnya dibandingkan dengan letusan 2006, bahkan jauh lebih dahsyat karena jumlah kerugian dan jumlah korban manusia jauh lebih banyak (\pm 200 orang), dan pengungsi berjumlah \pm 303.233 orang. Artinya letusan tahun 2010 secara kegunungapian yaitu indek letusan gunung api lebih tinggi atau lebih kuat energinya dan tentunya bahan material yang dikeluarkannya juga lebih besar jumlahnya. Erupsi tahun 2010 juga menghasilkan awan panas yang mengalir cepat di sepanjang Kali Gendol hingga mencapai bagian hilir pada kilometer 12, dan melebar menghanguskan rumah dan tumbuhan di kanan kiri bibir sungai yang berpenduduk cukup padat. Pertanyaan yang selalu muncul adalah bagaimana tingkat letusan G. Merapi pasca erupsi tahun 2010? dan apakah material panas gunung api bersama aliran awan panas mengikuti bukaan kawah yang mengarah ke sisi selatan menuju aliran hulu Kali Gendol?. Hal inilah yang juga perlu mendapatkan perhatian, khususnya pemetaan daerah jangkauan awan panas (wedhus gembel) pasca erupsi 2010. Oleh sebab itu, penelitian terhadap material awan panas tersebut perlu digiatkan agar perilaku aktivitas G. Merapi dapat dipahami lebih jelas, dan tentunya berujung pada korban dan kerugian harta benda yang ditimbulkan dapat diminimumkan. Lokasi penelitian di hulu Kali Gendol – hilir di desa Morangan (Gambar 2).



Gambar 1. Morfologi puncak G. Merapi sebagai hasil letusan 2006 dan 2010 yang membuka ke arah selatan – tenggara (Koleksi BPPTKG).

Makalah ini mempunyai maksud melakukan pemerian karakter material awan panas erupsi G. Merapi tahun 2010 yang berukuran abu – lapili, dan bertujuan untuk mendapatkan pemahaman tentang perilaku erupsi G. Merapi secara umum, khususnya untuk memprediksi ancaman bahaya yang muncul pasca erupsi tahun

2010 berdasarkan arah luncuran, jarak jangkauan material awan panas letusan G. Merapi. Metode penelitian yang diterapkan adalah dengan melakukan kunjungan lapangan di Kali Gendol, pemetaan sebaran awan panas, pengukuran, pemerian, dan pengambilan contoh abu – lapili gunung api untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium. Analisis laboratorium ini meliputi petrografi untuk mengetahui komposisi mineral modal penyusun batuan gunung api, dan analisis granulometri untuk mengetahui distribusi butir awan panas terhadap jaraknya. Di samping itu, dilakukan analisis terhadap data sekunder terpilih yang terkait dengan letusan G. Merapi.



Gambar 2. Peta lokasi daerah penelitian di Kali Gendol, Kepuharjo, Cangkringan, Sleman.

2. Geologi Gunung Api Merapi

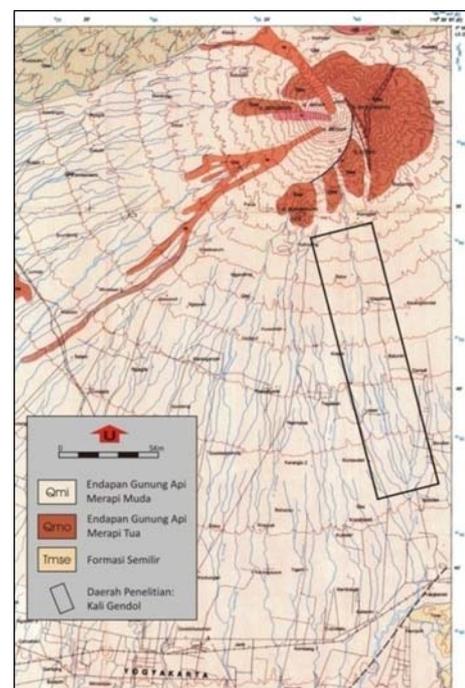
Kepulauan Indonesia dikenal sebagai tempat perbenturan 3 lempeng kerak bumi yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Samodera Pasifik dan Lempeng Samudera Hindia-Australia yang bergerak dengan kecepatan dan arah yang berbeda (le Pichon, 1968 dalam Sudrajat, 1997). Perbenturan kerak bumi menghasilkan aktivitas gunung api sebagai busur magma dan gunung api mulai dari Sumatera – Jawa – Kepulauan Banda hingga Maluku, dan zona kegempaan. Gunung api Merapi yang terletak di wilayah administrasi Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah ini merupakan gunung api teraktif dengan periode erupsi 2 – 4 tahun sebagai hasil dari perbenturan 3 lempeng tersebut.

Rahardjo, dkk., (1977) menyebutkan bahwa daerah sepanjang Kali Gendol disusun oleh endapan – endapan G. Merapi Muda berupa material piroklastika berukuran abu hingga bongkah. Sebaran endapan piroklastika dan epiklastika G. Merapi mencapai daerah sisi selatan yang bersentuhan dengan Pegunungan Selatan yang berumur jauh lebih tua (Gambar 3). Di pihak lain, Wirakusumah (1989) membagi geologi Merapi menjadi 2 kelompok besar yaitu Merapi Muda dan Merapi Tua, sedangkan Berthommier (1990) yang mendasarkan pada studi stratigrafi menyatakan bahwa, sejarah G. Merapi dapat dibagi atas 4 bagian yaitu: Pra Merapi (\pm 400.000 tahun lalu); Merapi Tua (60.000 – 8.000 tahun lalu); Merapi Pertengahan (8.000 – 2.000 tahun lalu) dan Merapi Baru (2.000 tahun lalu – sekarang), sedangkan studi stratigrafi yang dilakukan oleh Andreastuti (1999) menunjukkan bahwa G. Merapi pada masa lalu telah mengalami beberapa letusan besar, dengan indek letusan (VEI) sekitar 4 (tipe Plinian). Letusan besar terakhir (500 tahun yang lalu) menghasilkan tefra Selokopo. Sementara itu, erupsi eksplosif yang lebih kecil teramati diperkirakan terjadi pada 250 tahun lalu yang menghasilkan tefra Pasarbubar. Letusan G. Merapi yang tergolong besar pada abad ke-20 adalah letusan tahun 1930/1931 dan tahun 1961. Menurut Newhall, ahli vulkanologi dari USGS, bahwa letusan besar terjadi rata – rata sekali dalam satu abad.

Pra Merapi menunjuk pada G. Bibi yang terletak di lereng timur G. Merapi (+ 2050 m dpl.), batuanannya berkomposisi andesit basal dan umumnya telah mengalami alterasi lanjut. Merapi Tua merujuk pada fase awal pembentukan kerucut Merapi, batuan lelehan awal berupa lava berkomposisi basal yang membentuk G. Turgo dan G. Plawangan (sekitar 40.000 tahun yang lalu). Hasil kegiatannya yang lain berupa awan panas, breksi, lahar dan lava berkomposisi andesit basal. Merapi Pertengahan merujuk pada pembentukan kawah Pasarbubar, selain aliran lava berkomposisi andesit yang membangun lereng utara sebagai bukit Batulawang dan Gajahmungkur. Pada periode ini terjadi letusan eksplosif yang menghasilkan awan panas ke arah barat yang meninggalkan morfologi berbentuk bulan sabit atau tapal kuda berukuran lebar 1 – 2 km dan panjangnya mencapai 7 km. Merapi Baru merujuk pada pembentukan kerucut puncak Merapi di dalam kawah Pasarbubar atau dikenal sebagai Gunung Anyar. Letusan besar pada periode ini sebaran materialnya mencapai jarak \pm 23 km ke arah selatan hingga mengubur Candi Sambisari maupun Candi Morangan, dan mungkin Candi Prambanan (?).

Kegiatan erupsi G. Merapi tahun 2010 yang dilaporkan BPPTK sebagai berikut: karakter letusan Merapi pada umumnya diawali oleh letusan efusif disertai guguran lava. Dalam perjalanan waktu, kubah lava yang ada di puncak akan

terdorong dan menyebabkan guguran lava yang berskala besar disertai awan panas guguran. Aktivitas letusan G. Merapi kali ini berubah. Merapi meletus secara eksplosif dan membongkar kubah lava penutup yang ada di puncak. Terjadinya letusan eksplosif diperkirakan karena tersedianya energi yang besar untuk mendorong batuan penutup. Letusan eksplosif yang pertama terjadi pada 26 Oktober 2010 disertai awan panas yang meluncur ke segala arah dan lontaran lava pijar. Asap letusan berwarna kelabu tebal membumbung ke udara setinggi 5.000 m di atas puncak. Arah dominan luncuran awan panas ke sektor barat – barat daya dan sektor selatan.



Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian yang tercantum pada sebagian peta geologi regional (Rahardjo, dkk., 1977).

Pada 3 November 2010, pukul 11.11 wib. terjadi letusan yang beruntun disertai awan panas. Letusan ini berlangsung hingga pukul 13.19 wib. Pukul 14.00 terjadi guguran lava dalam skala besar. Peristiwa tersebut tidak dapat diamati karena cuaca hujan. Pukul 14.04 wib. terjadi rangkaian letusan disertai awan panas. Jarak luncur awan panas diduga mencapai jarak 10.000 m. Melihat fenomena ini, jarak daerah aman diperluas hingga radius 15 km yang semula hanya 10 km dari puncak. Pukul 14.44 wib. letusan susulan terjadi lagi disertai awan panas.

3. Dasar Teori

3.1. Awan Panas

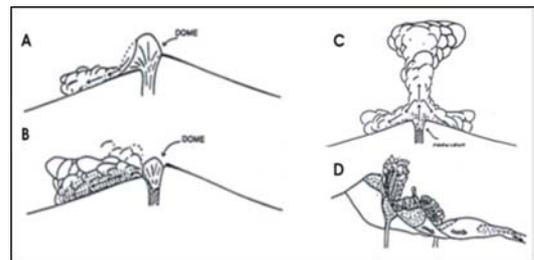
Secara umum erupsi G. Merapi dikenal secara luas sebagai Tipe Merapi yaitu terjadi karena adanya kubah lava yang terletak di bibir kawah

runtuh dan meluncur menuruni lereng tubuhnya yang sangat terjal dengan sangat cepat, bersuhu tinggi (300 – 700°C) sehingga terbentuklah awan panas atau dikenal oleh masyarakat setempat (Sleman, Yogyakarta) dengan istilah wedhus gembel. Istilah wedhus gembel diambil dikarenakan awan panas tersebut menyerupai bulu domba yang bergumpal – gumpal berwarna putih bersih. Awan panas (*Nuee Ardante, Hot Cloud, Glowing Avancance, Pyroclastic Density Current*) mempunyai sifat merusak dan mematikan pada jalur atau zona yang dilaluinya. Sifat merusak inilah yang harus selalu diwaspadai dan dipelajari untukantisipasi dan mitigasi bilamana terjadi erupsi yang diikuti terjadinya awan panas.

Awan panas dibagi menjadi empat tipe berdasarkan genesisnya yaitu awan panas Tipe Merapi, awan panas Tipe Pelee, awan panas Tipe Soufriere dan awan panas Tipe St. Helens (Gambar 4). (1) Tipe Merapi, tipe awan panas ini terbentuk karena longsor atau gugurnya kubah lava yang bertumpu di dasar kawah dengan kemiringan terjal ($\geq 45^\circ$) (van Bemmelen, 1949), sehingga dikenal sebagai awan panas longsoran atau awan panas guguran. Kubah lava dapat longsor karena berbagai faktor seperti dorongan magma dari dalam bumi; terkena guncangan gempa tektonik; masuknya air hujan kedalam rekahan – rekahankubah lava yang sangat panas, dan gaya beratnya sendiri. (2) Tipe Pelee, tipe awan panas ini terjadi bilamana magma mampu menerobos di antara batuan dinding dan sumbat lava (McDonald, 1972). Kecepatan awan panas yang terjadi pada Tipe Pelee ini dapat mencapai kecepatan 160 km/jam (Fisher & Schmincke, 1984). Awan panas ini biasanya mengalir ke arah tertentu, tetapi dapat juga menyebar ke segala arah tergantung arah dan jumlah celah yang ada diantara batuan dinding dan sumbat lava yang ada. (3) Tipe Soufriere, tipe awan panas ini terjadi karena runtuhnya kolom erupsi pada saat letusan gunung api secara tegak, sehingga sering dikenal sebagai awan panas letusan. Kecepatan awan panasnya dapat lebih dari 200 km/jam dan awan panas menyebar ke segala arah mengikuti aliran sungai yang berpola radier di lereng gunung apinya. Awan panas Tipe Soufriere ini dikenalkan oleh McDonald, (1972), dan oleh Fisher & Schmincke, (1984) sebagai awan panas Tipe St. Vincent. (4) Tipe St. Helens, tipe ini terjadi karena adanya longsoran sebagian tubuh gunung api secara sektoral sebagai akibat tekanan magma yang sangat kuat. Sebaran awan panas tipe ini cukup terarah dan jarak luncurnya bisa mencapai 30 km.

Berdasarkan mekanisme pergerakan dan ciri endapannya, awan panas dibagi menjadi awan panas aliran dan awan panas hembusan. Awan panas aliran dikenal sebagai piroklastika aliran atau *pyroclastic flow, block and ash flow, ignimbrite, dan pumice flow*. Endapan piroklastika ini

umumnya terkonsentrasi di lembah – lembah sungai atau mengikuti alur – alur sungai, berupa endapan masif, terpilah buruk, dan tidak mempunyai struktur dalam. Sementara itu, awan panas hembusan dikenal sebagai piroklastika hembusan atau *pyroclastic surge*. Awan panas ini mempunyai beberapa jenis yaitu *ground surge, ash cloud surge, dan base surge*. Endapan piroklastika ini umumnya berbutir abu (lempung – pasir), mempunyai struktur dalam berupa laminasi, silang siur bersudut landai, *dunes, pinch dan swell structures, chute dan pool*.



Gambar 4. Berbagai tipe genesis awan panas, (A) Tipe Merapi; (B) Tipe Pelee; (C) Tipe Soufriere, dan (D) Tipe St. Helens (McDonald, 1972).

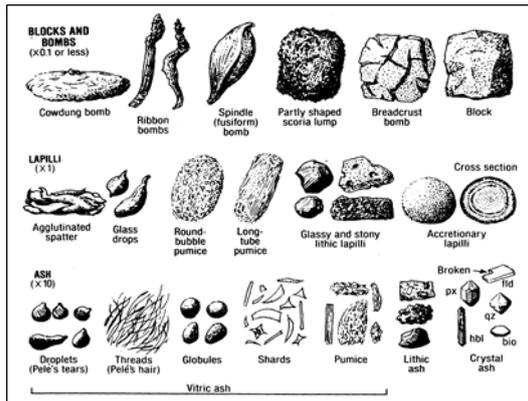
3.2. Material Awan Panas

Batuan gunung api adalah batuan yang terbentuk sebagai hasil kegiatan gunung api yang membatu secara *in situ* dan atau yang telah mengalami perombakan atau pengerjaan ulang atau deformasi. Kegiatan gunung api dapat bersifat erupsi meleleh dan erupsi meletus yang mekanisme berikutnya dapat diikuti terjadinya awan panas. Material fragmental yang dihasilkan berukuran abu – bongkah (Tabel 1), selain kandungan gas gunung api yang sangat berbahaya. Abu gunung api dapat berukuran halus (1/16 mm) dan kasar (1/16 - 2mm) yang disusun oleh massa berkomposisi gelas, kristal dan lithik, dan bilamana membatu disebut tuf, sedangkan yang berukuran lebih besar dikenal sebagai batulapili (2 – 64 mm) dan aglomerat bilamana disusun oleh bom (> 64 mm), serta breksi piroklastika bila disusun oleh blok (> 64 mm). Gambar 5 memperlihatkan berbagai bentuk dan ukuran massa padat, pecahan lepas berupa rempah gunung api.

Tabel 1. Klasifikasi material piroklastika berdasarkan ukuran butir (Le Maitre *et al*, 1989).

Clast Size (mm)	Pyroclast	Pyroclastic Deposit	
		Mainly unconsolidated; tephra	Mainly consolidated; pyroclastic Rock
> 64	<i>Block, Bom</i>	<i>Agglomerate, bed of block or bom, block tephra</i>	<i>Agglomerate, pyroclastic breccia</i>
2 – 64	<i>Lapillus</i>	<i>Layer, of bed lapilli or lapilli tephra</i>	<i>Lapillistone</i>

Clast Size (mm)	Pyroclast	Pyroclastic Deposit	
		Mainly unconsolidated; tephra	Mainly consolidated; pyroclastic Rock
1/16 – 2	Coarse ash grain	Coarse ash	Coarse (ash) tuff
< 1/16	Fine Ash grain (dust grain)	Fine Ash (dust)	Fine (ash) tuff (dust tuff)



Gambar 5. Berbagai bentuk dan ukuran material awan panas atau piroklas hasil dari suatu letusan gunung api (Comptom, 1985).

3.3. Granulometri

Granulometri dikenal sebagai analisis ukuran butir yang menggunakan alat *Mesh*, dalam makalah ini untuk mengetahui pola distribusi dari material endapan piroklastika atau sebaran material awan panasnya. Di samping itu, analisis ini dilakukan untuk mendapatkan parameter – parameter seperti *standar deviasi*, *skewness*, dan *kurtosis* (Folk dan Ward, 1957) yang bisa digunakan untuk melihat pola distribusi tersebut. Standar deviasi digunakan untuk mengetahui koefisien, bagaimana sortasi material piroklastika, dan *skewness* untuk menyatakan derajat ketidaksimetrian suatu kurva, sedangkan kurtosis menunjukkan harga perbandingan antara pemilahan bagian tengah terhadap bagian tepi dari suatu kurva.

4. Data dan Hasil Analisis

4.1. Geomorfologi

Seperti kebanyakan gunung api komposit lainnya, tubuh G. Merapi memiliki batas alas kurang lebih 50 km dan ketinggian 2.968 m di atas permukaan laut.

Untuk mengetahui arah aliran dan sebaran dari awan panas, geomorfologi menjadi hal pertama yang harus dipelajari karena arah aliran dan sebaran awan panas selalu mengikuti bentang alam yang dilewatinya. Geomorfologi yang diamati di lokasi penelitian adalah geomorfologi dari puncak G. Merapi dan morfologi K. Gendol yang merupakan daerah yang paling banyak diisi oleh material hasil erupsi G. Merapi tahun 2010.

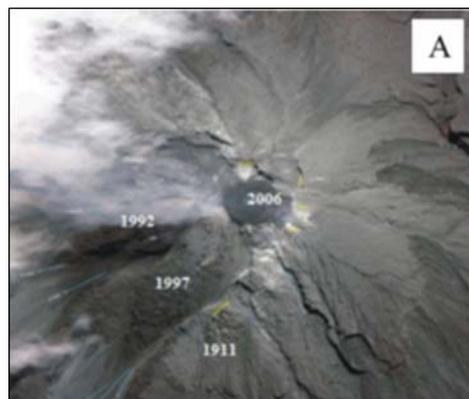
Untuk mengetahui arah aliran dan sebaran dari awan panas, geomorfologi menjadi hal pertama yang harus dipelajari karena arah aliran dan sebaran awan panas selalu mengikuti bentang alam yang dilewatinya. Geomorfologi yang diamati di lokasi penelitian adalah geomorfologi dari puncak G. Merapi dan morfologi K. Gendol yang merupakan daerah yang paling banyak diisi oleh material hasil erupsi G. Merapi tahun 2010.

Dari pengamatan geomorfologi, kondisi puncak G. Merapi telah mengalami perubahan (Gambar 6). Jika sebelumnya kawah membuka ke arah barat, akibat erupsi tahun 2006 membuka ke arah selatan – tenggara, karena puncak Geger Boyo runtuh. Di sisi lain puncak G. Merapi masih dipenuhi oleh tumpukan kubah lava. Sementara itu, erupsi eksplosif G. Merapi tahun 2010 membentuk kawah besar (\emptyset sekitar 600 meter) yang terbuka di sisi selatan – tenggaranya. Dasar kawah ini berceruk di sana sini seiring tutupan kubah lava yang tak menjangkau semua sudutnya.

Geomorfologi K. Gendol yang berhulu di puncak G. Merapi melandai ke arah selatan (Gambar 7) dan memiliki lembah sungai dengan dinding sungai berupa tebing yang sangat terjal lebih dari 70°. Di daerah hulu, kedalaman K. Gendol ini mencapai lebih dari 30 meter, sedangkan semakin ke hilir semakin dangkal dengan kedalaman berkisar antara 3 – 5 meter.

4.2. Petrografi

Untuk mengetahui persentase kehadiran mineral pada batuan produk erupsi G. Merapi tahun 2010, dilakukan analisis petrografi terhadap lava dan fragmen dari endapan awan panas yang berada di K. Gendol (Gambar 8).



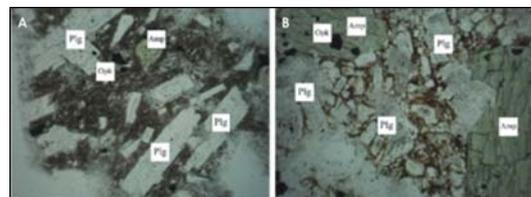


Gambar 6. Perubahan morfologi puncak G. Merapi. (A) Keadaan puncak G. Merapi setelah erupsi tahun 2006, (B) Keadaan puncak G. Merapi setelah erupsi tahun 2010. Angka menunjukkan lokasi kubah lava produk tahap letusan tertentu (BPPTK, 2007; BPPTKG, 2013).

Dari pengamatan sayatan tipis, lava yang diambil di K. Gendol berwarna abu-abu agak cerah, tekstur porfiroafanit, bentuk subhedral - anhedral, terdiri dari mineral plagioklas, amfibol, opak, yang tertanam dalam massa dasar berupa mineral plagioklas, opak, dan gelas. Plagioklas memiliki persentase 51% dengan warna putih relief rendah sampai sedang, indeks bias $n < n_{Kb}$ sampai $n > n_{Kb}$. Kembaran Karlbad Albit ($An_{34} - An_{38}$), bentuk mineral subhedral sampai anhedral. Ukuran pada fenokris 0,12 mm – 1,6 mm, pada massa dasar berukuran 0,05 mm – 0,06 mm. Sebagian telah tampak struktur zoning sebagai tanda pembekuan tidak sempurna bersamaan, dan plagioklasnya sebagian besar telah terkorosi. Terlihat penjajaran pada mineral plagioklasnya, membentuk struktur aliran. Amfibol memiliki persentase 10 % dengan warna coklat – kecoklatan, relief sedang, indeks bias $n > n_{Kb}$, pleokroisme kuat, ukuran mineral 0,15 mm sampai 0,6 mm. Bentuk mineral subhedral. Mineral opak memiliki persentase 6 % dengan warna hitam/ kedap cahaya, relief sedang, bentuk mineral subhedral sampai anhedral. Ukuran mineral 0,04 mm – 0,3 mm. Gelas memiliki persentase 33 % dengan warna keputihan – abu abu, relief rendah, pada pengamatan dengan nikol silang menjadi gelap, dan dimasukkan keping gips warnanya berubah menjadi ungu muda berkabut. Lava ini memiliki nama *andesite* (Travis, 1965).



Gambar 7. Kondisi geomorfologi K. Gendol. Dari hulu ke hilir, tebing sungai semakin landai dan kedalaman sungai semakin berkurang. (A) Titik-titik Lokasi Pengamatan geomorfologi Kali Gendol, (B) Lokasi Pengamatan 1, (C) Lokasi Pengamatan 2, (D) Lokasi Pengamatan 3.



Gambar 8. Mikrofoto sayatan tipis pada lava dan fragmen endapan awan panas hasil erupsi G. Merapi tahun 2010 dalam pengamatan PPL. (A) Lava andesit G. Merapi 2010, (B) Fragmen endapan awan panas. Plg = plagioklas, Amp = amfibol, Opk = opak.

Pengamatan sayatan tipis terhadap fragmen endapan awan panas yang juga diambil di Kali Gendol dicirikan dengan warna abu - abu keputihan, tekstur porfiroafanit. Ukuran fenokris 0,15 mm – 1,7 mm, bentuk subhedral, terdiri dari mineral plagioklas, hornblenda, dan opak yang tertanam dalam massa dasar berupa mineral plagioklas, opak, dan gelas. Plagioklas memiliki persentase 48 % dengan warna putih, relief rendah sampai sedang, indeks bias $n < n_{Kb}$ sampai $n > n_{Kb}$, Kembaran Karlbad Albit (An30 – An40), bentuk mineral subhedral sampai anhedral, ukuran pada fenokris 0,15 mm -0,3 mm, pada massa dasar berukuran 0,05 mm – 0,1 mm. Amfibol memiliki persentase 24% dengan warna coklat – kecoklatan, relief sedang, indeks bias $n > n_{Kb}$, pleokroisme kuat, ukuran mineral 0,15 mm sampai 1,7 mm, bentuk mineral subhedral. Mineral opak memiliki persentase 1% dengan warna hitam/ kedap cahaya, relief sedang, bentuk mineral subhedral sampai anhedral, ukuran mineral 0,04 mm – 0,2 mm. Gelas memiliki persentase 27% dengan warna keputihan – abu abu, relief rendah, pada pengamatan dengan nikol silang menjadi gelap, dan dimasukkan keping gips warnanya berubah menjadi ungu muda berkabut.

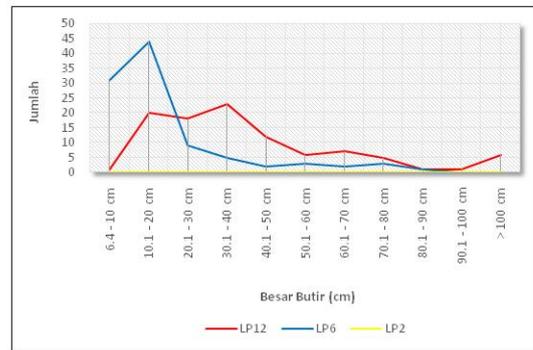
Di pihak lain, Preece, *et al.* (2013) menyimpulkan bahwa lava G. Merapi tahun 2006 dan 2010 tidak terjadi perubahan komposisi mineral yaitu tersusun oleh mineral amfibol dan plagioklas tertanam dalam masa dasar berupa plagioklas, opak dan gelas.

4.3. Geokimia

Borisova, *et al.* (2013) melakukan analisis geokimia terhadap endapan piroklastika aliran hasil erupsi merapi 2010 di Kali Gendol, sedangkan Preece *et al.* (2013) melakukan analisis geokimia terhadap skoria hasil erupsi G. Merapi tahun 2006. Hasilnya berupa oksida utama SiO₂ 54,85 – 55,88 % berat dan K₂O 2,13 – 2,02 % berat, berkomposisi andesit basal yang berasal dari magma berkomposisi kapur alkali. Di pihak lain, Kadarsetia *et al.* (2010) menyatakan bahwa petrologi G. Merapi dari tahun 1883 – 2010 tidak mengalami perubahan komposisi yang berarti yaitu andesit basal dari magma berkomposisi kapur alkali.

4.4. Granulometri

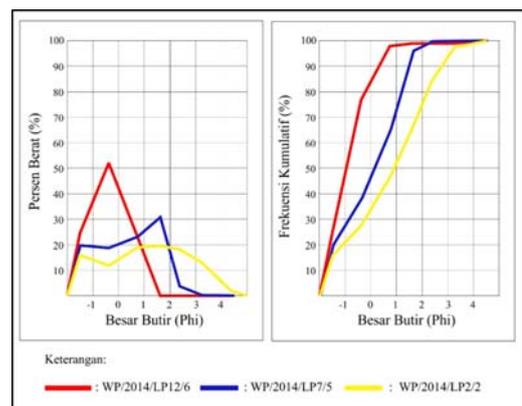
Analisis ini dilakukan terhadap material awan panas yang berukuran bom-blok (≥ 64 mm) yaitu dengan cara mengukur besar butir dari 100 fragmen secara acak yang terdapat pada singkapan pada LP12, LP7 dan LP2. Kemudian data dikelompokkan berdasarkan *range* ukuran butirnya dan dibuat kurva jumlah material yang terdapat pada setiap *range* besar butirnya (Gambar 9) sehingga bisa dilihat sebaran besar butir material awan panas berukuran bom - blok.



Gambar 9. Kurva jumlah material awan panas berukuran bom – blok di tiga lokasi.

Grafik tersebut memperlihatkan adanya perubahan distribusi material awan panas dari hulu ke hilir. Semakin mendekati pusat erupsi, material endapan awan panas yang ditemukan semakin berukuran besar, sedangkan material endapan awan panas yang menjauhi pusat erupsi semakin halus.

Hasil analisis granulometri terhadap material endapan awan panas berukuran abu –lapili didapat parameter – parameter berupa *standar deviasi*, *skewness*, dan *kurtosis* yang bisa digunakan untuk melihat pola distribusi endapan awan panas tersebut. Lokasi sampel diwakili bagian atas, tengah dan bawah dari Kali Gendol yaitu sampel WP/2014/LP12/6, WP/2014/LP7/5, dan WP/2014/LP2/2. Dari hasil ayakan analisis granulometri dibuat tabulasi dan kurva frekuensi dan kurva kumulatif (Gambar 10) dan menunjukkan distribusi besar butir seperti Tabel 2.



Gambar 10. Hasil analisis granulometri material awan panas G. Merapi 2010 berukuran abu – lapili. Kiri: kurva frakuensi, kanan: kurva frekuensi kumulatif.

berbeda dengan tipe letusan tahun – tahun sebelumnya. Erupsi tahun 2010 memperlihatkan tipe letusan vertikal/ kolom (± 4 km) dan menghasilkan banyak material pijar berbagai ukuran atau dikenal sebagai piroklastika. Letusan tipe Merapi sebelumnya dihasilkan dari runtuhnya/ guguran kubah lava yang menyumbat kawah di puncak G. Merapi dan arah sebaran awan panasnya mengarah sektoral relatif ke arah barat – selatan atau ke arah daerah Magelang, Muntilan dan Kulonprogo, sedangkan erupsi 2010 arah sebaran piroklasnya menyebar di sekeliling kawah dan sektoral relatif ke arah selatan – tenggara atau ke arah wilayah Sleman dan Prambanan setelah tameng Gegerboyo terbongkar. Material letusan vertikalnya menyebar melingkar meliputi Salatiga, Boyolali, Semarang, Purworejo, Gunungkidul, dan Klaten. Oleh sebab itu, dampak yang ditimbulkan jauh lebih luas karena daerah cakupan yang terlanda bahaya primer dan sekunder hingga puluhan kilometer, dan selebihnya karya warga masyarakat hancur, bahkan ratusan jiwa manusia meninggal. Di samping hal itu, terjadi perubahan peta rawan bencana Merapi yaitu sebelumnya bersifat sektoral ke suatu arah tertentu, sekarang berubah menjadi berbentuk melingkar untuk daerah rawan bencana 1, 2 dan 3 dalam radius puluhan kilometer.

Hasil analisis geomorfologi menunjukkan adanya perubahan arah bukaan dan bentuk kawah di bagian puncak G. Merapi. Diameter kawah mencapai ratusan meter sebagai hasil kegiatan letusan vertikal dan menggambarkan bahwa letusan 2010 lebih kuat dibanding sebelumnya. Pemahaman ini membawa kita atau instansi penanggulangan bencana terkait untuk memetakan daerah bencana G. Merapi ke arah selatan – tenggara khususnya di sepanjang Kali Gendol dan Kalo Woro atau Kota Yogyakarta pada umumnya. Hal ini terkait dengan penanggulangan bencana Merapi ke depannya, termasuk di dalamnya program sosialisasi, simulasi, pendanaan, evakuasi warga masyarakat, pembangunan infrastruktur dll. oleh pemerintah yang kemungkinan kena dampaknya.

Di sisi lain, semburan atau terjangan awan panas tidak hanya berupa dampak temperatur yang tinggi tetapi juga material pijar yang terbawa dalam olakan bergulung – gulung (wedhus gembel) berbagai ukuran. Secara topografi tampak melandai relatif ke arah selatan dan material piroklas berukuran besar terkonsentrasi di daerah dekat puncak seperti yang tergambar dalam grafik jumlah material dan dalam grafik frekuensi kumulatifnya. Hal ini menunjukkan bahwa energi pembawa piroklas berkurang normal sejalan dengan

menjauhnya massa awan panas dari pusat kawah G. Merapi. Pemikiran tersebut sejalan dengan pendapat Bronto (1996) bahwa sebaran endapan awan panas yang terdiri dari material campuran abu sampai bongkah gunung api sangat dipengaruhi oleh banyaknya material tersebut, gravitasi, dan morfologi daerah yang dilewatinya, sedangkan endapan awan panas berbutir halus lebih dikontrol oleh energi hembusan, ekspansi gas dan arah serta kekuatan angin saat terjadi letusan.

Analisis petrografi menunjukkan lava 2010 dan pecahannya berkompposisi andesit basal, sementara itu lava 2006 juga berkompposisi andesit basal. Hasil analisis batuan produk erupsi 2010 oleh Borisova, *et al.* (2013) dan Preece *et al.* (2013) juga menunjukkan komposisi yang sama dan menyebutkan kedua batuan tersebut berafinitas kapur alkali. Lebih jauh lagi, Kadarsetia *et al.* (2010) menyatakan bahwa sejak abad 18 komposisi magma Merapi tidak mengalami perubahan yang signifikan. Artinya, perilaku erupsi G. Merapi relatif sama dan tidak meningkat indek letusannya ($VIE < 3$) dalam waktu yang cukup lama. Hal ini juga tercermin dari kandungan SiO_2 berkisar antara 53 – 56 % berat dan mineral yang terbentuk berupa amfibol dan plagioklas berkompposisi menengah.

Indek letusan gunung api sedikitnya berhubungan dengan komposisi magma dan waktu istirahatnya, namun di sisi lain berpengaruh pada jarak luncur awan panas, dan secara khusus mempengaruhi aspek sosial ekonomi budaya terhadap pemerintah daerah yang terkena bencana. Jarak luncur terjauh akibat letusan 2010 mencapai 15,43 km yaitu di daerah cagar budaya Candi Morangan. Bagaimana dengan letusan pasca 2010? Pertanyaan tersebut tidak mudah dijawab, namun berdasarkan pemahaman perilaku erupsi G. Merapi dan berbagai aspek geologi gunung api yang menyertainya menunjukkan bahwa bencana letusan G. Merapi tetap terjadi dengan waktu selang dari 1 – 7 tahun, jarak luncur awan panas tidak melebihi 20 km bilamana tidak ada perubahan komposisi magma secara signifikan atau jauh lebih asam. Arah luncuran jelas mengarah ke selatan – tenggara sesuai dengan arah bukaan kawah sebagai hasil letusan 2010. Untuk itu, diharapkan masyarakat yang masih tinggal di daerah rawan bencana dan daerah di sekitar aliran Kali Gendol lebih waspada dan atau menjalani relokasi ke daerah yang jauh lebih aman. Hal ini mengingat material letusan 2010 sangat melimpah, jarak luncur awan panas mencapai 15 km, kerugian material besar, dan menelan korban manusia sangat banyak.

6. Kesimpulan

Berdasarkan uraian di muka, maka dapat diambil kesimpulan terkait dengan prediksi ancaman bahaya letusan G. Merapi pada waktu mendatang adalah kegiatan erupsi G. Merapi tetap berlangsung dengan waktu selang 1 – 7 tahun; indek letusan gunung api tidak melebihi angka 3 karena komposisi magma relatif sama (andesit basal) dalam kurun waktu yang sangat lama; jarak luncur awan panas tidak melebihi 20 km dari puncak G. Merapi, tercermin dari hasil pemetaan sebaran awan panasnya, dan arah luncuran atau sebaran awan panas mengarah ke selatan – tenggara mengikuti arah bukaan kawah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan DIKTI yang telah mendanai penulis melakukan riset dosen pemula 2014 dan penggunaan data untuk publikasi makalah ini. Ucapan terima kasih ditujukan pula kepada Ketua STTNAS dan Ketua Jurusan Teknik Geologi yang telah mengijinkan peneliti melakukan penelitian bersama mahasiswa.

Daftar Pustaka

- Andreastuti, S.D., 1999, *Stratigraphy and Geochemistry of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia: Implication for Assessment of Volcanic Hazards*, Unpublished thesis (PhD--Geology)--University of Auckland.
- Berthommier, P.C., 1990, *Etude volcanologique du Merapi (Centre - Java) Te'phrostratigraphi eechronologie-mecanismes eruptifs*. Unpublished thesis, University of Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- Borisova, A.Y., Martel, C., Gouy, S., Pratomo, I., Sumarti, S., Toutain, J., Bindeman, I.N., Parseval, P., Metaxian, J.P., Suroño, 2013, *Highly explosive 2010 Merapi eruption: Evidence for shallow-level crustal assimilation and hybrid fluid*, Journal of Volcanology and Geothermal Research 261 (2013) 193–208.
- Bronto, S., Sayudi, D.S., dan Hartono, G., 1996, Variasi Luncuran Awan Panas Gunung Api Merapi dan Bahayanya, Proseed. 25th Ann. Conv. IAGI, Bandung, pp.266-267.
- Comptom, R.R., 1985, *Geology in the field*, John Wiley & Sons, 398p.
- Fisher, R.V. & Schmincke, H.M., 1984, *Pyroclastic Rocks*, Springer-Verlag, Berlin, 472 hal.
- Folk R.L. & Ward W.C., 1957, Brazos river bar : a study of significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*. 27 : 3-26
- Kadarsetia, E., Hirabayashi, J., Ohba, T. Nogami, K. 2010, The behaviour of fluorine, chlorine, and sulphur in the magma of Merapi Vulcano Central Java –Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 1 No. 3 Desember 2010: 183 - 198
- Le Maitre, R.W, Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., 1989, *Classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the international union of geological sciences subcommision on the systematic of igneous rock*, Blackwell scientific pub. Oxford.
- MacDonald, A.G., 1972, *Volcanoes*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, p.510.
- Preece, K., Barclay, J., Gertiser, R., dan Herd, R.A., 2013, Textural and micro-petrological in the eruptive products of the 2006 domes-forming eruption of Merapi volcano, Indonesia: Implication of sub-surface processes, *JVGR*, 261, 98-120.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H. M. D., 1977, Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000, *Direktorat Geologi*, Bandung.
- Sudradjat, A., 1997, *Aplikasi Ilmu Pengetahuan Kegunungapian Dalam Eksplorasi Sumberdaya Mineral di Indonesia*, Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam ilmu vulkanologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran, Bandung, 44 p.
- van Bemmelen, 1949, *The geological of Indonesia*, vol. 1A, Martinus Nijhoff, the Hague, 732h.
- Williams and Mac Birney, 1979, *Volcanology*, Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 397 p.