

VOLKANISME DAN SEBARAN BAHAN NON HAYATI DI PEGUNUNGAN SELATAN YOGYAKARTA

Hill. Gendoet Hartono¹, Setyo Pambudi¹, Muh. Arifai², Ari Yusliandi T.², dan Sigit Agung P.²

¹Staf dosen Teknik Geologi STTNAS, Yogyakarta

²Mahasiswa Teknik Geologi STTNAS, Yogyakarta

email: hilghartono@sttnas.ac.id dan hilghartono@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pegunungan Selatan Yogyakarta terletak melampar memanjang berarah barat – timur di bagian selatan Pulau Jawa bagian tengah. Pegunungan Selatan, selain disusun batuan sedimen karbonat dan silisiklastika, disusun melimpah lava koheren dan piroklastika. Kelimpahan batuan gunung api ini mendukung keterdapatannya bahan – bahan non hayati berupa logam dan non logam.

Tujuan makalah ini adalah mengetahui peran vulkanisme terhadap lokasi/ sebaran bahan non hayati di Pegunungan Selatan Yogyakarta. Metode pendekatan yang dilakukan adalah melakukan pemetaan geologi permukaan dan analisis laboratorium batuan. Bentang alam Pegunungan Selatan yang disusun oleh batuan gunung api umumnya ber relief kasar bergelombang dengan ketinggian antara + 100 m dpl hingga mencapai di atas + 600 m dpl diwakili tinggian G. Baturagung (+ 686 m dpl) di bagian barat dan G. Gajahmungkur (+ 665 m dpl) di bagian timur. Litologi asal gunung api yang menyusun Pegunungan Selatan Yogyakarta berkomporsi basal – riolit menunjuk pada keberadaan pusat erupsi gunung api purba Parangtritis, Imogiri, Pilang, Karangdowo, Patuk, Bayat, Tenong, Panggung, dan Wediombo. Formasi batuan yang terkait dengan alterasi – mineralisasi adalah Formasi Mandalika, dan Formasi Wuni. Lokasi terjadinya pengkayaan bahan non hayati yang sementara dapat dikaji meliputi daerah Wonogiri dan Wediombo.

Hasil analisis laboratorium di dua lokasi tersebut menunjukkan kandungan logam dan non logam bernilai ekonomi. Keberadaan mineral vulkanogenik ini menunjukkan adanya peran vulkanisme terhadap sebaran pengkayaannya.

Kata kunci: Pegunungan Selatan, non hayati, vulkanogenik, gunung api.

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia mempunyai banyak gunung api, baik yang berumur masa kini (Kuartar) maupun yang berumur masa lampau (Tersier). Gunung api – gunung api tersebut berstatus aktif hingga dinyatakan sudah mati, dan gunung api ini tersebar di seluruh kepulauan Indonesia, mulai dari Sabang di ujung barat laut sampai dengan Irian Jaya di bagian timur. Gunung api yang hidup pada masa kini digolongkan sebagai gunung api aktif, sedangkan gunung api yang sudah mati digolongkan sebagai gunung api purba karena kegiatannya berlangsung antara 10.000 tahun sampai dengan puluhan juta tahun yang lalu.

Geologi Pegunungan Selatan telah dipelajari oleh banyak ahli geologi dan umumnya mengacu pada pemenuhan tata cara litostratigrafi (misal: Suroso dkk., 1992; Rahardjo dkk., 1977). Di pihak lain, Bronto dkk., (1994) dan Hartono (2000) menyatakan bahwa Pegunungan Selatan disusun oleh batuan gunung api yang cukup melimpah melampar dari barat (Parangtritis) ke timur (Wonogiri). Sementara itu, penambangan mineral bernilai ekonomi banyak dilakukan di daerah yang dibangun oleh batuan gunung api (misal: di G. Gajahmungkur, Wonogiri; dan Wediombo, Gunungkidul) yang dikuasai oleh

batuan efusif maupun batuan intrusi dangkal. Hal inilah yang menjadikan pertanyaan mendasar bahwa apakah distribusi keberadaan mineral non hayati yang bernilai ekonomi tersebut berhubungan dengan vulkanisme yang terjadi pada masa lampau. Menurut Hartono (2000), daerah – daerah yang dikuasai oleh batuan gunung api tersebut diperkirakan sebagai bekas gunung api purba.

Mineral non hayati dapat berupa mineral logam, seperti emas, perak, bijih besi, nikel, kobalt, krom dan tembaga, atau mineral non logam, contohnya kaolin, feldspar, zeolit dan posfat. Selain itu, akibat proses alterasi di daerah gunung api purba dapat terbentuk berbagai jenis batu mulia yang dimanfaatkan untuk perhiasan dan cinderamata. Namun demikian penelitian tentang kegiatan gunung api masa lalu dan pembentukan mineral vulkanogenik tersebut belum dilakukan secara terperinci.

Daerah penelitian yang menjadi pokok pembahasan terletak di sebelah selatan kota Yogyakarta hingga ke timur di sebelah selatan kota Surakarta (Gambar 1). Lebih fokus lagi pada tinggian – tinggian yang secara geologi gunung api diperkirakan sebagai bangunan sisa tubuh gunung api purba. Berdasarkan hasil penelitian geologi gunung api selama ini, kajian umur batuan gunung api yang telah

dilakukan para peneliti terdahulu (misal: Soeria-Atmadja dkk., 1994) diketahui bahwa batuan hasil kegiatan gunung api yang membangun Pegunungan Selatan berumur Tersier (2 - 60 jtl.).



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian di Pegunungan Selatan, Yogyakarta-Jawa Tengah.

Makalah ini bertujuan untuk menjelaskan asal usul keberadaan gunung api purba di Pegunungan Selatan Yogyakarta dan Jawa Tengah yang terkait dengan penyebaran mineral non hayati. Metode pendekatan yang dilakukan adalah melakukan pemetaan geologi permukaan dan analisis laboratorium batuan. Pemetaan geologi permukaan terkait dengan keberadaan pusat – pusat erupsi gunung api purba dipandu oleh citra SRTM, peta topografi (RBI), dan peta geologi lembar Surakarta – Giritontro (Suroso dkk., 1992) dan lembar Yogyakarta (Rahardjo dkk., 1977). Untuk melokalisir atau mengidentifikasi gunung api beserta sebaran tubuhnya diperlukan penelitian geologi terpadu, yaitu meliputi bentang alam (mengacu gunung api moderen), stratigrafi (Martodjojo dan Djuhaeni, 1996) dan struktur geologi, sedangkan untuk merekonstruksi geologi bawah permukaan dapat menggunakan bantuan ilmu geofisika. Sementara itu, analisis laboratorium terkait dengan pembuktian adanya kandungan mineral non hayati yang bernilai ekonomi.

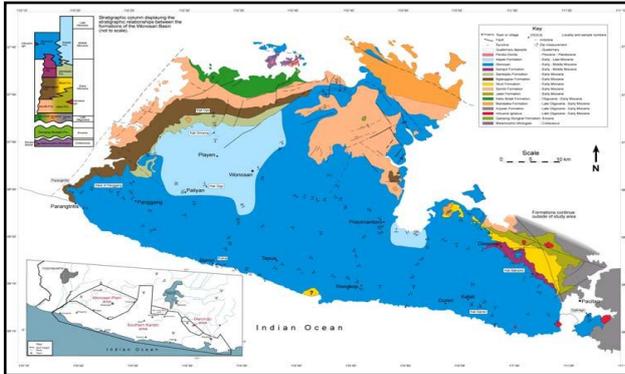
Geologi Umum

Zona Pegunungan Selatan Yogyakarta dan Jawa Tengah (van Bemmelen, 1949) umumnya tersusun oleh batuan gunung api berumur Tersier atau lebih dikenal sebagai Formasi Andesit Tua. Selain itu, Zona Pegunungan Selatan yang tersusun oleh batuan dasar gunung api membentuk daerah tinggian dengan morfologi kasar, sedangkan yang disusun oleh batugamping membentuk morfologi kars. Hal ini secara fisiografi memberi gambaran adanya perbedaan fisik yang berhubungan dengan genesisnya. Sehingga secara khusus Zona Pegunungan Selatan Yogyakarta dan Jawa Tengah berkaitan erat dengan kegiatan magmatisme dan volkanisme, dan di sisi lain berkaitan dengan kegiatan organisme yang berkembang di laut. Di sebelah utara Zona Pegunungan Selatan Yogyakarta dan Jawa Tengah ini berkembang morfologi Kuartar produk G. Merapi di sebelah barat, dan G. Lawu di timur.

Penelitian geologi, terutama stratigrafi Pegunungan Selatan telah banyak dilakukan antara lain oleh: Bothe (1929), van Bemmelen (1949), Rahardjo, dkk., (1977), Suroso, dkk., (1992), dan Samodra, dkk., (1992). Penelitian tersebut melaporkan adanya beberapa kelompok batuan malihan, batuan beku, batuan gunung api, batuan sedimen, dan batuan karbonat yang menyusun Zona Pegunungan Selatan Yogyakarta dan Jawa Tengah. Secara umum, bagian utara disusun oleh batuan beku dan gunung api, sedangkan bagian selatan disusun oleh batuan karbonat. Namun, secara khusus di bagian timurlaut wilayah ini terdapat daerah yang disusun oleh batuan-batuan dari Formasi Mandalika (warna oranye) yang penyebarannya terbatas dan bagian dalamnya dijumpai batuan intrusi berkomposisi andesit hingga diorit dari kungkungan perlapisan batuan gunung api (Gambar 2).

Batuan beku yang menyusun Zona Pegunungan Selatan Yogyakarta dan Jawa Tengah terdiri dari batuan beku intrusi dalam (plutonik) dan batuan beku intrusi dangkal (sub gunung api) berupa *sill*, dan retas. Kedua kelompok batuan tersebut mempunyai komposisi beragam mulai dari yang bersifat basa hingga asam.

Selain itu, terdapat kelompok batuan yang pelamparannya cukup luas yaitu batuan gunung api. Kelompok batuan ini terdiri dari batuan produk lelehan dan letusan gunung api. Batuan produk lelehan gunung api berupa aliran lava dan atau breksi autoklastika,



Gambar 2. Peta geologi regional Pegunungan Selatan lembar Yogyakarta dan Surakarta - Giritontro (Rahardjo, dkk., 1977; Surono, dkk., 1992, dan Samodra, dkk., 1992 dalam Lokier, 1999).

Hubungan stratigrafi antara batuan di daerah Pegunungan Selatan batuan beku intrusi terletak pada lokasi yang sama atau berdekatan dengan batuan gunung api “endapan turbidit”; bahkan dalam banyak hal “endapan turbidit” tersebut diterobos oleh batuan beku intrusi. Selain itu “endapan turbidit” tersusun oleh selang-seling antara aliran lava/ batuan beku luar dan breksi gunung api yang banyak

Batuan beku intrusi menunjukkan bahwa lokasi tersebut sebagai busur magma berumur Tersier dan mengindikasikan magma membeku di dalam bumi (Soeria-Atmadja, dkk., 1994; Sutanto, dkk., 1994). Namun, kedua penulis tersebut tidak menyinggung hubungan batuan intrusi dengan batuan gunung api di sekitarnya. Pernyataan busur magma di bagian dalam bumi tentunya diterjemahkan pula sebagai busur gunung api di permukaan bumi. Hal inilah yang kemungkinan menyebabkan keberadaan tubuh gunung api di permukaan bumi menjadi kabur.

Geologi Gunung Api dan Mineralisasi

sedangkan produk letusan berupa breksi gunung api (breksi piroklastik), breksi lapili tufan, tuf, dan breksi pumis tufan. Komposisi batuan gunung api tersebut beragam mulai dari basal hingga dasit.

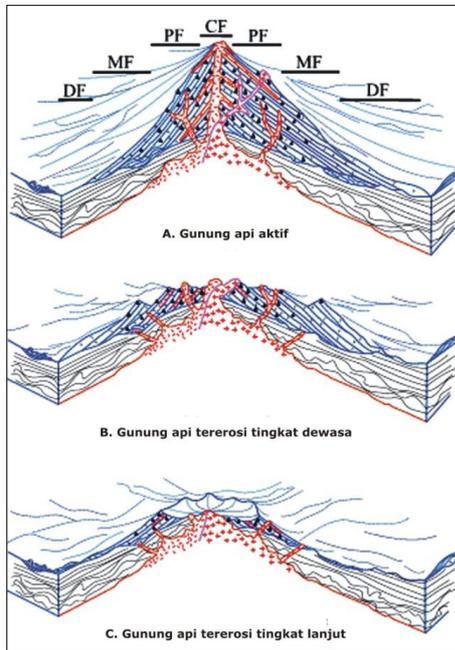
mengandung bom & blok gunung api serta tuf. Batuan beku intrusi maupun batuan gunung api “endapan turbidit” di sini mempunyai ciri-ciri petrologi terutama litologi dan mineralogi sama, hanya tekstur dan struktur saja yang membedakan. Hal ini menunjukkan adanya hubungan genesis yang erat diantaranya.

Struktur geologi yang berkembang di sepanjang memanjangnya Pulau Jawa tidak terlepas dari dinamika pergerakan lempeng Hindia-Australia dari arah selatan ke utara dengan kecepatan $\pm 5-7$ cm/tahun. Pulunggono dan Martodjojo, (1994) menyatakan adanya pola struktur sebagai respon tegasan utara – selatan terhadap keberadaan Pulau Jawa yaitu pola Jawa, pola Sumatera, dan pola Meratus. Pola Jawa berarah barat-timur; pola Sumatera berarah barat laut-tenggara, dan pola Meratus berarah timurlaut-baratdaya. Struktur geologi ini dipercaya sebagai arsitek tunggal terhadap kemunculan gunung api masa lampau maupun masa kini, termasuk di dalamnya sebaran sumber daya mineralnya.

Selain respon tektonik yang tercermin pada pola-pola kelurusan struktur geologi di atas, juga ditunjukkan oleh adanya batuan beku intrusi di Pegunungan Selatan.

Williams & MacBirney (1979); Vessel & Davies (1981); Bogie dan Mackenzie, (1998) membagi batuan gunung api ke dalam 4 litofasies yaitu: (1) *vent facies/central facies*, dicirikan oleh kubah lava, tubuh-tubuh intrusi dangkal (*radial dikes, dike swarms, sills, cryptodomes, volcanic necks*), batuan/mineral alterasi epitermal dan hidrotermal, berbagai *xenolith* batuan beku dan batuan metasedimen-metamorf serta breksi autoklastika pada bagian atas atau luar tubuh intrusi dangkal; (2) *proximal facies* dicirikan oleh aliran lava, breksi/aglomerat jatuhan piroklastika dan breksi/aglomerat aliran piroklastika; (3) *medial facies* dicirikan oleh tuf lapili baik jatuhan maupun aliran piroklastika, tuf dan breksi lahar; (4) *distal facies* dicirikan oleh adanya batuan gunung api hasil pengerjaan ulang

berupa: breksi lahar, konglomerat, batupasir, batulanau dan batulempung (Gambar 3).



Gambar 3. Fasies gunung api (dikembangkan dari Vessel & Davies, 1981; dalam Hartono, 2000). CF=fasies pusat, PF=fasies proksi, MF=fasies medial, DF=fasies distal.

Naik dan keluarnya magma ke permukaan bumi hampir selalu berada di fasies sentral suatu gunung api (Hartono & Ildrem, 2007). Magma itu berupa batuan pijar yang cair-kental, bersuhu tinggi ($\pm 900^{\circ}\text{C} - 1200^{\circ}\text{C}$) dan terbentuk di dalam bumi. Dalam pergerakannya ke permukaan bumi, baik benar-benar ke luar di permukaan bumi maupun hanya menerobos batuan di dalam kulit bumi magma selalu memancarkan panas, gas serta cairan sisa ke dalam batuan dinding yang mengandung air bawah permukaan. Gas magma atau sering disebut gas gunung api itu antara lain: H_2S , H_2SO_4 , HCl , CO dan CO_2 . Interaksi antara panas magma yang tinggi, gas gunung api, cairan sisa magma dengan air bawah permukaan bumi akan mengakibatkan perubahan (alterasi) hidrotermal terhadap batuan gunung api di fasies pusat mulai dari dapur magma sampai dengan kawah/ kaldera gunung api. Semakin sering dan lama proses interaksi tersebut serta melibatkan volume

magma yang besar maka alterasi hidrotermal juga semakin kuat. Proses alterasi itu memungkinkan terbentuknya endapan mineral asal kegiatan magma atau gunung api (*volcanogenic mineral deposits*) secara primer baik berupa mineral logam maupun mineral non logam. Berhubung cairan sisa magma dan gas gunung api banyak mengandung belerang (sulfur) maka unsur-unsur logam akan terikat oleh unsur belerang sehingga membentuk endapan mineral sulfida seperti, galena (PbS), kalkopirit (CuFeS_2), barit (BaSO_4) dll. Indikasi adanya mineral ubahan hidrotermal mungkin dapat dijumpai di permukaan bumi tetapi mungkin pula harus dilakukan penyelidikan bawah permukaan.

Westerveld (1952, dalam Sudradjat, 1997) menyatakan bahwa jalur-jalur atau busur-busur magmatisme yang mencakup seluruh wilayah Indonesia sebagai dasar untuk eksplorasi mineral logam dasar. Westerveld dengan konsep cekungannya mencoba merekonstruksi jalur-jalur magmatisme menjadi Orogen Sunda, Orogen Malaya, Orogen Sumatra, Zona Nugini Utara-Halmahera, Orogen Maluku, dan Kompleks Emboluh (Kalimantan). Di pihak lain, Carlile & Mitchell (1994), mengidentifikasi sebanyak 15 busur magmatisme yang berpotensi membawa cebakan mineral dasar yaitu: Busur magmatisme Sumatra-Meratus, Sunda-Banda, Aceh, Kalimantan Tengah, Sulawesi-Mindanao Timur, Halmahera Tengah, Irian Jaya, Schwaner, Paparan Sunda, Borneo Baratlaut, Talaut, Sumba-Timor, Moon-Utawa, Halmahera Utara dan pedataran (utara) Irian Jaya.

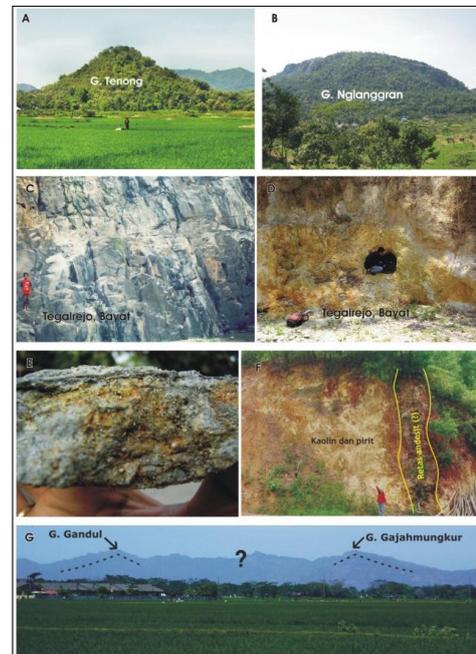
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembelajaran bentang alam gunung api kerucut moderen (misal: G. Merapi) sudah tidak tampak lagi pada bentang alam gunung api purba di Zona Pegunungan Selatan. Namun, berdasarkan kajian bentang alam melalui hasil tumpang tindih antara peta topografi, peta geologi, citra SRTM dan penelitian langsung di lapangan menunjukkan atau dapat diidentifikasi keberadaan bentang alam sisa tubuh gunung api purba di daerah penelitian.

Penelitian langsung di lapangan menunjuk pada bentang alam, litologi penyusun, dan struktur geologinya. Bentang alam sisa gunung api tua memberi kesan kerucut seperti diperlihatkan oleh pasangan sayap-sayap yang masih nampak simetris (misal: G. Gajahmungkur, G. Baturagung, dan G. Pilang). Di pihak lain, stratigrafi tinggian – tinggian yang dicurigai sebagai sisa tubuh gunung api tua dibangun oleh batuan gunung api berupa lava dan batuan intrusi dangkal berkomposisi basal – andesit basal – andesit – dasit. Batuan beku tersebut menempati Fasies Pusat dan Fasies Proksimal gunung api, dan umumnya telah mengalami alterasi hidrotermal dan termineralisasi. Pada kedua fasies tersebut sering dijumpai adanya penggalan sumber daya alam non hayati. Sementara itu, data struktur geologi sering memperlihatkan bahwa ujung sayap bagian dalam mempunyai lereng lebih terjal dibanding ujung sayap yang menjauhi sumber erupsi, di samping mencerminkan kemiringan batuan menyebar radier menjauhi sumber erupsi purbanya. Kemiringan batuan tersebut merupakan kemiringan awal yang dikontrol oleh proses magmatisme dan volkanisme setempat dalam perjalanannya membangun tubuh gunung api purba (Gambar 4).

Batuan penyusun yang menguasai suatu tinggian mencerminkan jenis dan perilaku gunung api yang menghasilkannya. Hal ini menunjukkan jenis gunung api seperti Gumuk, Khuluk, dan Kaldera. Di sisi lain, perilaku gunung api menunjukkan siklus pembangunan ataupun siklus penghancuran terhadap bangunan tubuhnya sendiri. Pemahaman hal tersebut memberikan pengertian tentang sebaran batuan dan atau sejauh mana batuan yang dihasilkannya diendapkan, terutama batuan lelehannya terlepas dari struktur geologi yang bekerja. Sebagai contoh tinggian Gajahmungkur, hasil rekonstruksi terhadap unsur-unsur utama geomorfologi gunung api memperlihatkan adanya massa batuan gunung api yang hilang. Massa batuan gunung api Identifikasi terhadap unsur – unsur gunung api yang telah disebut sebelumnya menghasilkan deleniasi daerah atau lokasi – lokasi yang dipercaya sebagai sisa tubuh gunung api sebagai Fasies Pusat dan Fasies Proksimal. Sebaran lokasi pusat erupsi gunung api purba yang dapat diidentifikasi meliputi

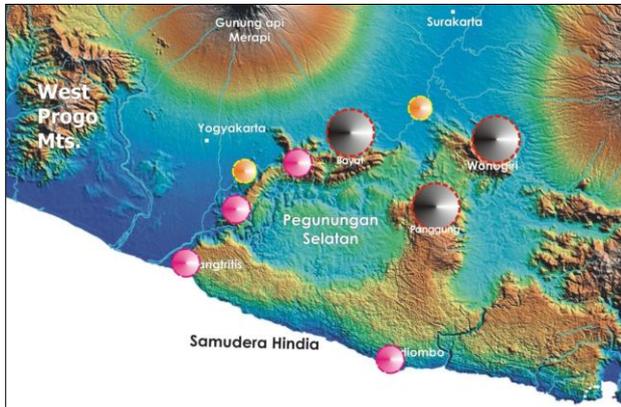
tersebut merupakan produk fase konstruksi kerucut gunung api. Fase konstruksi terdiri dari perselingan antara batuan hasil kegiatan lelehan dan letusan gunung api. Kemudian diikuti oleh fase destruksi yang ditunjukkan oleh pembentukan kaldera Gajahmungkur (Hartono, 2007; Hartono & Mulyono, 2007). Artinya, setelah melalui fase konstruksi dan menjalani masa istirahat yang panjang, gunung api ini aktif kembali dengan letusan yang sangat dahsyat membongkar tubuh kerucut gunung api dan membentuk kaldera. Secara petrologi – gunung api, letusan dahsyat gunung api yang diikuti pembentukan kaldera dicirikan oleh batu pumis. Magma yang mengalami proses diferensiasi tingkat lanjut berhubungan dengan energi letusan dan komposisi batuan (asam) yang dihasilkan.



Gambar 4. Kriteria untuk mengidentifikasi sisa tubuh gunung api tua: a) bentang alam kerucut simetri; b) bentang alam kubah; c) lava dan intrusi dangkal; d) batuan teralterasi; e) batuan termineralisasi; f) retas dan alterasi, dan g) struktur sayap simetri.

gunung api purba Parangtritis, Imogiri, Pilang, Karangdowo, Patuk, Bayat, Tenong, Panggung, dan Wediombo (Gambar 5). Berdasarkan hamparan bentang alam, diameter struktur bukaan, dan litologi penyusunnya maka dapat diidentifikasi jenis gunung api purba yang terdapat di

Pegunungan Selatan sebagai satu Gumuk Pilang, Karangdowo; empat Khuluk Parangtritis, Khuluk Imogiri, Khuluk Patuk, Khuluk Wediombo, dan tiga Bregada Gajahmungkur, Baturagung, Panggung



Gambar 5. Sebaran gunung api purba di Pegunungan Selatan, Yogyakarta – Jawa Tengah pada citra SRTM. Keterangan: lingkaran kecil = Gumuk, lingkaran menengah = Khuluk, dan lingkaran besar = Bregada. secara teoritis, munculnya atau terbentuknya mineral – mineral non hayati yang bernilai ekonomi berhubungan dengan magmatisme dan vulkanisme. Namun demikian, tidak semua vulkanisme menghasilkan sumber daya mineral non hayati. Hal ini tergantung banyak faktor seperti tidak adanya larutan hidrotermal yang cukup, dan batuan sampling sebagai perangkapnya. Di antara ke sembilan lokasi sisa gunung api purba di Pegunungan Selatan yang dijumpai adanya pengkayaan sumber daya mineral non hayati berupa mineral logam dan non logam adalah Bregada Gajahmungkur dan Khuluk Wediombo. Keterdapatan mineral – mineral

asal gunung api primer terkait erat dengan sebaran tubuh gunung api khususnya pada Fasies Pusat dan Fasies Proksimal. Di pihak lain, kemunculan gunung api sebagai respon struktur geologi yang bekerja sebelumnya, pada saat maupun setelahnya. Beberapa peneliti (misalnya: Suprpto, 1998; Isnawan, 2001; Prihatmoko, dkk., 2005; Widagdo, 2006; Herman, 2006, Imai, dkk., 2007) juga mengkaitkan kegiatan gunung api purba di daerah Wonogiri dengan alterasi dan mineralisasi atau Fasies Pusat gunung api merupakan daerah yang berperan penting dalam pembentukan mineral bernilai ekonomi, selain proses tektonik yang memfasilitasi ruang untuk terjadinya vulkanisme. Di sisi lain, dalam melakukan pekerjaan awal suatu eksplorasi sumber daya alam mineral perlu dipahami terlebih dulu vulkanisme setempat.

KESIMPULAN

Pegunungan Selatan Yogyakarta – Jawa Tengah dibangun oleh dua Gumuk, empat Khuluk, dan tiga Bregada. Sebaran lokasi erupsi gunung api purba yang berarah relatif barat – timur ini berkontribusi langsung dengan keterdapatannya sumber daya alam non hayati di Bregada Gajahmungkur dan Khuluk Wediombo.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan DIKTI dan Kopertis Wil. V Yogyakarta yang telah mendanai penulis melakukan riset fundamental 2013 dan penggunaan data untuk publikasi makalah ini. Ucapan terima kasih ditujukan pula kepada Ketua STTNAS dan Ketua Jurusan Teknik Geologi yang telah mengizinkan peneliti melakukan penelitian bersama mahasiswa.'

DAFTAR PUSTAKA

- Bogie, I., dan Mackenzie, K.M., 1998, The application of a volcanic facies models to an andesitic stratovolcano hosted geothermal system at Wayang Windu, Java, Indonesia, *Proceed. 20th NZ Geothermal Workshop*, pp 265-276.
- Carlile & Mitchel, 1994, Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization
- Bronto, S., Misdiyanta, P., Hartono, G. dan Sayudi, S., 1994, Penyelidikan Awal Lava Bantal Watuadeg, Bayat dan Carlile & Mitchel, 1994, Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization
- Hartono, G. & Mulyono, 2007, Pumis Penunjuk Letusan Dahsyat Gunung Api: Studi Kasus Pada Formasi Semilir Di Pegunungan Selatan, Yogyakarta, *Jurnal Ilmu Kebumihan*, vol. 20, No. 1, UPN "Veteran" Yogyakarta, h1-10.
- Hartono, G., 2000, *Studi Gunung api Tersier: Sebaran Pusat erupsi dan Petrologi di Pegunungan Selatan Yogyakarta*. Tesis S2, ITB, 168 p, tidak diterbitkan.
- Hartono, G., 2007, Studi Batuan Gunung Api Pumis: Mengungkap Asal Mula Bregada Gunung Api Purba Di Pegunungan Selatan, Yogyakarta, Abstrak, Seminar dan Workshop "Potensi Geologi Pegunungan Selatan dalam Pengembangan Wilayah", Kerjasama PSG, UGM, UPN "Veteran", STTNAS dan ISTA, Yogyakarta.
- Hartono, G., Sudradjat, A., dan Syafri, I., 2007, Gumuk Gunung Api Purba Bawah Laut Di Tawang Sari-Jomboran, Sukoharjo-Wonogiri, Jawa Tengah, Joint Con. Bali, *HAGI 32rd-IAGI 36th-IATMI 29th*, 13-16 Nov.
- Herman, D.Z., 2006, Model Fasies Gunungapi Dalam Kaitannya Dengan Ubahan Hidrotermal dan Mineralisasi Di Daerah Selogiri, Kabupaten Wonogiri – Jawa
- Bothe, A.Ch.D., 1929, Djiwo Hills and Sothern Ranges, Excursion Guide, IVth Pacific, Sci. Cong., Bandung, 23 hal.
- Bronto, S., Misdiyanta, P., Hartono, G. dan Sayudi, S., 1994, Penyelidikan Awal Lava Bantal Watuadeg, Bayat dan Karangsambung, Jawa Tengah, *Jur. Tek. Geologi, F. Teknik, UGM, Yogyakarta*, h. 123-130.
- in Indonesia. *J. Geochem. Explor.* 50, p.91-142.
- Karangsambung, Jawa Tengah, *Jur. Tek. Geologi, F. Teknik, UGM, Yogyakarta*, h. 123-130.
- in Indonesia. *J. Geochem. Explor.* 50, p.91-142.
- & Syafri, I., 2007, Peranan Merapi Untuk Mengidentifikasi Fosil Gunung Api Pada "Formasi Andesit Tua": Studi Kasus Di Daerah Wonogiri, *Jurnal Sumberdaya Geologi, Spesial Ed., Geologi Indonesia: Dinamika Dan Produknya*, Vol.2, No.33, *Pusat Survei Geologi*, h. 63-80.
- Imai, A., Shinomiya, J., Soe, M.T., Setijadji, L.D., Watanabe, K., & Warmada, I.W., 2007, Porphyry-type Mineralisation at Selogiri Area, Wonogiri Regency, Central Java, Indonesia, *Resource Geology*, Vol. 57, No. 2., pp 230-240.
- Isnawan, D., 2001, Kontrol Struktur Geologi Terhadap Endapan Tembaga di Daerah Ngerjo, Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah, Tesis S2, UGM, tidak diterbitkan.
- Lokier, S.W., 1999, The Development of The Miocene Wonosari Formation, South Central Java, *Proceedings, Indonesian Petroleum Association, Twenty Seventh Annual Convention & Exhibition*, p.217-222.
- Martodjojo, S., & Djuhaeni, 1996, *Sandi Stratigrafi Indonesia*, Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, Ikatan Ahli Geologi Indonesia. Jakarta, 25 hal.
- Prihatmoko, S., Hendratno, A., & Harijoko, A., 2005, Mineralization and Alteration Systems in Pegunungan Seribu, Gunung Kidul and Wonogiri, *Prosiding JCS, HAGI XXX-IAGI XXXIV-PERHAPI XIV*, Surabaya.
- Pulunggono, A. & Martodjojo, S., 1994, Perubahan Tektonik Paleogene-Neogene Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa, *Kumpulan Makalah Seminar: Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, Sejak Akhir Mesozoik Hingga*

- Kwartar, Jurusan Teknik Geologi, UGM, hal.1-9.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H. M. D., 1977, Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000, Direktorat Geologi, Bandung.
- Samodra, H. dan Sutisna, K., 1996. Peta Geologi Lembar Klaten Jawa Tengah, skala 1 : 50.000. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R. C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M. & Priadi, B., 1994, The Tertiary Magmatic Belts in Java, *Journal of SE-Asian Earth Sci.*, vol.9, no.1/2, hal.13-27.
- Sudradjat, A., 1997, Ilustrasi Geologi, Adjat Sudradjat, Grafimatra Tatamedia PT, Jakarta Selatan, hal. 1-285.
- Suprpto, 1998, Model Endapan Emas Epitermal Daerah Nglenggong, Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah, Tesis S-2 Program Studi Rekayasa Pertambangan, Fakultas Pasca Sarjana ITB, tidak diterbitkan.
- Surono, Sudarno, I dan Toha, B., 1992, Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, skala 1:100.000, *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Sutanto, Soeria-Atmadja, R. C. Maury, & H. Bellon, 1994, Geochronology of Tertiary Volcanisme in Java, Kumpulan Makalah Seminar Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, Sejak Akhir Mesozoik hingga Kwartar, Jurusan Teknik Geologi, F. Teknik UGM, Yogyakarta, hal. 53-56.
- Van Bemmelen, R.W, 1949, The Geology of Indonesia, Vol IA, Government Printing Office, hal. 28-29, 102-106, 595-602
- Vessel, R. K. and Davies, D. K., 1981, Non Marine Sedimentation in An Active Fire Arc Basin, in Etridge, F. G., and Flores, R.M. Editors, Recent and Ancient Non Marine Depositional Environments: Models for Exploration, *Society of Economics Paleontologists and Mineralogists*, Special Publication 31.
- Widagdo, A., 2006, Peranan Tektonik Dalam Pembentukan Rekahan Batuan Sebagai Ruang Bagi Mineralisasi Di Daerah Gunung Tumbu Dan Sekitarnya, Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri - Jawa Tengah, Tesis S2, UGM, 157 p, tidak diterbitkan.
- Williams and Mac Birney, 1979, *Volcanology*, Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 397 p.