

Analisis stratigrafi awal kegiatan Gunung Api Gajahdangak di daerah Bulu, Sukoharjo; Implikasinya terhadap stratigrafi batuan gunung api di Pegunungan Selatan, Jawa Tengah

H.G. HARTONO¹ dan S. BRONTO²

¹Jurusan Teknik Geologi STTNAS, Jln. Babarsari, Sleman, Yogyakarta

²Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Jln. Diponegoro 57, Bandung

SARI

Pada umumnya, kegiatan gunung api di Pegunungan Selatan, Jawa Tengah, diawali oleh pembentukan lava bantal berkomposisi basal - andesit basal. Kegiatan itu berkembang ke tahap pembangunan kerucut gunung api komposit berupa lava, breksi, dan tuf berkomposisi andesit basal - andesit. Periode konstruksi tersebut dapat diikuti fase destruksi berupa kaldera letusan, yang menghasilkan breksi dan tuf pumis berkomposisi andesit silika tinggi atau dasit, bahkan riolit. Stratigrafi terukur di daerah Bulu, Kabupaten Sukoharjo, memperlihatkan perulangan batuan klastika gunung api fraksi halus berkomposisi andesit basal dengan batugamping yang mencapai ketebalan 143,33 m. Lapisan batuan klastika gunung api itu semakin menebal ke atas, mulai dari 35 m sampai dengan 90 m. Ukuran butir juga semakin mengasar ke atas, mulai dari lempung, lanau dan pasir halus sampai dengan pasir kasar dan kerikil. Fosil yang dikandung batugamping menunjukkan umur Miosen Awal (N7 - N9). Posisi stratigrafi batuan tersebut selaras di bawah Formasi Mandalika yang terdiri atas perulangan breksi, lava, dan tuf bersusunan andesit. Data tersebut menunjukkan bahwa batuan klastika gunung api fraksi halus tersebut merupakan produk awal pembangunan Gunung Api Gajahdangak, yang menyusun Formasi Mandalika di daerah penelitian. Formasi batuan tersebut ditindih oleh Formasi Semilir, terdiri atas breksi dan tuf pumis berkomposisi dasit, yang mencerminkan produk letusan kaldera atau tahap destruksi. Memperhatikan ciri litologi hasil vulkanisme mulai dari kegiatan awal, yang berlanjut ke siklus pembangunan dan penghancuran kerucut gunung api komposit, serta data umur terkumpul, maka secara regional formasi-formasi batuan gunung api di Pegunungan Selatan masih dapat dibagi menjadi lebih banyak formasi.

Kata kunci: batuan klastika gunung api, kerucut komposit, letusan kaldera, fase konstruksi, fase destruksi, stratigrafi, Pegunungan Selatan

ABSTRACT

Generally, Tertiary volcanisms in the Southern Mountains, Central Jawa were started with the formation of pillow lavas having basalt to basaltic andesite in composition. This initial stage volcanism developed into a construction period of composite volcanoes that consist of alternating basaltic to andesitic lava flows, breccias, and tuffs. The construction period could be followed by a destructive phase, producing pumice-rich pyroclastic breccias, lapillistones, and tuffs of high silica andesite to dacite, or even rhyolite in composition. A stratigraphic measuring section at Bulu area, Sukoharjo Regency, presents an alternating fine-grained andesitic volcanoclastic material and some limestones, with the total thickness is 143.33 m. The thickness of bedded volcanoclastic material tends to be thickening upward from 35 m until 90 m. The grain size of the volcanoclastic material also tends to be coarsening upward from clay size through silt and fine sand to coarse sand and granules. Paleontological analysis on fossils contained in the limestone gives an age of Early Miocene (N7 - N9). The volcanoclastic rocks is conformably overlain by the Mandalika Formation, comprising alternating andesitic breccias, lavas, and tuffs. These data imply that the fine-grained volcanoclastic material is an initial product of the construction period of Gajahdangak Volcano in the area, that formed the Mandalika Formation. This Formation is overlain by the Semilir Formation, composed of pumice-rich pyroclastic breccias and tuffs with dacitic composition. This associated volcanic rock reflects a product of a caldera explosion or a destructive phase. Based on the

characteristics of lithology of volcanic products from the initial stage, to a construction and destruction period, and compiled age data, the Southern Mountains represent formal volcanic rock units that are able to be divided into many formations.

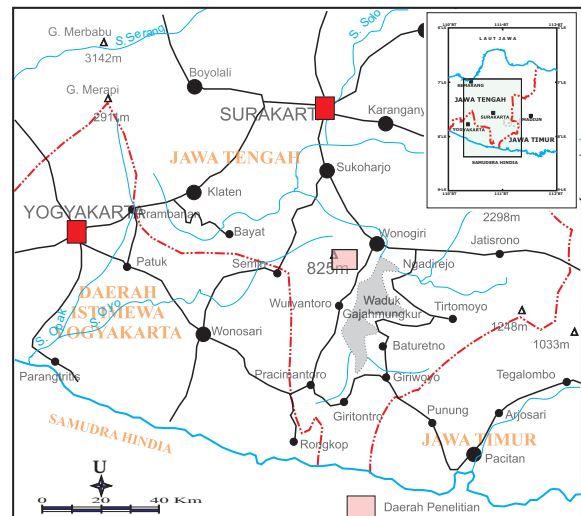
Keywords: *volcaniclastic rocks, composite volcano, caldera explosion, construction period, destruction phase, stratigraphy, Southern Mountains*

PENDAHULUAN

Di Pegunungan Selatan, yang termasuk kawasan Yogyakarta dan Jawa Tengah, banyak dijumpai batuan gunung api berumur Tersier yang telah banyak dilakukan penelitian geologinya. Se jauh ini, penelitian stratigrafi tentang batuan gunung api berumur Tersier tersebut telah dilakukan menuju pemenuhan standar Sandi Stratigrafi Indonesia (SSI), antara lain melalui pendekatan aspek sedimentologi dan paleontologi dengan penekanan untuk mengetahui umur pembentukan dan lingkungan pengendapan (Rahardjo dr., 1977; Martodjojo, 1984; Surono dr., 1992; Samodra dr., 1992). Namun, permasalahan tentang genesis (sumber, sedimentasi, umur, dan lingkungan pengendapan) masih belum jelas, dan di antara para ahli geologi masih terjadi perbedaan pendapat terhadap stratigrafi yang ada yang semata-mata berdasarkan litostratigrafi.

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan stratigrafi antara perlapisan batuan klastika gunung api fraksi halus yang disisipi batugamping di bawah Formasi Mandalikan, dan mendukung program penelitian geologi Pegunungan Selatan, dengan memulai verifikasi stratigrafi batuan gunung api berdasar litostratigrafi yang dilandasi pemahaman vulkanologi. Metode penelitiannya adalah melakukan pengukuran stratigrafi terukur, analisis petrologi dan paleontologi, serta analisis stratigrafi batuan gunung api yang mengacu landasan teori, data primer, dan data sekunder.

Lokasi daerah yang menjadi fokus penelitian terletak di kaki Gajahdangak, Bulu, Sukoharjo, Jawa Tengah (Gambar 1). Penelitian dilakukan pada 2007 bekerja sama dengan Tim Pegunungan Selatan, Pusat Survei Geologi, Bandung. Lokasi ini dipilih karena pencapaian yang mudah dan secara geologis-vulkanologi diharapkan dapat mengungkap jelas permasalahan geologi, khususnya stratigrafi gunung api.



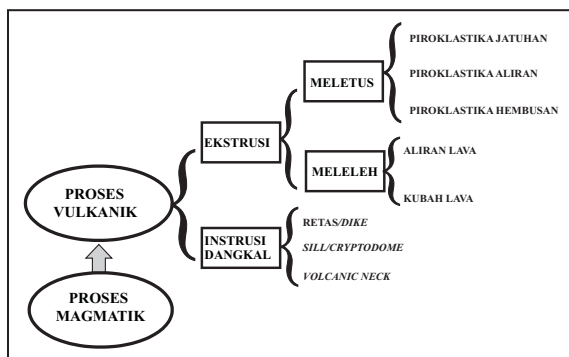
Gambar 1. Lokasi daerah penelitian.

LANDASAN TEORI

Fisher dan Smith (1991) mendefinisikan batuan klastika gunung api sebagai *"the entire spectrum of clastic materials composed in part or entirely of volcanic fragments, formed by any particle-forming mechanism, transported by any mechanism, deposited in any physiographic environment or mixed with any non volcanic fragment types in any proportion"*. Umumnya, batuan gunung api adalah batuan yang terbentuk sebagai hasil kegiatan gunung api, baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung di sini mempunyai arti sebagai hasil erupsi gunung api yang membatu secara *in situ*, sedangkan secara tidak langsung berarti telah mengalami perombakan atau deformasi. Pemerian tekstur batuan klastika gunung api menyangkut bentuk butir, ukuran butir, dan kemas. Karena efek abrasi selama proses transportasi, bentuk butir berubah mulai dari sangat meruncing - meruncing sampai dengan membundar - sangat membundar. Ukuran butir juga berubah dari fraksi sangat kasar

- kasar, sedang sampai dengan halus - sangat halus. Hubungan antara butir fraksi kasar di daerah dekat sumber pada umumnya membentuk kemas tertutup, tetapi kemudian berubah menjadi kemas terbuka sejalan dengan menjauhnya dari daerah sumber. Di samping itu juga membentuk struktur sedimen, seperti struktur imbrikasi, silang-siur, *antidunes*, dan gores-garis sebagai akibat terlanda hembusan piroklastika.

Simkin dr. (1981) dan Gill (1981) menyatakan bahwa gunung api masa kini yang berkembang di daerah tumbukan pada umumnya berkomposisi andesit, mempunyai bentuk kerucut komposit atau strato, tersusun oleh perlapisan batuan beku luar, aglomerat, breksi gunung api dan tuf, kadang-kadang diintrusi oleh batuan beku terobosan berbentuk retas, *sill*, kubah bawah permukaan (*cryptodome*), dan leher gunung api. Batuan beku luar merupakan magma yang keluar ke permukaan bumi membentuk aliran lava atau kubah lava. Aglomerat merupakan batuan piroklastika (Fisher & Schmincke, 1984; Cas & Wright, 1987; Lorenz & Haneke, 2004), sedangkan breksi gunung api dan tuf sebagai batuan piroklastika (primer) atau batuan sedimen epiklastika (sekunder). Secara petrologis batuan beku, intrusi dangkal (*subvolcanic intrusions*) mempunyai banyak persamaan dengan batuan beku luar dan batuan klastika gunung api di sekitarnya, antara lain bertekstur kaca, afanit dan hipokristalin porfir, mengandung kaca gunung api, serta dalam banyak hal mempunyai afinitas dan komposisi yang sama. Dengan demikian pengertian batuan gunung api meliputi batuan beku intrusi dangkal, batuan beku luar (aliran lava dan kubah lava), breksi gunung api, aglomerat, dan tuf (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram pembentukan batuan gunung api.

Pembangunan suatu kerucut gunung api melibatkan fase konstruktif dan fase destruktif atau dikenal sebagai siklus vulkanisme. Pembentukan batuan beku luar yang berselingan dengan breksi andesit piroklastika dan tuf andesit mengindikasikan tahap kegiatan vulkanisme yang bersifat membangun (konstruktif) kerucut gunung api strato, sedangkan tahap kegiatan vulkanisme bersifat merusak (destruktif) ditandai oleh melimpahnya breksi pumis, lapili pumis dan tuf berkomposisi andesit – dasit.

TATAAN GEOLOGI

Pegunungan Selatan, Jawa Tengah, merupakan wilayah yang terpengaruh oleh kegiatan vulkanisme, yang ditunjukkan oleh keterdapatan banyak batuan hasil kegiatan gunung api. Soeria-Atmadja dr. (1994) melakukan penelitian batuan gunung api Tersier di Pulau Jawa dan menyimpulkan keberadaan dua buah busur magma berumur Eosen-Miosen Awal dan Miosen Akhir-Pliosen. Sementara itu, kegiatan vulkanisme secara jelas dapat diamati sejak Kala Oligosen, yaitu saat pembentukan Formasi Kebo-Butak hingga Kala Miosen dan pembentukan Formasi Oyo. Di pihak lain, Surono dr. (1992) menyatakan stratigrafi Pegunungan Selatan diawali dari pengendapan Batuan Malihan (KTm), Formasi Gamping-Wungkal (Tew) yang secara tidak selaras ditindih Formasi Kebo-Butak (Tomk), dan Formasi Mandalika (Tomm). Selaras di atasnya berkembang Formasi Semilir (Tms), Formasi Nglanggran (Tmng), dan Formasi Sambipitu (Tmss). Ketiga formasi tersebut berhubungan secara menjemari. Selanjutnya, secara tidak selaras diendapkan Formasi Oyo (Tmo) yang menjemari dengan Formasi Wonosari (Tmw1). Kemudian formasi-formasi tersebut diterobos batuan beku diorit (Tpdi).

Penarikan umur radiometri (K-Ar) dari beberapa penelitian (Soeria-Atmadja, dr., 1994; Hartono, 2000; Bronto, dr., 2005; Ngkoimani, 2005; Priadi & Mubandi, 2005; Akmaluddin, dr., 2005) menunjukkan umur absolut batuan gunung api yang dikelompokkan ke dalam Formasi Andesit Tua berkisar antara $59,00 \pm 1,94$ jtl. hingga $11,88 \pm 0,71$ jtl. Hal ini menunjukkan adanya vulkanisme yang terjadi secara menerus dan berulang kali.

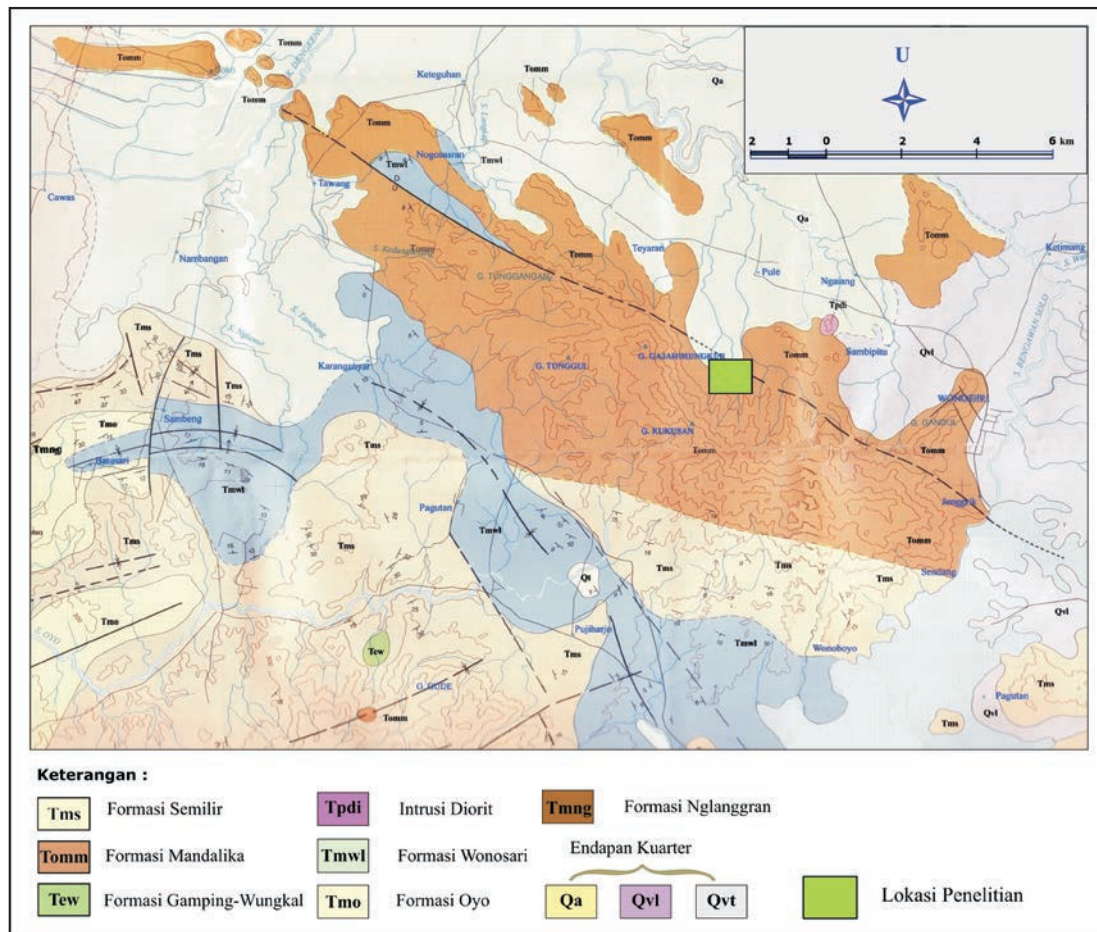
Hartono (2000) dan Hartono dan Syafri (2007) menyatakan bahwa batuan gunung api yang menyusun Zona Pegunungan Selatan Yogyakarta dan sekitarnya paling sedikit dihasilkan oleh lima pusat erupsi purba. Di pihak lain, Bronto (2007) membagi keberadaan fosil gunung api menjadi empat kelompok, yaitu (1) Kelompok Gunung Api purba Parangtritis - Sudimoro, (2) Kelompok Gunung Api purba Baturagung - Bayat, (3) Kelompok Gunung Api purba Wonogiri - Wediombo, dan (4) Kelompok Gunung Api purba Karangtengah - Pacitan. Surono dr. (1992) yang telah melakukan pemetaan geologi, mengelompokkan batuan gunung api tersebut ke dalam Formasi Mandalika, Formasi Semilir, Formasi Wuni, dan Formasi Nglanggran (Gambar 3). Formasi Mandalika umumnya tersusun oleh material masif berupa lava dasit - andesit, tuf dasit, dan batuan intrusi diorit. Formasi Semilir tersusun oleh material

fragmental berupa tuf berukuran pasir dan lempung, dan breksi pumis dasit. Hubungan stratigrafi antara formasi batuan yang ada menunjukkan hubungan selaras, menjemari, dan hubungan tidak selaras. Struktur geologi yang berkembang pada formasi batuan gunung api ditunjukkan oleh sesar normal berarah tenggara - barat laut. Pada formasi batuan bukan asal gunung api berkembang struktur geologi berupa sinklin yang terletak di sebelah selatan formasi batuan gunung api.

HASIL PENELITIAN

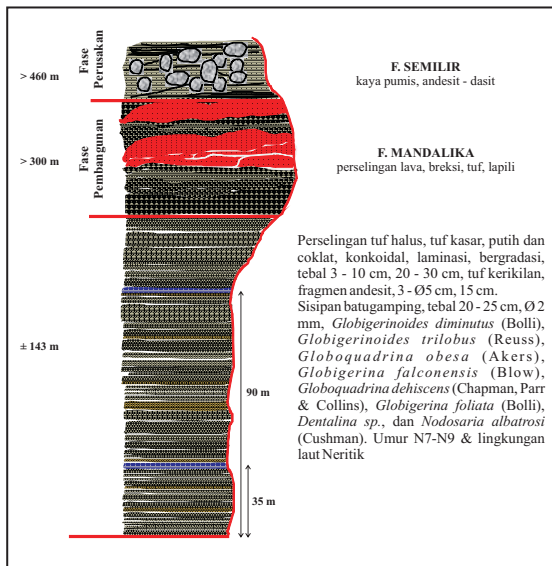
Stratigrafi Terukur

Lokasi pengukuran stratigrafi terukur terletak pada ketinggian +250 m di atas permukaan laut (dpl) di kaki bagian dalam bentuk struktur setengah me-



Gambar 3. Peta geologi daerah Gunung Gajahdang, Wonogiri (disederhanakan dari Surono dr., 1992).

lingkar tinggian Gunung Gajahmungkur (+825 m dpl) (Gambar 3). Secara umum, daerah penelitian tersusun oleh perselingan batuan berukuran lempung hingga pasir kasar - sangat kasar yang mempunyai kedudukan umum hampir tegak berkisar antara $U182^{\circ}T/55^{\circ}$ – $U274^{\circ}T/65^{\circ}$. Secara stratigrafis, perlapisan batuan tersebut terletak di bawah Formasi Mandalika yang terdiri atas perlapisan tuf, breksi, dan lava berkomposisi andesit. Ketebalan setiap perlapisan batuan beragam mulai dari 1,5 - 32 cm, dan ada yang mencapai 62 cm, sedangkan ketebalan keseluruhan mencapai $\pm 143,33$ m (Gambar 4). Struktur sedimen yang berkembang meliputi laminasi, silang-siur, lapisan bersusun, masif, memperlihatkan kecenderungan mengeras dan menebal ke arah atas.

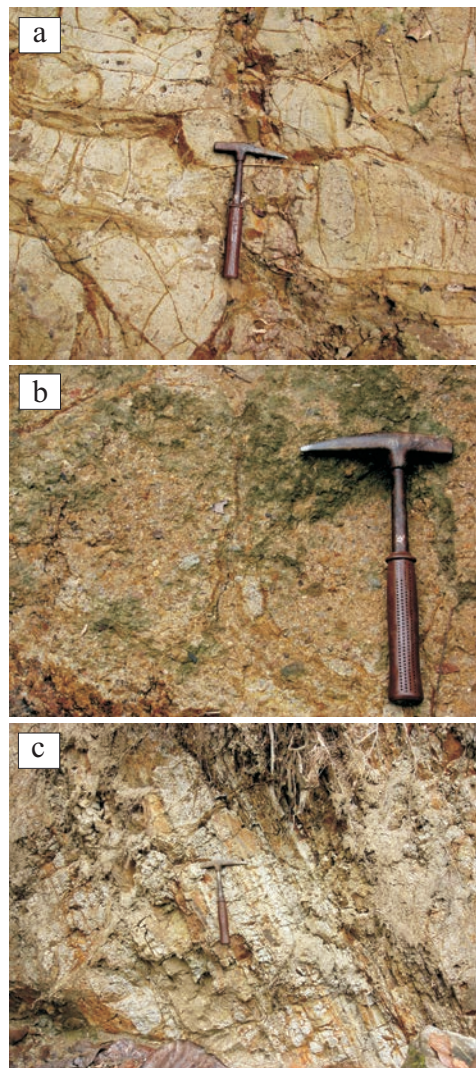


Gambar 4. Stratigrafi daerah Bulu, Sukoharjo yang menjadi topik bahasan.

Perlapisan batuan klastika gunung api tersusun oleh tuf putih, putih keabuan, dan coklat (Gambar 5), batupasir, batupasir kerikilan berfragmen batuan beku andesit dan basal, dan batugamping. Tuf berukuran halus hingga kasar (Gambar 6), dan beberapa perlapisan tuf kasar mengandung komponen berukuran kerikil (> 2 cm) (Gambar 6b). Tuf berukuran lempung umumnya membentuk perlapisan dengan ketebalan tipis-tipis, mulai 2 - 10 cm, namun kadang-kadang ada yang mencapai 32 cm. Seluruh batuan klastika gunung api yang berukuran lempung dan pasir kasar tidak karbonatan. Struktur sedimen



Gambar 5. Foto singkapan tuf coklat dan putih.



Gambar 6. Foto singkapan, (a) Tuf halus, (b) Tuf kasar mengandung komponen berukuran kerikil, (c) Perlapisan tuf halus dan tuf kasar.

yang terbentuk pada batuan berukuran lempung berupa laminasi dan silang - siur, sedangkan pada batuan yang berukuran pasir membentuk struktur perlapisan bersusunan normal dan masif. Batuan yang berukuran lempung cenderung memperlihatkan pecahan konkoidal, sedangkan yang berukuran pasir memperlihatkan permukaan kasar, lebih menonjol, dan tidak beraturan.

Batugamping, berwarna kuning kecoklatan, klastika, ukuran pasir sedang - kasar. Terdapat dua perlapisan batugamping, bagian bawah mempunyai ketebalan 26 cm dan bagian atas lebih tipis, yaitu 20 cm. Keberadaan batugamping bagian bawah menempati posisi pada ketebalan 35 m, sedangkan batugamping bagian atas menempati posisi pada ketebalan 90 m dari keseluruhan total ketebalan, yaitu 143,33 m.

Petrologi

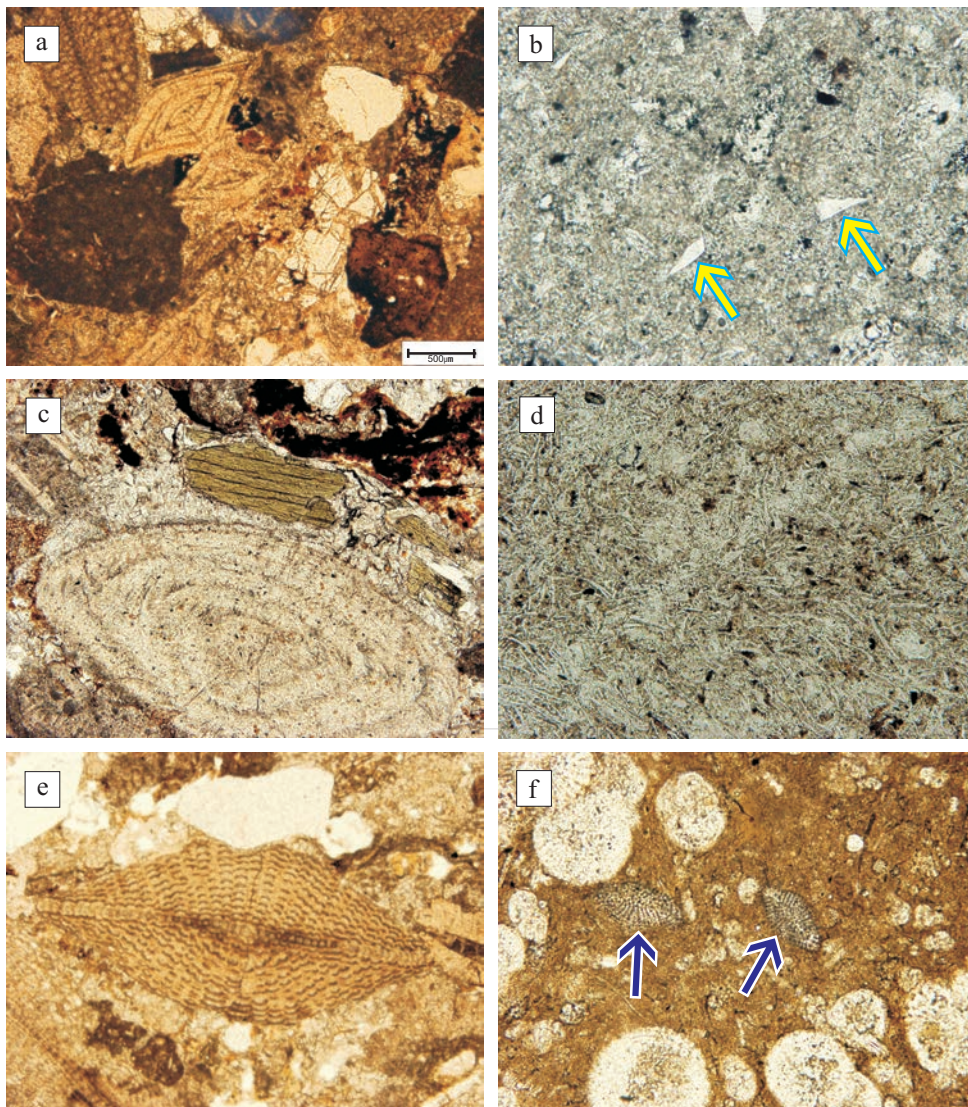
Data petrografi (Gambar 7) tuf gelas dan tuf gelas kristal menunjukkan tekstur vitrofir, mengandung fenokris berukuran halus (0,1 - 0,6 mm) berupa kuarsa (3 - 5 %), plagioklas (1 - 5 %), dan mineral opak (1%-2 %) yang tertanam di dalam massa dasar gelas (70 - 90 %), dan sebagian gelas telah berubah menjadi mineral lempung, sedangkan batugamping menunjukkan tekstur klastika, terdiri atas fosil foraminifera (70 %) dan lumpur karbonat (20 %). Data analisis fosil foraminifera kecil menunjukkan batuan berumur Miosen Awal (N7 - N9) dan lingkungan laut neritik (100 - 200 m). Umur tersebut diwakili oleh keberadaan fosil foraminifera planctonik *Globigerinoides diminutus* (Bolli), *Globigerinoides trilobus* (Reuss), *Globoquadrina obesa* (Akers), *Globigerina falconensis* (Blow), *Globoquadrina dehiscens* (Chapman, Parr & Collins), dan *Globigerina foliata* (Bolli), sedangkan lingkungan pengendapan mengacu pada keberadaan fosil foraminifera bentos *Dentalina* sp., dan *Nodosaria albatrossi* (Cushman).

DISKUSI

Secara umum, lokasi daerah penelitian disusun oleh material abu gunung api, yaitu tuf gelas dan tuf kristal. Material gunung api tersebut membentuk perselang-seling dengan ketebalan bervariasi yang mencerminkan adanya proses sedimentasi pada lingkungan arus yang tenang. Halnya berbeda

bila dihubungkan dengan kelompok batuan yang secara stratigrafis menindih selaras di atasnya, yaitu Formasi Mandalika yang disusun oleh perulangan breksi, tuf, dan lava andesit. Artinya, fragmen kasar dan besar sudah tentu hanya dapat terangkut dengan arus kuat, atau dengan mekanisme sedimentasi yang dikaitkan dengan proses erupsi letusan dan lelehan suatu gunung api. Hal ini karena secara vulkanologis Formasi Mandalika menunjukkan ciri-ciri fase pembangunan suatu tubuh gunung api komposit, adanya perulangan pengendapan produk erupsi lelehan dan erupsi letusan. Di sisi lain, formasi yang lebih muda (Formasi Semilir) yang kaya pumis dan berkomposisi andesit – dasit menunjukkan ciri-ciri fase perusakan suatu tubuh gunung api. Pemikiran tersebut, menggambarkan adanya perubahan sistem sedimentasi dari lingkungan arus tenang yang ditunjukkan oleh pengendapan fraksi halus dan terbentuknya batugamping, menjadi sistem sedimentasi yang dihasilkan oleh mekanisme letusan gunung api yang ditunjukkan oleh pengendapan material gunung api fraksi halus – kasar, dan aliran lava.

Secara umur dan litostratigrafis, kelompok batuan ini menunjukkan ekuivalensi dengan Formasi Sambipitu (N6 - N8), karena umur fosil yang dikandung dalam batugamping menempati zona N7 - N9 (Miosen Awal), namun kedudukan stratigrafinya terletak di bawah Formasi Mandalika yang berumur Oligosen-Miosen Awal. Di sini tampak bahwa secara litostratigrafis sulit diterima bilamana endapan hasil suatu proses sedimentasi normal diterapkan, terlebih bilamana dihubungkan dengan umur batumannya. Penyelesaian yang umum dilakukan adalah memasang atau membuat hubungan menjemari untuk kedua kelompok batuan tersebut, tetapi permasalahan genesis batuan tersebut jauh diketahui. Oleh sebab itu, makalah ini menyarankan untuk menerapkan konsep vulkanostratigrafi yang mendasarkan pada siklus gunung api. Artinya, material yang menjadi obyek bahasan merupakan material asal gunung api, meskipun dijumpai juga material non gunung api dalam volume yang kecil. Bentuk kristal menyudut pada tuf kristal (Gambar 6b) dan struktur gelas yang masih utuh pada tuf gelas (Gambar 6d) memberikan arti yang cukup signifikan terhadap asal material, yaitu dekat dengan sumber. Hal lain yang dapat dikaitkan adalah material asal gunung api tersebut terletak di dalam kaldera Gajahmungkur (Hartono, 2000; Hartono dan Syafri, 2007).



Gambar 7. Kenampakan mikroskopis batuan. (a) batugamping berfosil, (b) tuf kristal, (c) Paleonummulites (?) dan fragmen piroksen, (d) tuf gelas, (e) *Lepidocyclina* sp., (f) *Ampistegina* sp. (tanda panah).

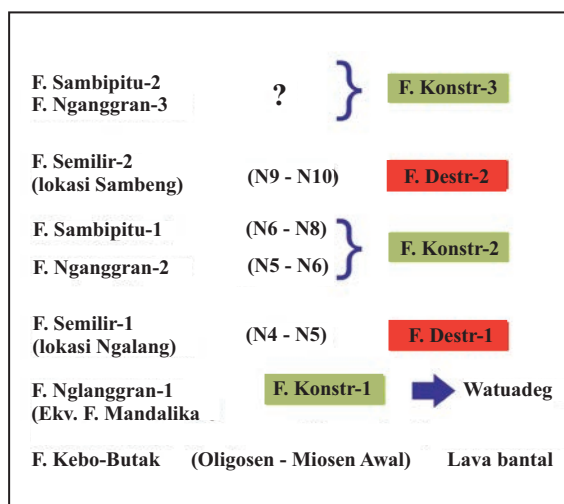
Stratigrafi daerah Bulu (Gambar 5) memperlihatkan adanya satuan perselang-selingan batuan klastika gunung api, yang menebal ke atas, dan ukuran butir mengasar ke atas. Ciri-ciri tersebut menunjukkan kegiatan gunung api yang menghasilkan semakin meningkat, walaupun dalam proses pengendapannya disisipi oleh batugamping klastika (berukuran pasir) pada ketebalan 45 m dan berulang pada ketebalan 90 m. Artinya, pada pembentukan lapisan batugamping tersebut kegiatan gunung apinya berhenti atau istirahat. Tetapi terdapat kemungkinan lain, yaitu gunung apinya tetap aktif

dengan material yang dihasilkan mengarah ke sisi lain, sehingga proses sedimentasi material klastika gunung apinya tetap berlangsung. Keberadaan sisipan batugamping yang kaya fosil juga menunjukkan lingkungan pengendapan air laut pada posisi neritik. Hal ini juga diperkuat oleh adanya struktur-struktur sedimen yang berkembang pada lingkungan laut dangkal atau daerah pasang naik dan turun. Struktur sedimen silang-siur berkembang pada batuan klastika gunung api berukuran halus (lempung), sedangkan struktur perlapisan bersusun berkembang pada batuan bertekstur pasir hingga kerikil.

Di pihak lain, kandungan fosil foraminifera bentos juga mendukung lingkungan tersebut.

Lingkungan air yang menunjuk pada batuan klastika gunung api di daerah Bulu, juga dijumpai di bagian barat laut tinggian Gajahdangak, yaitu di daerah Tawangsari. Di daerah ini selain berkembang batuan klastika gunung api bertekstur halus, berkembang pula lava andesit basal berstruktur bantal dan lava otoklastikaa (Hartono drr., 2008). Secara umum, daerah ini diawali oleh kegiatan gunung api bawah air (gumuk gunung api) bersamaan dengan sedimentasi material laut asal gunung api, kemudian ke arah selatan berkembang gunung api komposit Gajahdangak yang umumnya berkomposisi lebih asam. Pembangunan gunung api komposit (fase konstruktif) di sini ditunjukkan oleh adanya sisa gawir melingkar yang disusun oleh perselingan lava dan breksi, tuf (Formasi Mandalika), dan kemudian diikuti oleh kegiatan perusakan (fase destruktif) yang menghasilkan breksi pumis (Formasi Semilir) menindih di atasnya.

Dibandingkan dengan stratigrafi yang ada (Surono drr., 1992; Rahardjo drr., 1977), penyelesaian permasalahan di atas dapat diskennariokan berdasarkan produk awal kegiatan gunung api di daerah sekitarnya. Berdasarkan petrologi dan vulkanologi, lava basal bantal (Formasi Kebo-Butak) di bagian barat dan di barat laut merupakan produk vulkanisme awal berumur Oligosen – Miosen (Fase Konstruktif 1; FK-1), namun menurut Ngkoimani (2005) berumur $56,32 \pm 3,8$ jtl. atau berumur Paleosen, sementara Formasi Mandalika (FK-1?) belum diketahui (Gambar 8). Berdasarkan umur fosil, Formasi Semilir (Fase Destruktif 1; FD-1) diketahui berumur Oligosen (N4 - N5), tetapi penarikan umur radiometri (K-Ar) pada litologi tuf horenblenda di daerah Selogiri menunjukkan umur $11,88 \pm 0,7$ jtl. atau berumur Miosen Tengah (Akmaluddin drr., 2005). Fase konstruktif kedua (FK-2) diwakili oleh Formasi Nglanggran (N5 - N6) dan Formasi Sambipitu (N6 - N8), begitu juga terhadap umur batuan di daerah Bulu (N7 - N9). Di sisi lain, pengamatan struktur foraminifera besar *Lepidocyclina* sp. dan *Amphistegina* sp. pada sayatan tipis (Gambar 6e, f) menunjukkan lingkungan hidup hewan laut tersebut cukup panjang, yaitu pada Miosen Awal – Miosen Akhir. Oleh sebab itu, fase pembangunan kedua akan diikuti oleh fase destruktif kedua (FD-2) yang diwakili oleh Formasi Semilir yang tersingkap di daerah Sambeng (N9 - N10).



Gambar 8. Skema vulkanisme daerah Gajahdangak dan implikasinya pada stratigrafi di Pegunungan Selatan Jawa Tengah.

Secara vulkanologis, fase konstruktif dan fase destruktif terjadi secara berulang bergantung pada waktu hidup gunung apinya, yang juga ditunjukkan oleh material gunung api yang dihasilkannya. Analisis tersebut menunjukkan bahwa pembangunan Gunung Api purba Gajahdangak dimulai dengan pembangunan tubuh (FK-2) di bawah permukaan laut (*subaqueous*) pada Kala Miosen Awal yang kemudian berkembang menjadi subaerial melalui fase transisi litoral pada Kala Miosen Akhir.

KESIMPULAN

- Batuan klastika gunung api fraksi halus dikelompokkan menjadi anggota Formasi Mandalika bagian bawah, yang merupakan produk kegiatan awal Gunung Gajahdangak Muda.
- Stratigrafi Gunung Api Gajahdangak dapat dijadikan mode dalam memahami stratigrafi daerah Pegunungan Selatan, Jawa Tengah, dan daerah lain yang mempunyai banyak batuan gunung api.
- Pembangunan Gunung Api purba Gajahdangak terdiri atas dua fase, yaitu fase pembangunan tubuh di bawah permukaan air laut (*subaqueous*) pada Kala Miosen Awal, dan fase pembangunan menjadi subaerial melalui transisi litoral pada Kala Miosen Akhir.

Ucapan Terima Kasih—Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Survei Geologi, Bandung atas kerja sama yang baik, Ir. Wartono Rahardjo atas diskusi menariknya tentang fosil pada sayatan petrografi, dan kepada Dr. Sri Mulyaningsih dan Bernadeta Astuti, S.T. atas diskusi dan sarannya selama observasi lapangan.

ACUAN

- Akmaluddin, Setijadji, D.L., Watanabe, K., dan Itaya, T., 2005. New Interpretation on Magmatic Belts Evolution During the Neogene – Quaternary Periods as Revealed from Newly Collected K-Ar Ages from Central-East Java, Indonesia. *Prosiding JCS, HAGI XXX-IAGI XXXIV-PERHAPI XIV*, Surabaya.
- Bronto, S., 2007. Fosil gunung api di Pegunungan Selatan Jawa Tengah. *Seminar dan Workshop “Potensi Geologi Pegunungan Selatan dalam Pengembangan Wilayah”*, Kerja sama PSG, UGM, UPN “Veteran”, STTNAS dan ISTA, Yogyakarta, 27-29 Nov.
- Bronto, S., Bijaksana, S., Sanyoto, P., Ngkoimani, L.O., Hartono, G., dan Mulyaningsih, S., 2005. Tinjauan Vulkanisme Paleogen Jawa. *Majalah Geologi Indonesia*, 20, (4), h.195-204.
- Cas, R.A.F. dan Wright, J.V., 1987. *Volcanic Successions, Modern and Ancient*, Allen & Unwin, London, 528 h.
- Fisher, R. V. dan Schmincke, H. M., 1984. *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 472 h.
- Fisher, R. V. dan Smith, G. A., 1991. Volcanism, Tectonics and Sedimentation; Sedimentation In Volcanic Settings. Dalam: Fisher, R. V. dan Smith, G. A., (Eds.), *SEPM Special Edition*, (45), Tulsa, Oklahoma, USA, h.1-5.
- Gill, J.B., 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*, Springer – Verlag, 390 h.
- Hartono, G. dan Syafri, I., 2007. Peranan Merapi Untuk Mengidentifikasi Fosil Gunung Api Pada “Formasi Andesit Tua”: Studi Kasus Di Daerah Wonogiri. *Geologi Indonesia: Dinamika dan Produksinya*, Publikasi Khusus, 2 (33), Pusat Survei Geologi, Bandung, h. 63-80.
- Hartono, G., 2000. *Studi Gunung api Tersier: Sebaran Pusat Erupsi dan Petrologi di Pegunungan Selatan Yogyakarta*. Tesis S2, ITB, 168 h. Tidak diterbitkan.
- Hartono, G., Sudradjat, A., dan Syafri, I., 2008. Gumuk Gunung Api Purba Bawah Laut Di Tawang Sari – Jomboran, Sukoharjo – Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Indonesia*, 3 (1), h. 37-48.
- Lorenz, V. dan Haneke, J., 2004. Relationship between diatremes, dykes, sills, laccoliths, intrusive-extrusive domes, lavas flows, and tephra deposits with unconsolidated water-saturated sediments in the late Variscan intermontane Saar-Nahe Basin, SW Germany. Dalam: Breikreuz, C. dan Petford, N., (Eds.), *Physical Geology of High-Level Magmatic Systems*, Geological Society of London, h.75-124.
- Martodjojo, S., 1984. *Evolusi Cekungan Bogor, Jawa Barat*, Disertasi Doktor, Fakultas Pasca-Sarjana, ITB, Indonesia.
- Ngkoimani, L., 2005. *Magnetisasi Pada Batuan Andesit di Pulau Jawa serta Implikasinya Terhadap Paleomagnetisme dan Evolusi Tektonik*, Disertasi Doktor, Fakultas Pasca Sarjana, ITB, Indonesia, 110 h.
- Priadi, B. dan Mubandi, ASS., 2005. The Occurrence of Plagiogranite in East Java, Indonesia. *Prosiding JCS, HAGI XXX-IAGI XXXIV-PERHAPI XIV*, Surabaya.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H. M. D., 1977. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian Pengembangan Geologi, Bandung.
- Samodra, H., Gafoer, S., dan Tjokrosapoetro, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian Pengembangan Geologi, Bandung.
- Simkin, T., Siebert, L., McClelland, L., Bridge, D., Newhall, C., dan Latter, J.H., 1981. *Volcanoes of the World: A Regional Directory, Gazetteer, and Chronology of Volcanism During the Last 10,000 Years*. Stroudsburg, Penn: Hutchinson Ross, 240 h.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R. C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M., dan Priadi, B., 1994. The Tertiary Magmatic Belts in Java. *Journal of SE-Asian Earth Sciences*, 9, (1/2), h 13-27.
- Surono, Sudarno, I., dan Toha, B., 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian Pengembangan Geologi, Bandung.