

PERANAN MERAPI UNTUK MENGIDENTIFIKASI FOSIL GUNUNG API PADA “FORMASI ANDESIT TUA” : STUDI KASUS DI DAERAH WONOGIRI ¹⁾

Oleh:
Gendoet HARTONO² & Ildrem SYAFRI³

Abstrak

Merapi dapat menjadi model kerucut komposit gunung api masakini dipandang dari aspek geomorfologi, fasies batuan gunung api, struktur geologi dan petrologi. Aspek fasies gunung api seperti dikembangkan antara lain oleh Cas and Wright (1987), menjadi sangat penting dalam merekonstruksi kegiatan gunung api purba. Bentuk bentang alam Merapi yang melandai ke arah kaki dan dataran sekitarnya memungkinkan untuk menjadi model analisis fasies yang mencakup bagian sentral yang didominasi oleh kubah lava/leher gunung api dan bagian lereng yang terbentuk oleh perlapisan lava dan breksi gunung api yang merupakan transisi menuju facies medial. Batuan klastika gunung api yang menghalus searah dengan melandainya lereng, merupakan fasies medial dan transisi menuju fasies distal. Struktur perlapisan asal mempunyai jurus melingkar, sedangkan kemiringannya melandai menjauhi sumber erupsi sejalan dengan perubahan bentang alamnya. Baik batuan kubah lava maupun aliran lava mempunyai umur dan komposisi relatif sama, sehingga dengan demikian sangat ideal dalam menyusun model untuk aplikasi analisis fasies pada gunung api purba. Hasil permodelan ciri-ciri ini telah dicoba diterapkan untuk memverifikasi fosil gunung api di dalam sebaran “Formasi Andesit Tua” di daerah Wonogiri (van Bemmelen, 1949). Pada tahap pertama telah berhasil diidentifikasi beberapa pusat kegiatan dan subsiklus dari setiap perioda aktivitas. Dalam kaitannya dengan eksplorasi logam dasar dan hidrokarbon, pusat kegiatan suatu gunung api memegang peranan yang penting.

Kata kunci: merapi, kubah lava, fasies batuan gunung api, fosil gunung api, formasi andesit tua, eksplorasi logam dasar dan hidrokarbon.

¹⁾ Makalah dipresentasikan pada PSG, Bandung, 5-6 Desember, 2006

²⁾ Kandidat doktor pada program Pascasarjana Universitas Padjadjaran, Bandung dan pengajar pada Jurusan Teknik Geologi STTNAS Yogyakarta

³⁾ Pengajar pada Jurusan Geologi, FMIPA, Universitas Padjadjaran, Bandung

THE ROLE OF MERAPI VOLCANO IN THE IDENTIFICATION OF ANCIENT VOLCANO IN “OLD ANDESITE FORMATION”: A CASE STUDY IN WONOGIRI AREA¹

By:
Gendoet HARTONO² & Ildrem SYAFRI³

Abstract

Merapi becomes an ideal model of a modern composite volcano viewed from various aspects, namely geomorphology, volcanic rock facies, geologic structure and petrology. The volcanic rock facies analysis developed among others by Cas and Wright (1987), has become important in the reconstruction of the ancient volcanic activity. The topographic configuration of Merapi gently deeping toward its foot and to the plains in the surroundings, is very ideal for the development of facies analysis model covering the central part which is predominated by lava domes and volcanic necks and the slopes where the alternated lava flows and volcanic breccias occur representing the transition to medial facies. The pyroclastics with gradual distribution of grainsize which is finer along the down slope, might be assigned to the medial facies and to the transition of the distal facies. The structure of the initial stratification shows the strike that circulars to the volcanic center, while the dip gently points to the direction of the volcanic slope, away from the center. Both lava domes, lava flows and the pyroclastics attain the same age and relatively the comparable petrologic composition. It is thus, very ideal to develop a model for the facies analysis to be applied in ancient volcano. The model will be further used in the verification of the ancient volcano at the “Old Andesite Formation” exposed in Wonogiri area (van Bemmelen, 1949). The preliminary work resulted in the identification of some volcanic activity centers and the subcycles of each respective episodes. In view of base metal and hydrocarbon explorations, it is believed that the ancient volcanic centers serve an important guide.

keywords: merapi, lava dome, volcanic rock facies, ancient volcano, old andesite formation, base metal and hydrocarbon explorations.

¹ Presented at the PSG, Bandung, Desember 5-6, 2006

² Doctorate candidate at the Post Graduate Program, Padjadjaran University and Lecturer at Geology STTNAS, Yogyakarta

³ Lecturer at Department of Geology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Padjadjaran University

PENDAHULUAN

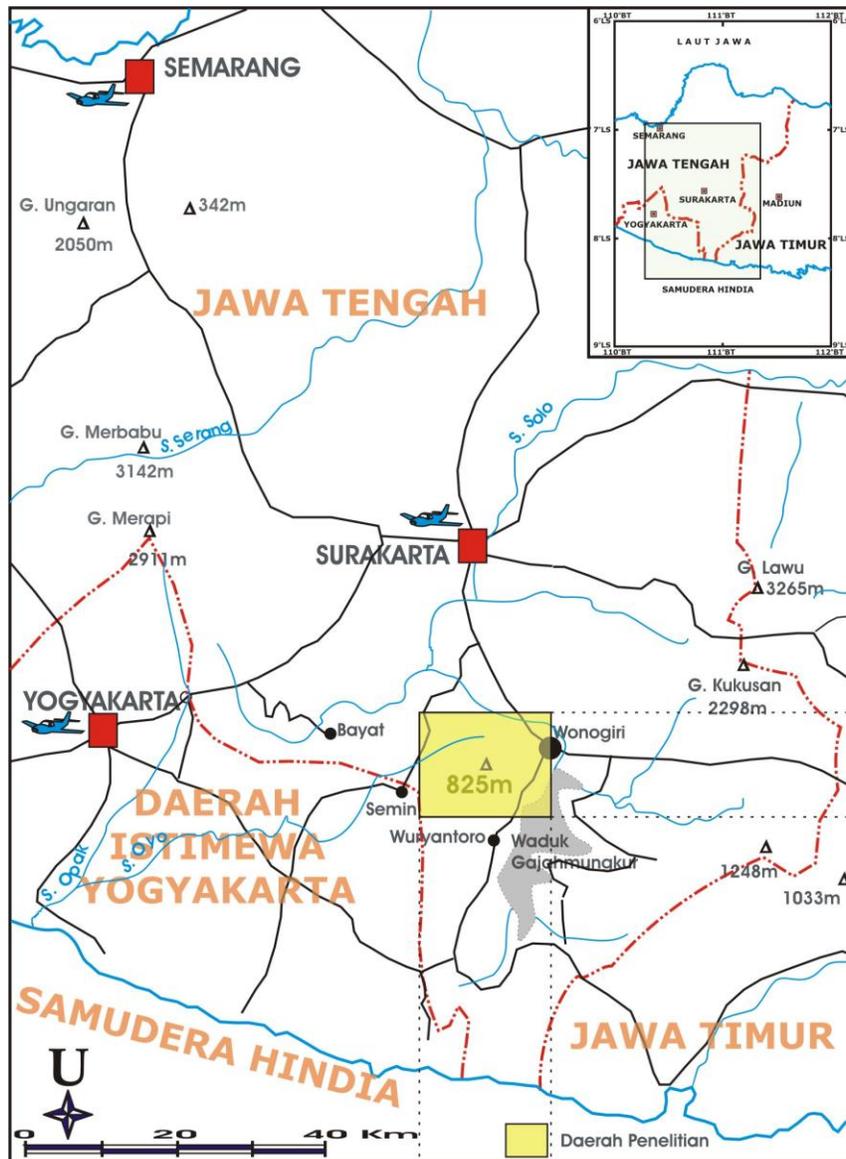
Indonesia kaya akan gunung api berumur Tersier hingga Resen. Sementara itu, batuan yang terbentuk sebagai hasil kegiatan gunung api pada Jaman Tersier tersingkap luas di Pulau Jawa bagian selatan, khususnya di Pegunungan Selatan daerah Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. Daerah Wonogiri yang menjadi pokok pembahasan terletak lebih kurang 25 km di sebelah selatan kota Surakarta atau sebelah timur kota Yogyakarta (Gambar 1).

Sejauh 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, et al., 1977; Martodjojo, 2003; Surono, et al., 1992; Samodra, et al., 1992). Di lain pihak, penelitian batuan gunung api berumur Tersier yang dikenal dengan “Formasi Andesit Tua” (van Bemmelen, 1949) berdasarkan pembelajaran ilmu kegunungapian dan petrologi batuan gunung api telah dilakukan oleh beberapa peneliti (sebagai contoh: Soeria-Atmadja, et al., 1994; Hartono, 2000; Bronto, 2003, dan Smyth, 2005). Namun, penelitian batuan gunung api yang berkaitan dengan penentuan lokasi sumber erupsinya belum dilakukan secara komprehensif.

Merapi dapat menjadi model kerucut komposit gunung api masakini dipandang dari aspek geomorfologi, fasies batuan gunung api, struktur geologi, dan petrologi. Bentuk bentang alam Merapi yang melandai ke arah kaki dan dataran sekitarnya memungkinkan untuk menjadi model analisis fasies yang mencakup bagian sentral yang didominasi oleh kubah lava/leher gunung api dan bagian lereng yang terbentuk oleh perlapisan lava dan breksi gunung api yang merupakan fasies proksimal. Batuan klastika gunung api yang menghalus searah dengan melandainya lereng, merupakan fasies medial dan transisi menuju fasies distal. Struktur perlapisan asal mempunyai jurus melingkar, sedangkan kemiringannya melandai menjauhi sumber erupsi sejalan dengan perubahan bentang alamnya.

Pengkajian gunung api berumur Kuartar ini bertujuan untuk mengidentifikasi pelamparan tubuh batuan gunung api purba “Formasi Andesit Tua” dan mengetahui

lokasi sumber erupsinya. Penentuan lokasi sumber erupsi gunung api purba berperan juga dalam kaitannya dengan eksplorasi logam dasar dan hidrokarbon.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian yang menjadi fokus pembahasan.

Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan pendekatan geologis. Pendekatan geologis ini melibatkan disiplin ilmu geomorfologi, stratigrafi-sedimentologi, petrologi, struktur geologi, dan vulkanologi. Karakteristik gunung api masa kini diantaranya bentuk dan letak sumber erupsi, bentuk gunung api, struktur

gunung api, dan komposisi batuan, dijadikan acuan untuk penentuan kedudukan dan kondisi gunung api masa lalu. Di samping itu, pengidentifikasian adanya fosil gunung api purba ini mengacu pada prinsip geologi yaitu semua kegiatan gunung api yang berlangsung masa kini seperti pembentukan batuan atau endapan gunung api, bentang alam gunung api, dan tipe letusan.

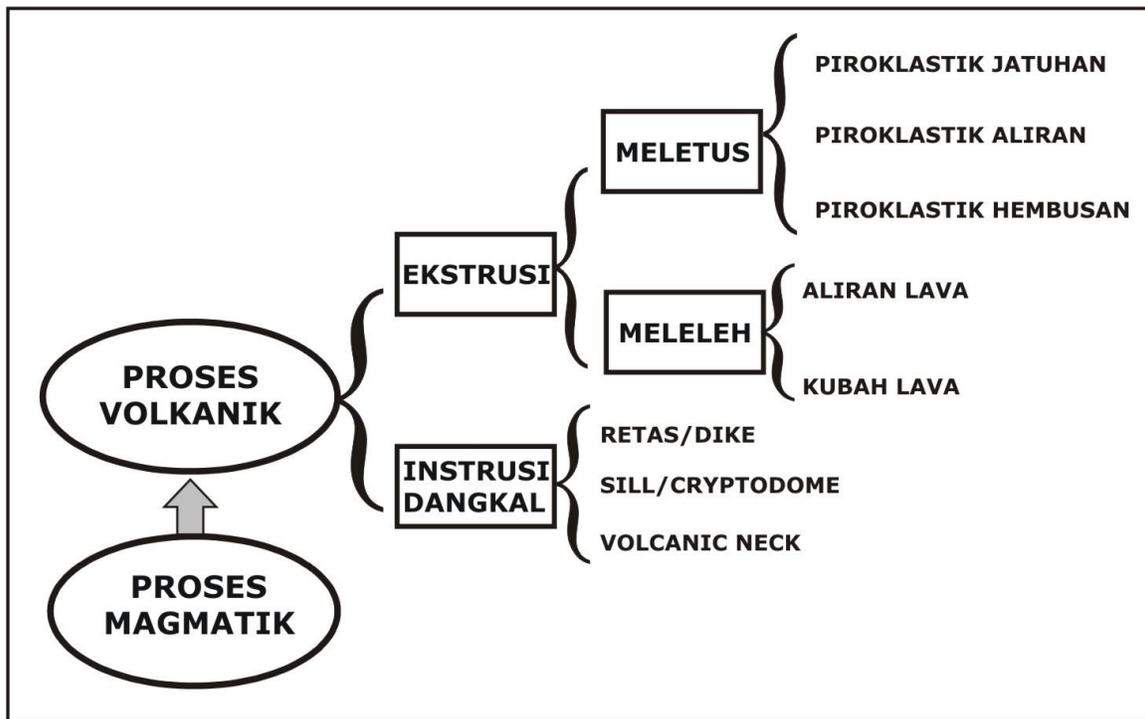
Studi bentang alam dipakai sebagai indikator awal pemisahan satuan-satuan *volcanic terrain* dengan mempertimbangkan kondisi morfologi (pola kontur) yang menunjukkan kesamaan resistensi batuan. Pola kontur yang terisolasi menunjukkan suatu tubuh yang lebih resisten dibanding daerah sekelilingnya (*intrusi/volcanic neck*), sedang pola kontur yang menyebar ke suatu arah menunjukkan satuan batuan dan arah akumulasi bahan gunung api. Pusat erupsi adalah bagian paling tinggi dari seluruh daerah yang ditandai oleh pola kontur yang memusat, aliran sungai berpola radier menjauhi sumber erupsi dan bentuk-bentuk *volcanic terrain* yang lain.

DASAR TEORI GEOLOGI GUNUNG API

Gunung api adalah tempat atau bukaan yang menjadi titik awal bagi batuan pijar dan atau gas yang keluar ke permukaan bumi dan bahan sebagai produk yang menumpuk di sekitar bukaan tersebut membentuk bukit atau gunung (Macdonald, 1972). Tempat atau bukaan tersebut disebut kawah atau kaldera, sedangkan batuan pijar dan gas adalah magma. Batuan atau endapan gunung api adalah bahan padat berupa batuan atau endapan yang terbentuk sebagai akibat kegiatan gunung api, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Simkin et al. (1981) dan Gill (1981) menyatakan bahwa gunung api masakini 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, 1986; Lorenz & Haneke, 2004), sedangkan breksi gunung api dan tuf sebagai

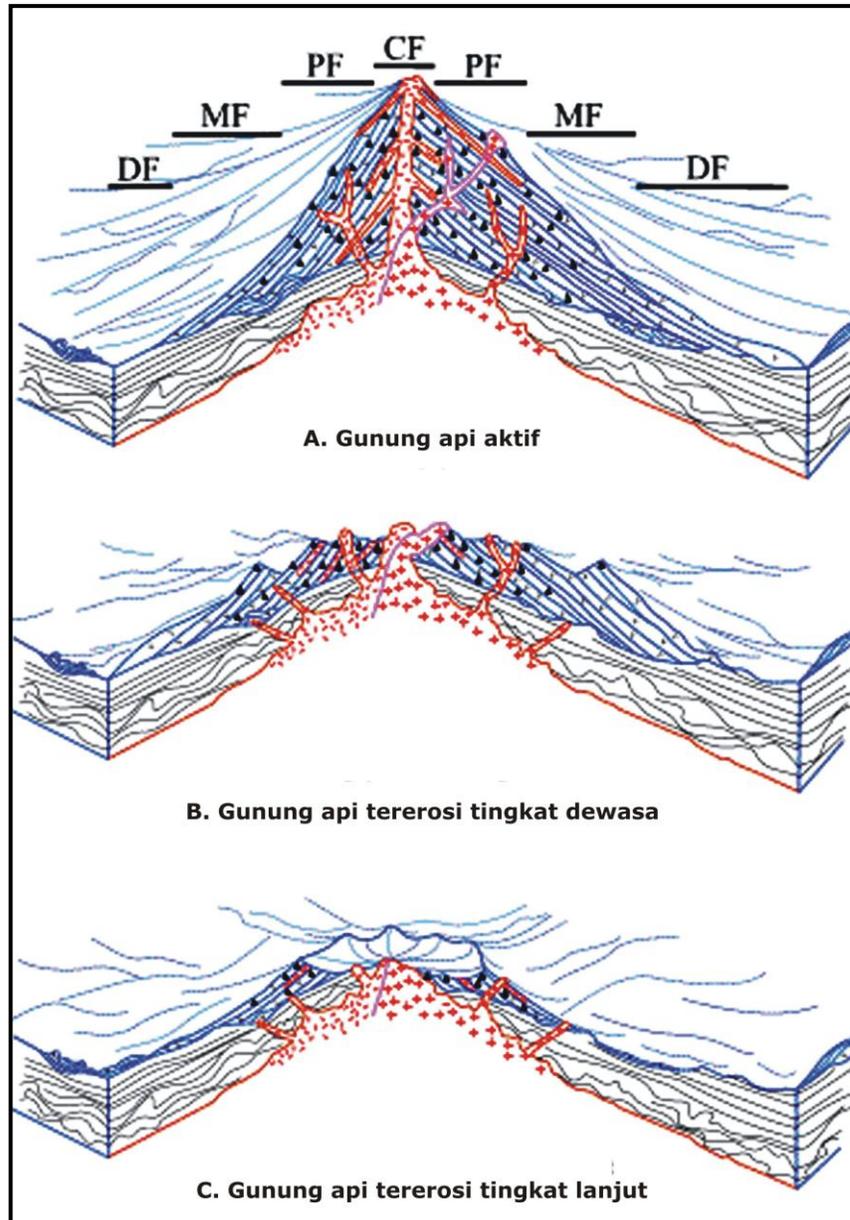
batuan piroklastika (primer) atau batuan sedimen epiklastika (sekunder). Secara petrologi batuan beku, intrusi dangkal (*subvolcanic intrusions*) mempunyai banyak persamaan dengan batuan beku luar dan batuan klastika gunung api di sekitarnya, antara lain bertekstur kaca, afanit dan hipokristalin porfir, 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.

Williams & MacBirney (1979); Vessel & Davies (1981); Bogie & Mackenzie, (1998); Bronto (2006) 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.

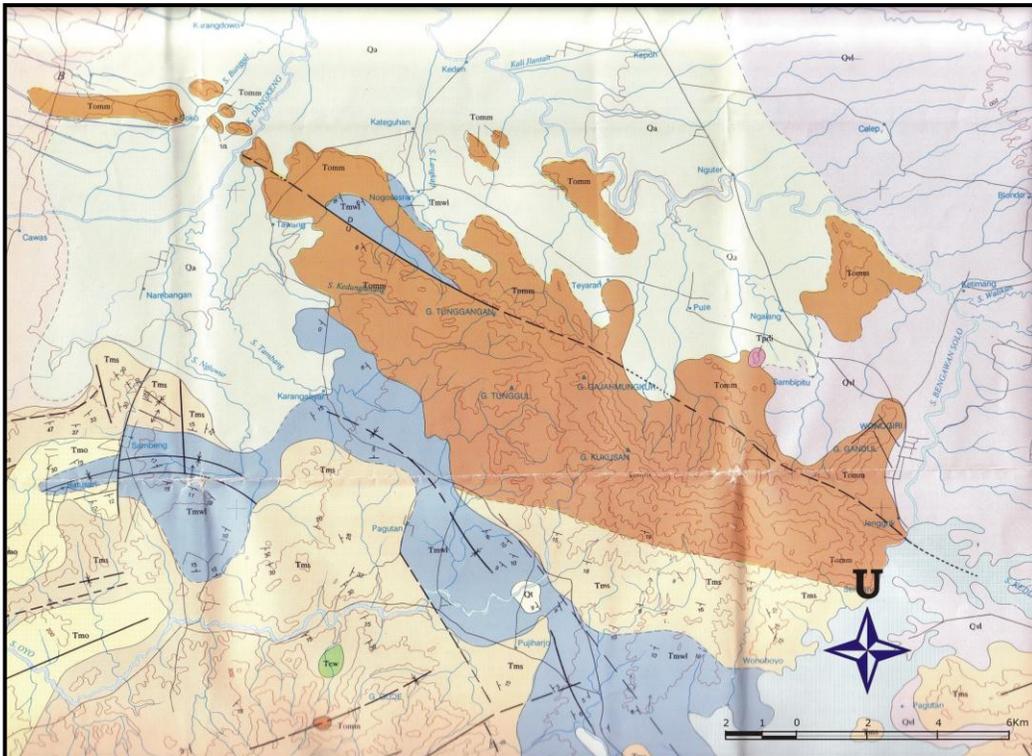
GEOLOGI

Van Bemmelen (1949) membagi zona fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur menjadi lima zona, dari selatan ke utara terdiri dari: Zona Pegunungan Selatan, Zona Solo, Zona Kendeng, Zona Randublatung, dan Zona Rembang. Berdasarkan pembagian zona fisiografi tersebut daerah penelitian berada dalam Zona Pegunungan Selatan. Zona Pegunungan Selatan berbatasan dengan Dataran Yogyakarta-Surakarta di sebelah barat dan utara, sedangkan di sebelah timur dengan Waduk Gajahmungkur, Wonogiri, dan di sebelah selatan dengan samudera Hindia.

Pegunungan Selatan merupakan wilayah yang terpengaruh oleh kegiatan volkanisme, yang ditunjukkan oleh keterdapatannya banyak batuan hasil kegiatan gunung api. Soeria-Atmadja, et al. (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 volkanisme secara jelas dapat diamati sejak Kala Oligosen, yaitu saat pembentukan Formasi Kebo-Butak hingga Kala Miosen dan pembentukan Formasi Oyo. Pembentukan batuan beku luar yang berselingan dengan breksi andesit piroklastika dan tuf andesit mengindikasikan tahap kegiatan volkanisme yang bersifat membangun (konstruktif) kerucut gunung api strato, sedangkan tahap kegiatan volkanisme bersifat merusak (destruktif) ditandai oleh melimpahnya breksi pumis, lapili pumis dan tuf berkomposisi andesit – dasit.

Hartono (2000) menyatakan bahwa batuan gunung api yang menyusun Zona Pegunungan Selatan Yogyakarta paling sedikit dihasilkan oleh lima pusat erupsi purba yaitu Khuluk Parangtritis, Khuluk Sudimoro, Bregada Baturagung, Bregada Gajahmungkur, dan Khuluk Wediombo. Kelima gunung api purba tersebut telah mengalami erosi lanjut dan pentarikan umur radiometri (K-Ar) dari beberapa penelitian (Soeria-Atmadja, et al., 1994; Hartono, 2000; Bronto, et al., 2005; Ngkoimani, 2005; Priadi & Mubandi, 2005; Akmaluddin, et al., 2005) menunjukkan umur absolut batuan gunung api yang dikelompokkan ke dalam Formasi Andesit Tua berkisar antara $59,00 \pm 1,94$ m.a. hingga $11,88 \pm 0,71$ m.a. Produk Bregada Baturagung berumur paling tua yaitu Paleosen dan produk Bregada Gajahmungkur berumur termuda yaitu Miosen. Hal ini menunjukkan adanya volkanisme yang terjadi secara berulang kali.

Pelamparan batuan gunung api berumur Tersier yang dihasilkan oleh peristiwa letusan maupun lelehan gunung api, berupa batuan masif dan batuan fragmental dalam berbagai ukuran dijumpai di lokasi penelitian. Surono dr., (1992) telah melakukan pemetaan geologi dan melakukan pengelompokan batuan gunung api kedalam Formasi Mandalika, Formasi Semilir, Formasi Wuni, dan Formasi Nglanggran (Gambar 4). 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 dan hubungan tidak selaras. Namun di beberapa tempat menunjukkan hubungan stratigrafi yang menerus, dan di lain tempat menunjukkan hubungan stratigrafi yang tidak menerus. Struktur geologi yang berkembang pada formasi batuan gunung api ditunjukkan oleh sesar normal berarah tenggara – baratlaut (ST-UB). Pada formasi batuan bukan asal gunung api berkembang struktur geologi berupa sinklin yang terletak di sebelah selatan formasi batuan gunung api.



Gambar 4. Peta geologi daerah Gunung Gajahmungkur, Wonogiri (disederhanakan dari Surono, dr., 1992).

Perselingan antara batuan gunung api masif dan fragmental baik fraksi kasar maupun halus yang dikelompokkan dalam Formasi Mandalika dan Formasi Semilir merupakan bagian dari sisa tubuh gunung api purba (Nugrahini, 1999; Hartono, 2000). Selanjutnya Hartono (2000) menyatakan, bahwa batuan gunung api penyusun Formasi Mandalika merupakan penciri produk kegiatan gunung api membangun, sedangkan batuan gunung api penyusun Formasi Semilir sebagai penciri produk kegiatan gunung api merusak. Selain itu, Hartono (2000) menyatakan Gunung api Gajahmungkur, Wonogiri merupakan Bregrada Gajahmungkur.

IDENTIFIKASI FOSIL GUNUNG API

Secara umum identifikasi bentang alam gunung api purba mengacu pada bentang alam gunung api moderen yang berkembang di kepulauan Indonesia. Sebagai contoh Gunung api Merapi, Sleman Yogyakarta mempunyai ciri-ciri berbentuk kerucut dengan lereng simetris, besar sudut lereng yang terbentuk melandai ke arah kaki gunung atau semakin terjal ke arah sumber erupsi. Bagian tertentu dari bibir kawah di puncak ada yang hilang akibat runtuh dan atau karena letusan. Terdapat beberapa bentuk bibir kawah gunung api moderen yaitu membulat, membulat lonjong, dan membulat membuka ke suatu arah atau berbentuk seperti tapal kuda. Selain itu, pola aliran sungai yang berkembang pada gunung api moderen berpola radial menjauhi sumber erupsinya.

Identifikasi bentang alam Gunung api Gajahmungkur tidak seluruhnya menyerupai seperti yang digambarkan pada gunung api moderen di atas (Gambar 5), hal ini karena beberapa faktor seperti faktor umur batuan yang sudah sangat tua sehingga batuan telah mengalami erosi sangat lanjut (Gambar 3). Faktor yang lain adalah gunung api yang bersangkutan telah mengalami erupsi letusan yang sangat dasyat hingga membentuk kaldera dan kemudian mengalami erosi tingkat lanjut. Sisa tubuh Gunung api Gajahmungkur membentuk gawir melingkar membuka ke arah utara – timur (UUT) seperti tapal kuda, sementara di bagian barat laut dan timurlaut masih menyisakan sedikit bentang alam pasangannya. Bentang alam tersebut disusun oleh formasi batuan gunung api berupa perselingan material masif dan material fragmental.

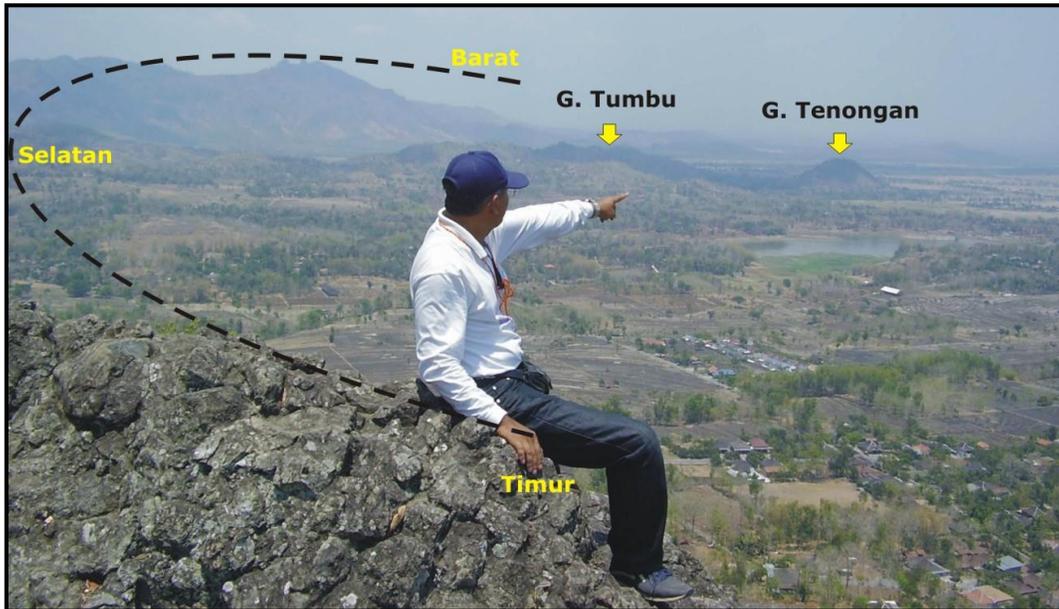


Gambar 5. Kenampakan sayap simetris fosil gunung api yang diwakili oleh sayap barat tinggian Gunung Gajahmungkur dan sayap timur tinggian Gunung Gandul.

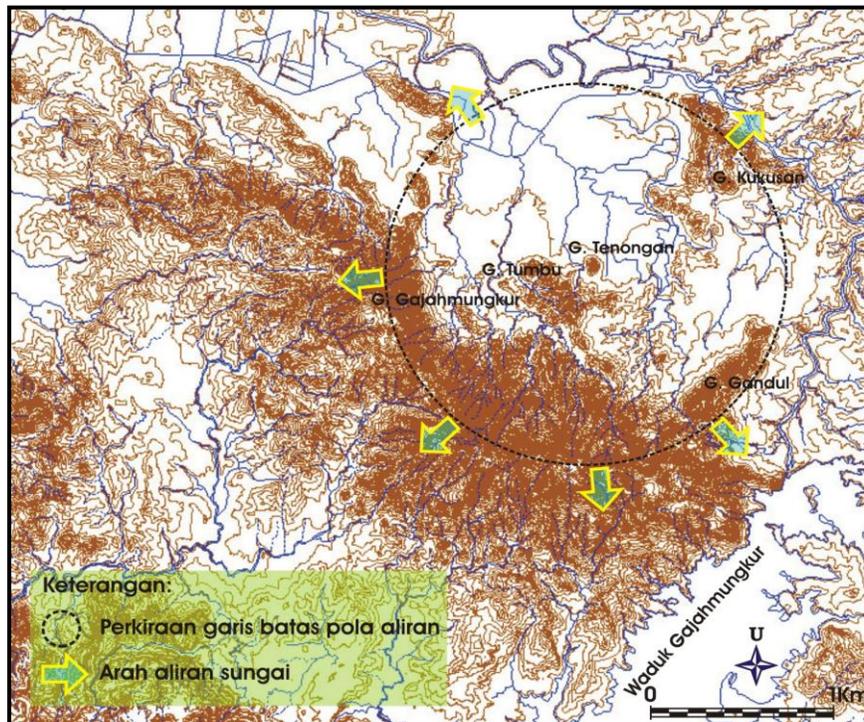
Bentang alam berbentuk tapal kuda terletak di bagian selatan yang pelamparannya berarah dari barat ke selatan membelok ke timur dan kemudian membelok lagi ke arah utara di bagian timur (Gambar 6). Di bagian dalam dari bentang alam tapal kuda tersebut dijumpai morfologi kerucut (tipe Somma?) batuan intrusi Gunung Tenongan, dan batuan intrusi kompleks Gunung Tumbu - Tulakan dan intrusi Kedungsono. Besar sudut lereng yang membentuk gawir kawah (?) purba lebih terjal ($20^{\circ} - 30^{\circ}$) dibanding pelamparannya di bagian kaki ($8^{\circ} - 12^{\circ}$). Di daerah tinggian Gunung api Gajahmungkur di gawir barat – baratdaya membentuk kemiringan batuan ke arah barat hingga baratdaya. Gunung Popok dan Gunung Ngroto yang melampar di bagian gawir selatan membentuk kemiringan batuan ke arah selatan, demikian pula Gunung Gandul di bagian gawir timur membentuk kemiringan batuan ke arah timur. Bentang alam pasangan dari bentang alam di bagian selatan adalah bentang alam Tiyaran bagian gawir barat laut membentuk kemiringan perlapisan batuan ke arah barat laut, dan bentang alam Gunung Kukusan bagian gawir timurlaut membentuk kemiringan perlapisan batuan ke arah timurlaut.

Gambar 7 memperlihatkan daerah aliran sungai (DAS) di bagian dalam dan bagian luar kawah purba. Daerah aliran sungai tersebut dibatasi oleh tinggian sisa bibir kawah yang membentuk bentang alam tapal kuda. Bagian luar, daerah aliran sungai tampak membentuk pola menyebar menjauhi gawir kawah (sumber erupsi), sedangkan bagian dalam daerah aliran sungai membentuk pola aliran memusat ke suatu tubuh sungai utama yang bermuara di daerah bukaan bentang alam tapal kuda di utara. Di sisi lain, Bengawan Solo yang berkembang sebagai sungai utama mengalir dari selatan di sisi timur tubuh batuan Gunung api Gajahmungkur ke arah utara dan kemudian membelok ke

arah barat di sisi utaranya. Bentuk daerah aliran sungai utama tersebut setengah melingkar dan menempati kaki-kaki tinggian Gunung Gajahmungkur.



Gambar 6. Kenampakan struktur tapal kuda yang bagian dalamnya terdapat batuan intrusi Gunung Tenongan dan kompleks intrusi Gunung Tumbu.



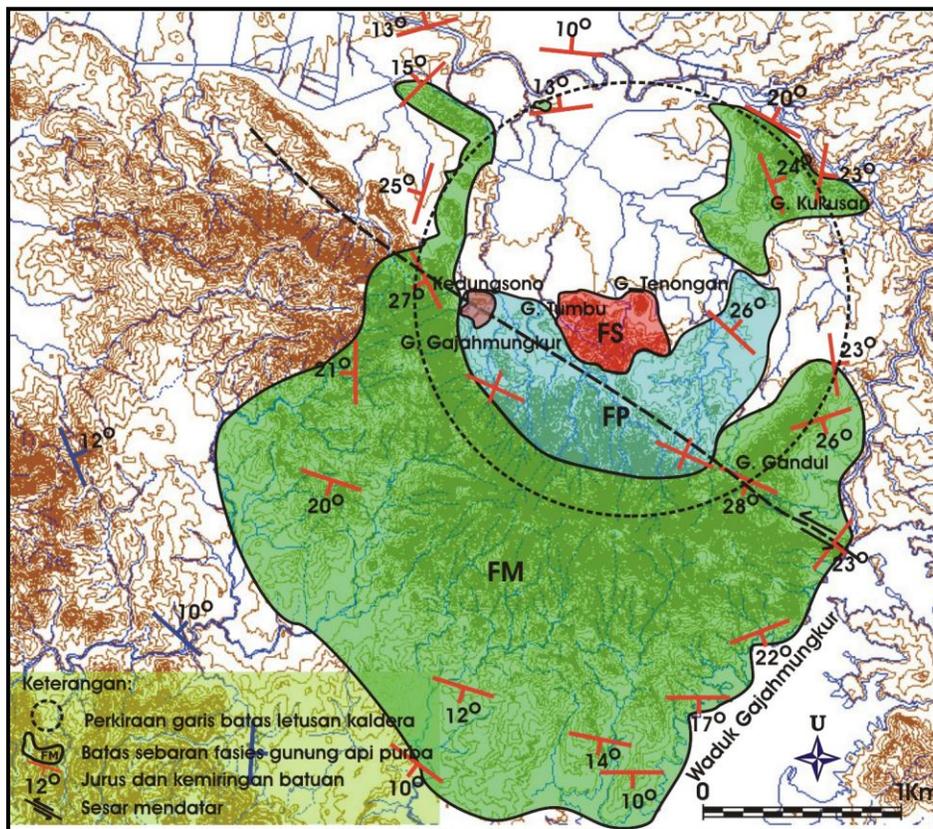
Gambar 7. Identifikasi fosil gunung api berdasarkan pola kontur dan pola aliran.

Identifikasi sebaran batuan gunung api mengacu pada pembelajaran proses naiknya magma ke permukaan bumi hingga proses pengendapan material masif dan fragmental di permukaan bumi. Naiknya magma ke permukaan bumi dan dalam perjalanannya dapat berhenti dan membeku menjadi batuan intrusi dangkal membentuk retas, *sill*, *cryptodome*, dan leher gunung api. Magma yang dapat mencapai ke permukaan bumi membentuk kubah lava dan aliran lava. Hal ini dapat menjadi gambaran terjadinya batuan intrusi Kedungsono dan intrusi Gunung Tenongan yang terletak pada bagian dalam bentang alam tapal kuda. Sementara itu, keluarnya magma ke permukaan bumi secara meletus akan menghasilkan batuan gunung api fragmental berbagai ukuran mulai dari tuf, lapili, blok, dan bom gunung api. Hal tersebut dapat menjadi gambaran proses penyebaran dan pengendapan batuan gunung api fragmental yang menempati daerah tinggian dan rendahan Gunung Gajahmungkur.

Mengacu pada letak pelamparan batuan gunung api masif maupun fragmental terhadap sumber erupsi pada gunung api masa kini, maka dapat digambarkan arah, luas dan bentuk sebaran asosiasi batuan gunung api sebagai produk lelehan maupun letusan purba Gunung api Gajahmungkur. Fasies Sentral ditunjukkan oleh lokasi batuan intrusi Gunung Tenongan dan batuan intrusi Kedungsono berkomposisi andesit porfiri atau mikrodiorit. Selain itu, batuan intrusi juga dijumpai di antara kedua batuan intrusi di atas yaitu di Dusun Tulakan atau bagian intrusi kompleks Gunung Tumbu. Sebaran batuan intrusi ini menempati lokasi di bagian dalam (tengah ?) dari struktur bentang alam tapal kuda Gunung api Gajahmungkur. Tubuh batuan intrusi mengalami pelapukan hidrotermal yang memperlihatkan warna sangat variatif. Selain itu, dijumpai proses mineralisasi yang membentuk mineral-mineral ekonomi hidrotermal.

Asosiasi batuan gunung api yang menempati Fasies Proksimal adalah batuan beku luar. Batuan beku luar yang membentuk tinggian Gunung api Gajahmungkur berupa aliran lava andesit dan breksi piroklastik atau breksi gunung api. Fasies ini juga disusun oleh perselingan antara aliran lava dan breksi piroklastik, dan tuf. Tubuh aliran lava mengalami pengkekar dan beberapa ruang kekar tersebut telah terisi oleh material sekunder berupa kalsit dan kuarsa. Bentuk pelamparan fasies gunung api ini melingkar membuka ke utara melingkupi batuan intrusi. Bentang alam fasies ini memperlihatkan relief lebih tinggi dan terjal dibandingkan dengan fasies sentral.

Bentang alam tinggian yang membentuk gawir tapal kuda membuka ke utara menempati Fasies Medial. Fasies Medial disusun oleh material fragmental gunung api fraksi kasar berupa breksi piroklastik dengan fragmen batuan beku andesit, bom dan blok gunung api berukuran 20 cm – 45 cm. Bentuk fragmen umumnya runcing – runcing tanggung dan tertanam di dalam matrik berukuran tuf kasar. Perselingan batuan penyusun fasies ini memperlihatkan ketebalan yang bervariasi mulai dari beberapa centimeter hingga meter dan memperlihatkan struktur sedimen berupa struktur laminasi, struktur silang siur, struktur perlapisan bersusun, struktur masif, dan struktur perlapisan bersusun terbalik. Pada perlapisan batuan yang disusun oleh material berukuran tuf halus terdapat endapan bergelombang (*surges*). Pelamparan batuan penyusun fasies ini melingkupi kedua fasies sebelumnya yaitu Fasies Sentral dan Fasies Proksimal (Gambar 8). Secara umum batuan gunung api penyusun Fasies Sentral, Fasies Proksimal, dan Fasies Medial disusun oleh batuan yang dikelompokkan ke dalam Formasi Mandalika.



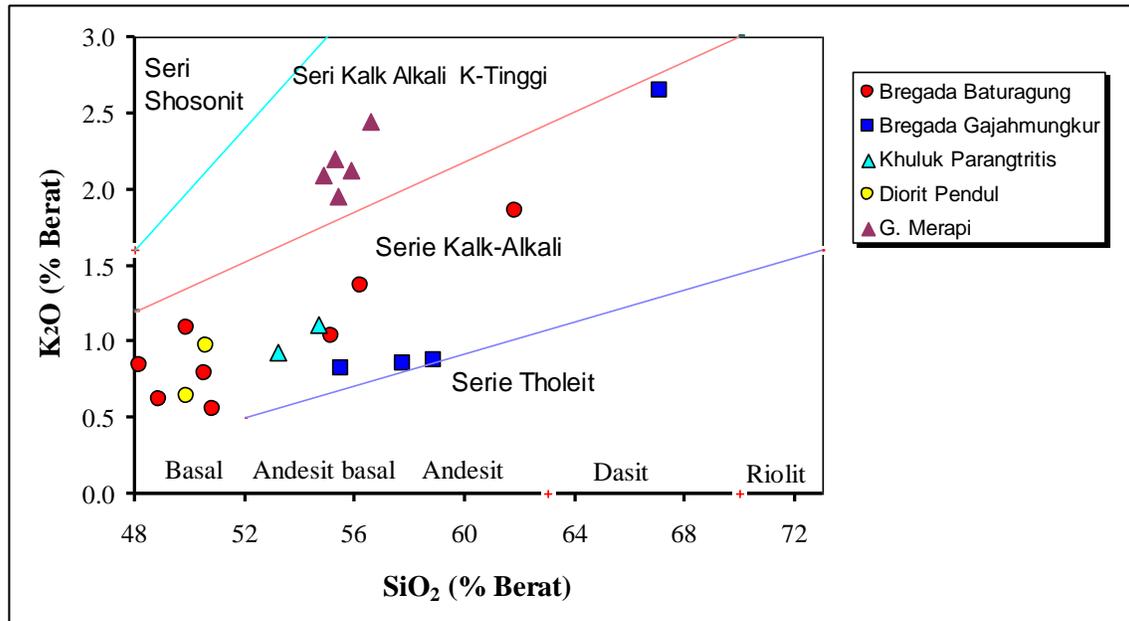
Gambar 8. Identifikasi fosil gunung api berdasarkan pelamparan litologi (penerapan konsep fasies gunung api) dan struktur gunung api. FS = Fasies Sentral, FP = Fasies Proksimal, FM = Fasies Medial.

Fasies Distal tidak tersingkap di daerah penelitian, hal ini kemungkinan telah tertutup oleh batuan yang lebih muda seperti batuan karbonat di sebelah selatan dan baratdaya, endapan Gunung api Merapi di sebelah barat laut dan utara, dan di sebelah timur tertutup oleh endapan Gunung api Lawu. Berdasarkan konsep fasies gunung api, Fasies Distal menempati posisi pelamparan material fragmental paling jauh dari sumber erupsi atau fasies terluar dari ke empat fasies gunung api. Secara umum fasies ini disusun oleh hampir semuanya berupa material gunung api fragmental berukuran halus hingga sedang dan berbentuk membulat hingga membulat tanggung. Material hasil pengerjaan ulang batuan gunung api berupa breksi lahar, konglomerat, tuf kasar dan tuf halus dengan bentuk butir telah mengalami pembulatan. Perselingan batuan fraksi kasar dan fraksi halus penyusun fasies ini memperlihatkan ketebalan total tipis dibanding dua fasies sebelumnya dan memperlihatkan struktur sedimen berupa struktur laminasi, struktur silang siur, struktur perlapisan bersusun, struktur masif, dan struktur perlapisan bersusun terbalik. Pelamparan batuan fasies ini membentuk bentuk alam landai hingga datar, dan menempati daerah kaki dari suatu tubuh gunung api. Bentuk dari sebaran batuan yang menyusun fasies ini melingkar melingkupi ke tiga fasies sebelumnya.

Identifikasi struktur geologi yang mengacu pada pembelajaran struktur geologi gunung api memperlihatkan adanya pola kemiringan batuan klastika gunung api melingkar menyebar menjauhi sumber erupsi dan semakin besar mendekati sumber erupsi (Gambar 8). Artinya kenampakan morfologi bentang alam semakin terjal ke arah sumber erupsi. Sementara itu, pola struktur kemiringan batuan di bagian utara ditunjukkan oleh material klastika gunung api yang miring ke utara berupa breksi andesit dan batupasir berstruktur gradasi dan silang siur. Struktur sesar mendatar mengkiri yang memotong bagian tengah tubuh Fasies Sentral Gunung api Gajahmungkur berarah tenggara – barat laut.

Identifikasi tubuh gunung api melalui pembelajaran petrologi – geokimia batuan gunung api menunjukkan adanya kesamaan tekstur dan komposisi. Batuan Gunung api Gajahmungkur bertekstur gelas, porfiri hingga fanerik halus, berkomposisi andesit basal hingga dasit, namun masih dalam satu afinitas atau seri magma yang sama (seri kalk-alkali). Perajahan batuan ini menunjukkan adanya koherenitas antara batuan intrusi pada

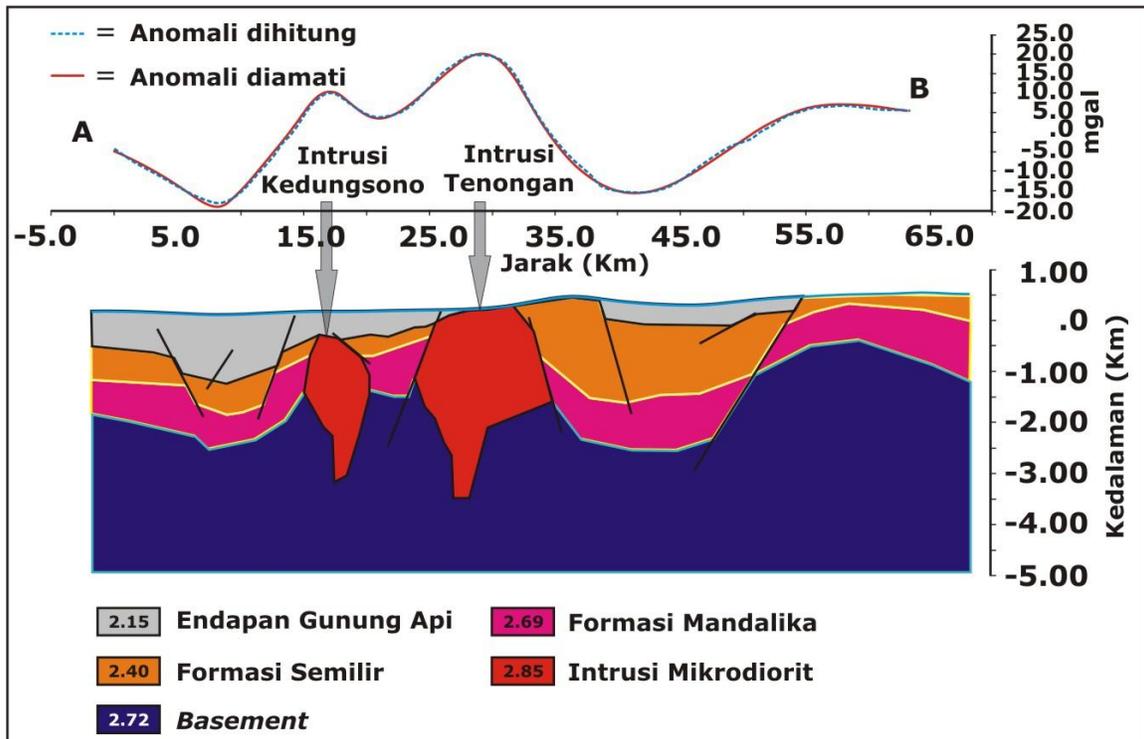
Bregada Gajahmungkur dengan batuan klastika gunung api yang melingkupinya yaitu seri kalk-alkali (Gambar 9). Dibandingkan dengan perajahan batuan gunung api dari berbagai sumber erupsi namun masih dalam satu Zona Pegunungan Selatan juga memperlihatkan pola sebaran afinitas yang sama yaitu kalk-alkali.



Gambar 9. Identifikasi fosil gunung api di Pegunungan Selatan (Hartono, 2000) berdasarkan analisis petrokimia di bandingkan dengan Gunung api Merapi.

Identifikasi pelamparan batuan gunung api bawah permukaan bumi menunjukkan adanya dua batuan intrusi dengan berat jenis 2,85 gr/cm³ dan mempunyai kedalaman sekitar 3 km di bawah permukaan bumi (Gambar 10). Kedua batuan intrusi tersebut tersingkap di Fasies Sentral yaitu di daerah Tenongan dan daerah Kedungsono. Jarak antara kedua batuan intrusi tersebut kira-kira 5 km – 10 km. Selain itu, batuan klastika gunung api mempunyai berat jenis berkisar antara 2,4 gr/cm³ hingga 2,69 gr/cm³ yang pelamparannya di sekitar atau melingkupi batuan intrusinya (Setiadi dan Sobari, 2005). Penampang morfologi batuan intrusi bawah permukaan bumi memperlihatkan bentuk tubuh batuan intrusi memanjang vertikal dan menerobos beberapa batuan klastika gunung api yang mempunyai berat jenis lebih kecil. Bentuk batuan intrusi tersebut menggelembung di bagian tengah dan mengecil di bagian atas dan bawah, sementara itu

tubuh batuan intrusi di Gunung Tenongan lebih gemuk dibanding tubuh batuan intrusi di daerah Kedungsono. Hal ini juga tercermin di permukaan bumi yaitu morfologi batuan intrusi Gunung Tenongan lebih tinggi dan lebih luas pelamparannya dibanding batuan intrusi daerah Kedungsono.



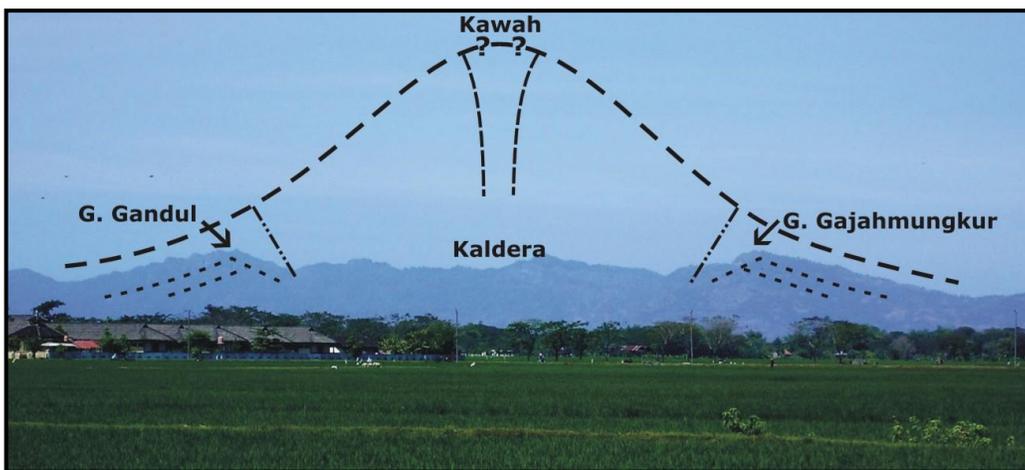
Gambar 10. Identifikasi fosil gunung api bawah muka bumi berdasarkan anomali gaya berat (disederhanakan dari Setiadi dan Sobari, 2005).

DISKUSI

Keberadaan gunung api purba dapat diidentifikasi dari berbagai faktor pendukung yang mencirikan adanya sisa tubuh gunung api. Secara geologi, faktor-faktor pendukung terhadap keberadaan fosil Gunung api Gajahmungkur di Wonogiri telah diidentifikasi seperti yang tersebut di atas. Di samping itu, identifikasinya diawali dengan memasukkan aspek pembelajaran gunung api moderen untuk penggambaran karakteristiknya.

Geomorfologi gunung api kerucut moderen Merapi sudah tidak tampak lagi pada fosil Gunung api Gajahmungkur, Wonogiri, namun kesan kerucut yang dibentuk oleh sisa

tubuh Fasies Medial masih dapat dikenali. Kesan kerucut tersebut diperlihatkan oleh pasangan sayap-sayap yang masih nampak simetris yaitu sayap barat tinggian Gunung Gajahmungkur, sayap timur tinggian Gunung Gandul (Gambar 10), sayap timurlaut tinggian Kukusan, dan sayap baratlaut tinggian Tiyan. Sementara ujung sayap bagian dalam memperlihatkan 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. Hasil rekonstruksi terhadap unsur-unsur utama geomorfologi gunung api memperlihatkan adanya massa batuan gunung api yang hilang. Massa batuan gunung api tersebut merupakan produk fase konstruksi kerucut gunung api. Fase konstruksi terdiri dari perselingan antara batuan hasil kegiatan lelehan dan letusan gunung api. Fase pembangunan ini kemungkinan berlangsung dalam waktu cukup lama, kemudian diikuti oleh fase destruksi. Fase destruksi di sini ditunjukkan dengan pembentukan kaldera Gajahmungkur. 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.



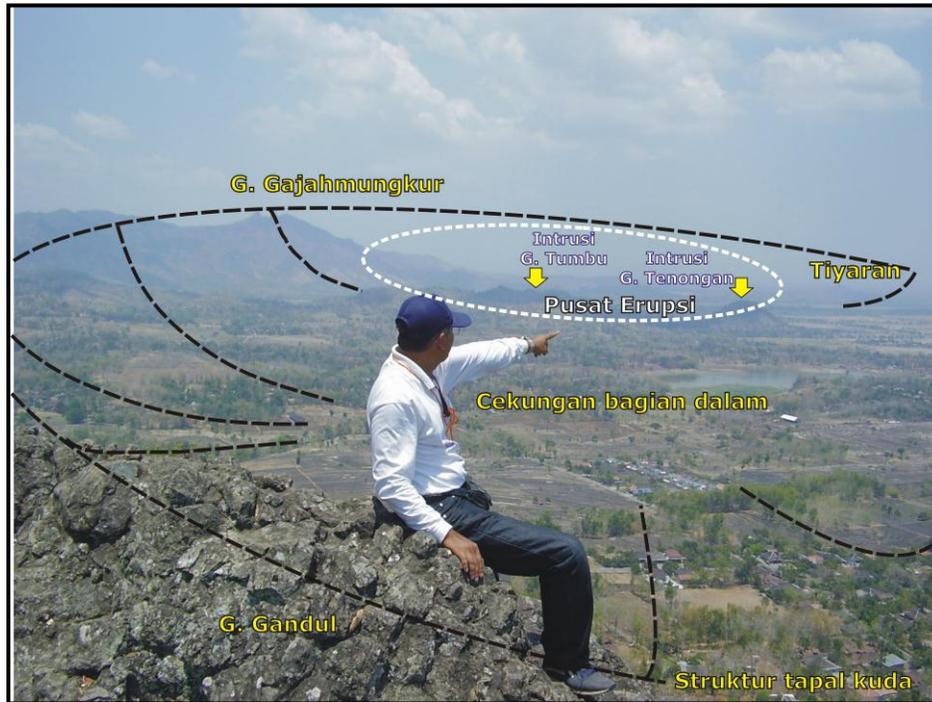
Gambar 10. Rekonstruksi yang menggambarkan kenampakan sayap simetris fosil gunung api, kemiringan awal batuan, posisi kawah dan kaldera purba.

Di sisi lain, gambar tersebut juga memperlihatkan morfologi berelief kasar di bagian belakang atau menempati sayap tinggian selatan. Morfologi ini menunjukkan adanya bentuk cekungan yang khas dan membuka ke arah utara. Kekhasan morfologi bukaan tersebut adalah membentuk struktur melingkar membuka menyerupai tapal kuda. Di dalam cekungan yang membuka tersebut tersingkap batuan intrusi Gunung Tenongan, intrusi kompleks Gunung Tumbu, dan intrusi Kedungsono (Gambar 11). Struktur tapal kuda yang di dalamnya dijumpai batuan intrusi merupakan ciri utama keberadaan sumber erupsi purba.

Pembentukan struktur tapal kuda yang membuka ke arah utara kemungkinan berhubungan dengan adanya struktur geologi yaitu tektonik dan gunung api. Sesar mendatar mengkiri bersekala besar berarah tenggara – baratlaut. Secara morfologi, tampak adanya *off-set* blok bagian utara dan blok bagian selatan, hal ini tercermin pada morfologi daerah Sumber di tenggara dan morfologi daerah Gunung Sepikul di baratlaut. Di samping itu, struktur gunung api sebagai akibat aktivitas gunung api sendiri, khususnya yang bersifat meletus (pusat atau samping) berperan terhadap pembentukan struktur tapal kuda. Hal ini dapat dikaitkan dengan kegiatan Gunung api Merapi sekarang ini yaitu adanya perubahan arah bukaan tempat keluarnya material gunung api. Artinya, status “tidak meletus” saja dapat merubah arah bukaan, sebaliknya bila meletus dapat membentuk struktur bukaan baru. Penjelasan kedua hal ini, kemungkinan saling mendukung hingga terbentuknya struktur tapal kuda di gunung api Gajahmungkur.

Batuan intrusi dangkal berkomposisi andesit tersebut bertekstur porfiritik hingga fanerik halus membentuk morfologi kerucut simetris (Gunung Tenongan) di dalam kawah purba. Morfologi sisa kawah purba ini di susun oleh batuan klastika dan piroklastika gunung api dan berasosiasi dengan Fasies Medial gunung api, sedangkan batuan intrusinya menempati Fasies Sentral gunung api. Hal ini menggambarkan adanya magmatisme dan volkanisme di lokasi singkapan batuan intrusi pada waktu itu, dan batuan gunung api produk lelehan dan letusan gunung api tersebut diendapkan di sekitar batuan intrusi hingga melingkupinya membentuk kerucut tubuh gunung api. Secara umum batuan gunung api bertekstur klastik yang dihasilkan proses volkanisme Gunung api Gajahmungkur tersebar secara radial menjauhi sumber erupsi, dan ukuran butir

semakin membesar, semakin meruncing mendekati sumber erupsi. Walaupun beberapa fasies gunung apinya tidak dijumpai secara lengkap.



Gambar 11. Rekonstruksi yang menggambarkan lokasi pusat erupsi, kaldera, dan struktur tapal kuda Gunung api Gajahmungkur.

Fenomena alam pembentukan gunung api berikut produk batuan gunung api di Gunung api Gajahmungkur, Wonogiri menunjukkan keberlangsungan periode pembangunan (*constructive*) dan periode perusakan (*destructive*). Periode pembangunan dibuktikan dengan keterdapatannya perselingan antara aliran lava dengan breksi piroklastik dan tuf (Formasi Mandalika), sedangkan periode perusakan diindikasikan oleh material gunung api berupa breksi pumis, breksi tuf, dan breksi pumis tufan (Formasi Semilir). Berdasarkan kriteria Indeks Letusan Gunung Api (*Volcano Explosivity Index*; Newhall dan Self, 1982), periode pembangunan berkaitan dengan kegiatan gunung api yang bersifat lelehan dan letusan kecil ($VEI = 1 - 4$), sedangkan yang bersifat perusakan berkaitan dengan kegiatan gunung api yang bersifat letusan dahsyat ($VEI = 5 - 8$). Periode pembangunan merepresentasikan pembentukan Fasies Sentral dan Fasies Proksimal, sedangkan periode perusakan merepresentasikan pembentukan Fasies Medial dan Fasies Distal di samping aspek-aspek lain yang menyertainya.

Pada gambar 10 dan gambar 11 memperlihatkan adanya diameter terukur kawah lebih dari 2000 m, jadi masuk dalam klasifikasi kaldera. Kaldera dapat dikaitkan dengan pembentukan gunung api letusan paroksimal, yang kemudian diikuti proses lain seperti pelapukan lanjut khususnya untuk gunung api purba. Proses kedua masih memerlukan penelitian lanjut karena berhubungan dengan iklim yang sangat panjang, laju erosi, dan massa batuan yang sangat besar di samping aspek-aspek lain yang mempengaruhinya. Produk letusan paroksimal di daerah Gunung api Gajahmungkur, Wonogiri berupa pumis dan tuf berkomposisi asam yaitu dasit. Hal ini memberi gambaran bahwa di dalam pembentukan gunung api strato mengalami istirahat yang cukup lama, sehingga magma cukup waktu berdiferensiasi dan mengakumulasi energi untuk kemudian melepaskan energi berupa letusan yang sangat kuat. Letusan tersebut menghancurkan bagian puncak kerucut gunung api komposit tersebut. Selain membentuk struktur tapal kuda yang membuka ke arah utara. Sejalan dengan proses-proses endogen dari dalam bumi dan proses-proses eksogenik yang berlangsung di permukaan bumi berupa pelapukan, erosi, transportasi dan sedimentasi, dan aktivitas biologi yang berlangsung hingga sekarang telah ikut membantu membentuk morfologi fosil gunung api purba seperti saat ini.

Penentuan pusat erupsi gunung api purba dan pemetaan rinci terhadap sebaran tubuh gunung api yang tercermin pada fasies gunung api perlu ditingkatkan. Hal ini berkaitan dengan pencarian lokasi sumber energi yang baru. Hal pertama yaitu penentuan pusat erupsi yang berkaitan langsung (primer) dengan adanya proses mineralisasi hidrotermal yang berimplikasi terhadap eksplorasi logam dasar. Sementara itu, hal kedua berkaitan dengan cekungan – cekungan antar gunung api sebagai tempat atau wadah akumulasinya sedimen gunung api klastik berukuran lempung hingga pasir, endapan hasil pengerjaan ulang, dan batuan karbonat. Secara umum, endapan – endapan bertekstur klastik tersebut menempati fasies distal. Endapan tersebut berpotensi terhadap akumulasi hidrokarbon.

KESIMPULAN

- Keberadaan fosil gunung api dapat diidentifikasi berdasarkan aspek-aspek geologi gunung api moderen yang meliputi pembelajaran geomorfologi, sedimentologi-stratigrafi, vulkanologi, petrologi-geokimia, struktur geologi gunung api, dan pembelajaran model bawah muka bumi.
- Sumber erupsi purba terletak di daerah Tenongan, Jendi, yang dicirikan oleh batuan intrusi dangkal Gunung Tenongan, kompleks intrusi Gunung Tumbu, dan intrusi Kedungsono. Mineral-mineral ekonomis ditemukan sebagai akibat alterasi hidrotermal di daerah Fasies Sentral.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmaluddin, Setijadji, D.L., Watanabe, K., & 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.
- 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.
- Bronto, S., 2003, Gunung Api Tersier Jawa Barat: Identifikasi dan Implikasinya, *Majalah Geologi Indonesia*, 18, pp 111-135.
- Bronto, S., 2006, Fasies Gunung Api dan Aplikasinya, *Jurnal Geologi Indonesia*, v. 1, n. 2, pp 59-71.
- Bronto, S., Bijaksana, S., Sanyoto, P., Ngkoimani, L.O., Hartono, G., & Mulyaningsih, S., 2005, Tinjauan Vulkanisme Paleogene Jawa, *Majalah Geologi Indonesia*, v. 20, n. 4, pp 195-204.
- Cas, R.A.F. & J.V. Wright, 1987, *Volcanic Successions, Modern and Ancient*, Allen & Unwin, London, 528 p
- Fisher, R. V., and Schmincke, H. M., 1984, *Pyroclastic Rocks*, Springer-Verlag, Berlin, 472 p.
- Gill, J.B., 1981, *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*, Springer – Verlag, 390 p.
- Hartono, G., 2000, Studi Gunung api Tersier: Sebaran Pusat erupsi dan Petrologi di Pegunungan Selatan Yogyakarta. Tesis S2, ITB, 168 p, tidak diterbitkan.
- Lorenz, V. & 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, in Breitkreuz, C. & Petford, N., (Eds.), *Physical Geology of High-Level Magmatic Systems*, *Geological Soc. London*, pp 75-124.

- Macdonald, A.G., 1972, *Volcanoes*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 510 p.
- Martodjojo, S., 2003, *Evolusi Cekungan Bogor, Jawa Barat*, Disertasi Doktor, Fakultas Pasca Sarjana, ITB, Indonesia.
- Newhall, C.G., dan Self, S., 1982, The Volcanic Explosivity Index (VEI): An estimate of explosive magnitude of historic eruptions: *Journal of Geophysical Research*, v. 87, p. 1231-1238.
- 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 p.
- Nugrahini, A., 1999, Stratigrafi Batuan Asal Gunung Api di Daerah Wonogiri Jawa Tengah, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, tidak diterbitkan.
- Priadi, B., & 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, *Direktorat Geologi*, Bandung.
- Samodra, H., Gafoer, S., dan Tjokrosapoetro, S., 1992, Peta Geologi Lembar Pacitan, skala 1:100.000, *Direktorat Geologi*, Bandung.
- Setiadi, I dan Sobari, I., 2005, Aplikasi Gaya Berat dan Geolistrik Mise-A-La-Masse untuk Pendugaan Struktur Geologi Bawah Permukaan dan Implikasinya Terhadap Gejala Mineralisasi di Daerah Wonogiri, Jawa Tengah, *Jurnal Sumber Daya Geologi*, XV, No. 1, Apr. pp 13-25.
- Simkin, T., Siebert, L., McClelland, L., Bridge, D., Newhall, C., 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 p.
- Smyth, H., 2005, Eocene to Miocene Basin History and Volcanic Activity in East Java, Indonesia, Disertasi Doktor, Department of Geology Royal Holloway, University of London, 470 p.
- 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, pp 13-27.
- Surono, Sudarno, I dan Toha, B., 1992, Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, skala 1:100.000, *Direktorat Geologi*, Bandung.
- van Bemmelen, R.W, 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol IA, Government Printing Office, pp 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*.
- Williams and Mac Birney, 1979, *Volcanology*, Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 397 p.