



Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY

Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



Volume 16, No.2
Agustus 2018

KARAKTERISTIK GEOMORFOLOGI GUNUNG API AKTIF DAN GUNUNG API PADAM: KASUS G. MERAPI & G. GAJAHMUNGKUR, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA DAN JAWA TENGAH

THE GEOMORPHOLOGIC CHARACTERISTICS OF ACTIVE AND DORMANT VOLCANOES: CASE STUDY OF MERAPI & GAJAHMUNGKUR VOLCANOES, YOGYAKARTA SPECIAL PROVINCE AND CENTRAL JAVA

Hill. G. Hartono¹ dan Adjat Sudradjat²

¹Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta

²Universitas Padjadjaran Bandung

e-mail: hilghartono@sttnas.ac.id dan asudradjat@yahoo.com

Abstrak

Morfologi gunung api dapat memberikan informasi tentang sejarah pembentukan dan aktivitasnya pada gunung api aktif yang sedang membangun seperti yang diperlihatkan dalam kasus gunung api strato seperti Merapi di Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. Tujuan penulisan ini untuk mengungkap sejarah pembentukan bentang alam gunung api padam (misal G. Gajahmungkur, Wonogiri) berdasarkan pembelajaran gunung api aktif (G. Merapi, Yogyakarta). Metode pendekatan yang dilakukan adalah menerapkan prinsip geologi *The present is the key to the past* pada geologi gunung api. Pada dasarnya konsep fasies gunung api merefleksikan morfologi G. Merapi dengan ideal. Fasies sentral dengan kemiringan 30-40°, berpenampilan halus, fasies medial dengan sudut 20-30° dengan penampilan kasar dan fasies distal yang relatif datar 10-20° merupakan tempat deposisi material vulkanik dan lahar. Di antara tataan fasies dibatasi oleh lekuk pada lereng atau *break in slope* yang menggambarkan pula pola tata air radier dan vegetasi.

Pada gunung api stadium lanjut, morfologi utama adalah kawah dan bibir kawah yang sebagian sudah rusak, bahkan sudah hilang tererosi. Rekonstruksi bentuk kawah dapat dilakukan dengan pemetaan geologi menggunakan konsep fasies vulkanik G. Gajahmungkur di Jawa Tengah diambil sebagai studi kasus.

Kata kunci: *gunung api aktif; gunung api padam; fasies gunung api; merapi; gajahmungkur.*

Abstract

The volcanic morphology provides the information about the history of the genesis and activities of an active volcano which is still developing as demonstrated by Merapi strato volcano in Special Province of Yogyakarta and Central Java. The purpose of the present study is to reveal the history of the geomorphology of the dormant volcano (such as Gajahmungkur volcano, Wonogiri) based on the comparative study of the active volcano (Merapi volcano, Yogyakarta). The method in this study is the application of geological principle "the present is the key to the past" in the geology of a volcano. In general the volcanological facies concept reflects the ideal morphology of Merapi volcano. The central facies with the slope of 30° to 40° and the smooth surface; medial facies with the slope of 20° to 30° reflecting rough surface and the distal facies manifested in a relatively flat angle between 10° to 20° where the deposition of volcanic materials and lahar takes place. The boundary between the facies is delineated by a break in slope which also reflects the radial drainage pattern and the boundary of vegetation.

In the old volcanic stadium, the dominant morphology is the crater and the partly ruined or vanished crater's rim due to erosion. The reconstruction of the crater configuration can be done by means of geologic mapping applying the volcanic facies concept. Gajahmungkur volcano in Central Java is taken as the case study.

Keywords: *active volcano, dormant volcano, volcanic facies, Merapi, Gajahmungkur*

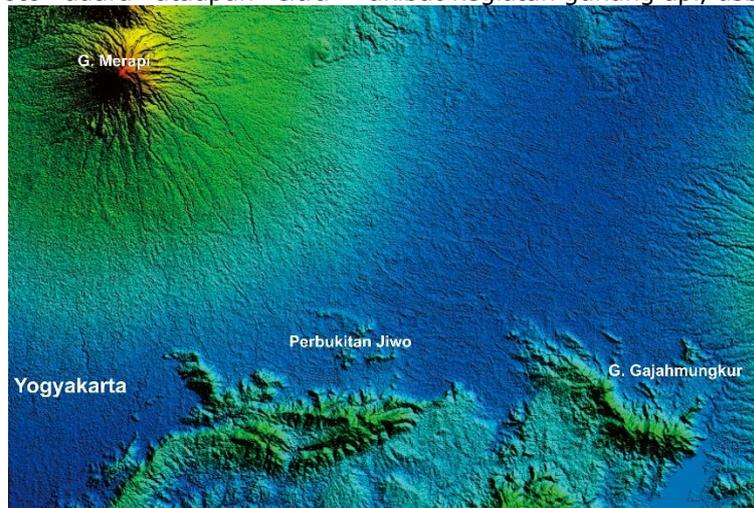
Pendahuluan

Daerah penelitian terletak di wilayah pemerintahan provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. Gunung api aktif Merapi terletak di beberapa kabupaten mencakup Kabupaten Magelang, Boyolali, Klaten di Jawa Tengah dan Kabupaten Sleman di Yogyakarta, sedangkan gunung api padam Gajahmungkur terletak di Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah (Gambar 1). Kedua gunung tersebut terletak cukup berjauhan, G. Merapi menempati sisi utara berjarak 25 km dari Yogyakarta, sedangkan G. Gajahmungkur menempati sisi timur sejauh 80 km dari Yogyakarta.

Pengamatan bentang alam terhadap gunung api aktif masih jelas dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung, sedangkan pengamatan pada gunung api padam perlu pembuktian karena sebagian besar dari fisik tubuhnya sudah tidak terwakili atau bahkan sudah hilang. Pengamatan langsung merujuk pada tubuh gunung apinya masih utuh, kelereng melandai menjauhi kawah, elevasi meningkat mendekati kawah, lokasi dan bentuk kawah jelas diketahui. Pengamatan tidak langsung dapat dirujuk melalui kajian peta topografi, foto udara ataupun citra

SRTM, seperti pola kontur melingkar dan memusat di bagian kawah, pola pengaliran sungai berbentuk radier atau menyebar menjauhi kawah, dan pola interval kontur merenggang di bagian kaki gunung api. Di pihak lain, pada gunung api padam sudah tidak dijumpai karakteristik fisik seperti pada gunung api aktif. Hal ini memberikan gambaran bahwa fisik tubuh gunung apinya sudah tidak sempurna atau utuh dan bahkan jejak bentuk sebagai gunung api sudah tidak tampak lagi, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut (Hartono, 2010).

Makalah ini bertujuan untuk mengungkap sejarah pembentukan bentang alam gunung api padam (misal G. Gajahmungkur, Wonogiri) berdasarkan pembelajaran gunung api aktif (G. Merapi, Yogyakarta). Analogi berbagai perilaku dan produk gunung api masa kini sangat penting dipahami untuk membantu menyelesaikan permasalahan ini. Berbagai faktor yang terlibat terkait dengan pemahaman pembentukan bentang alam gunung api, misalnya batuan/endapan gunung api, fasies gunung api, perilaku meletus dan meleleh gunung api, lingkungan gunung api, dan struktur geologi yang berkembang sebagai akibat kegiatan gunung api, dsb.



Gambar 1. Lokasi penelitian G. Merapi dan G. Gajahmungkur, Yogyakarta dan Jawa Tengah.

Peneliti terdahulu seperti Bothe (1929), van Bemmelen (1949), Suroso dkk. (1992), Rahardjo dkk. (1995), dan Hartono (2010) menyebutkan bahwa G. Merapi dan G. Gajahmungkur disusun oleh batuan/endapan gunung api yang berumur Kuartar dan Tersier atau dikenal secara luas dengan istilah Formasi Andesit Muda dan Formasi Andesit Tua (Tabel 1). Penelitian tersebut umumnya menjelaskan tentang aspek stratigrafi yang mengacu pada tata nama litostratigrafi, sedangkan daerah penelitian disusun oleh batuan gunung api. Batuan atau endapan gunung api meliputi batuan

terobosan dangkal dan batuan/endapan hasil erupsi lelehan dan letusan. Batuan hasil erupsi lelehan berupa kubah lava dan aliran lava, sedangkan batuan/endapan hasil erupsi letusan berupa material gunung api yang berukuran abu (tuf), lapilli (batulapili), bom dan blok (aglomerat dan breksi piroklastik).

Di sisi lain, perkembangan bentang alam pada gunung api padam tidak dijelaskan sebagai sisa tubuh asal gunung api (Hartono, 2000), sementara bentang alam pada gunung api aktif hanya disebutkan sebagai tipe strato. Menariknya lagi, bentuk

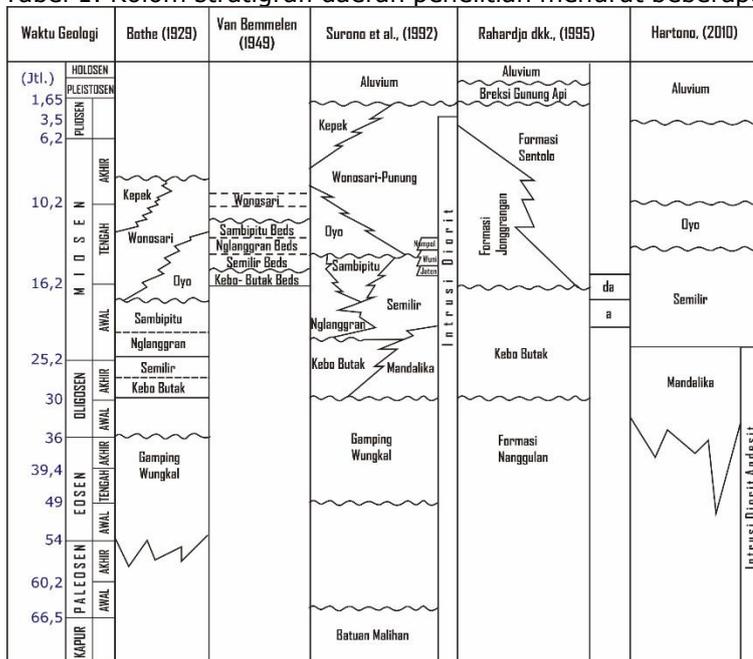
gunung api berumur Kuartar yang berkembang di Kepulauan Indonesia umumnya berupa strato, bagaimana dengan gunung api padam yang berumur Tersier dan tersebar luas.

Metodologi

Metode pendekatan yang dilakukan adalah kajian pustaka dan kunjungan ke lokasi kunci di lapangan, serta menerapkan prinsip geologi *The present is the key to the past* pada geologi gunung api. Karakteristik bentang alam gunung api padam dapat didekati dengan menganalogikan atau memproyeksikan adanya perubahan bentuk gunung api aktif menjadi gunung api padam (Gambar 2). Pada gunung api strato yang masih utuh, bentuk lereng masih simetri

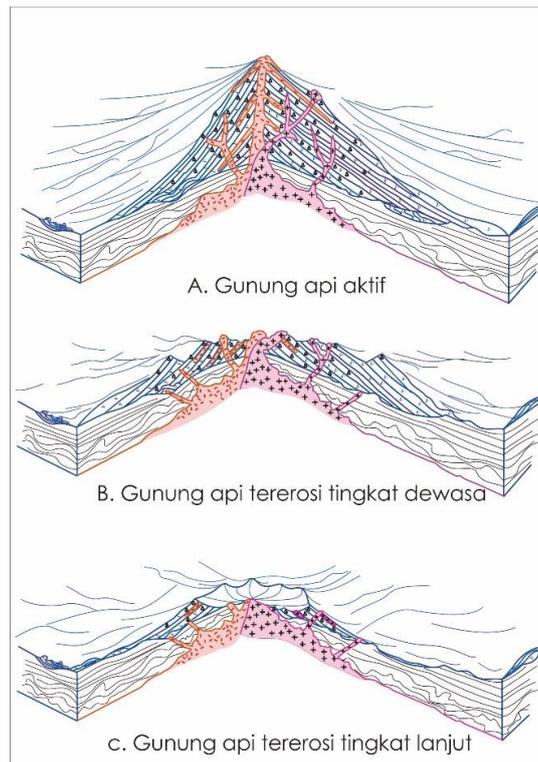
memancar dan melandai menjauhi kawah atau lereng berpasangan secara simetri, sedangkan kelerengan pada gunung api padam sering sudah rusak dan kadang terindikasi hanya pada bagian sisi-sisi tubuh yang lain. Kelerengan di daerah gunung api padam dapat merujuk pada resistensi batuan dan posisi fasies gunung api yang masih memperlihatkan ketinggian dalam satu sistim tubuh gunung api (Gambar 3). Bentuk kawah pada gunung api aktif umumnya melingkar sempurna dan kadang terdapat celah membuka sebagai jalan keluarnya aliran massa pijar berupa lava, sedangkan kenampakan bentang alam kubah lava sering dijumpai di dalam lingkaran kawah.

Tabel 1. Kolom stratigrafi daerah penelitian menurut beberapa peneliti sebelumnya.



Kenampakan karakteristik fisik bagian tengah maupun puncak pada gunung api padam terlebih yang berumur Tersier tidak selalu dijumpai karena batuan telah mengalami pelapukan lanjut dan tererosi, bahkan sudah hilang. Identifikasi kelerengan hanya dapat dilakukan pada batuan terobosan berupa retas dan lava karena sifatnya yang lebih resisten. Batuan tersebut umumnya menempati fasies proksimal bawah atau medial atas, sedangkan batuan piroklastika berukuran kasar umumnya

menempati fasies medial tengah – bawah. Namun, secara khusus batuan piroklastika berupa aglomerat yang didominasi fragmen bom gunung api dapat menempati fasies sentral suatu gunung api. Selain itu, di dalam struktur setengah melingkar atau struktur gawir letusan/gawir erosi menyerupai bulan sabit (*half moon*) dijumpai batuan terobosan dangkal (*sub volcanic intrusion*) yang sering memperlihatkan topografi kerucut, dan kadang dijumpai batuan teralterasi serta mineralisasi.



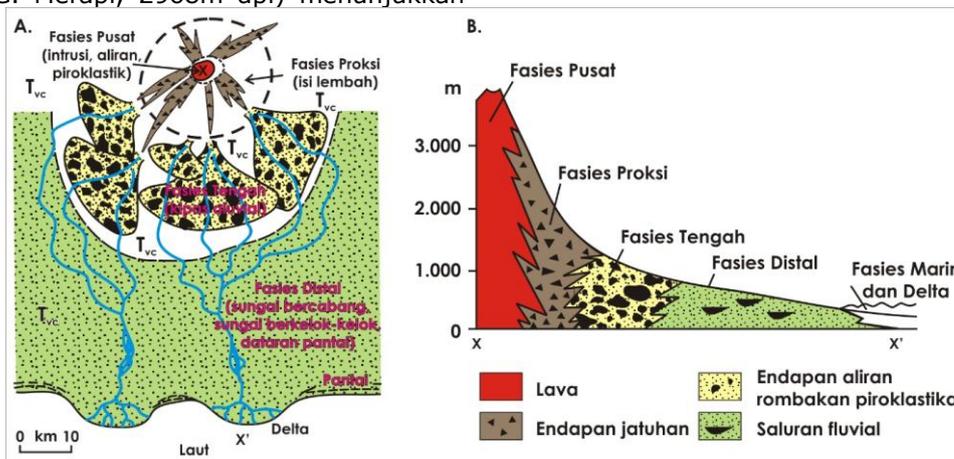
Gambar 2. Perkembangan bentang alam gunung api (Hartono, 2000).

Aspek geologi gunung api lain yang mendukung penentuan identifikasi geomorfologi gunung api adalah pola pengaliran, stadia sungai dan struktur geologi gunung api. Pola pengaliran yang berkembang di daerah gunung api adalah memancar atau radier menjauhi kawah utama atau berpola paralel pada satu sisi tubuh gunung api, sementara kemiringan perlapisan batuan gunung api menunjukkan lebih besar di bagian hulu dibanding di bagian hilir yang lebih landai sampai datar.

Hasil dan Pembahasan

Secara umum litologi penyusun gunung api aktif (G. Merapi, 2968m dpl) menunjukkan

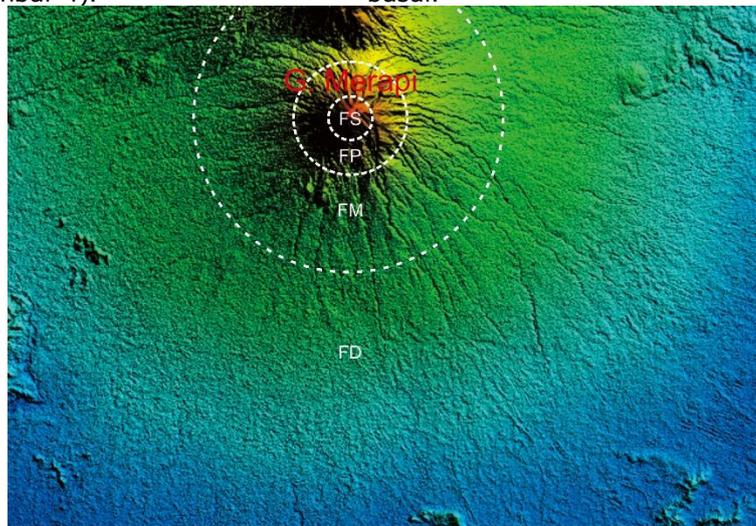
batuan gunung api hasil erupsi lelehan dan letusan. Erupsi lelehan menghasilkan aliran lava dan kubah lava, sedangkan erupsi letusan menghasilkan material piroklastika berukuran bom/blok, lapilli dan abu, dan endapan lahar (Wirakusumah dkk., 1989; Rahardjo dkk., 1995; Sayudi dkk., 2010). Kubah lava menempati fasies pusat di daerah puncak G. Merapi dan aliran lava mendominasi fasies proksimal di daerah lereng puncak G. Merapi yang mengalir secara menyebar menjauhi bibir kawah. Sementara itu, material piroklastika umumnya mengendap di daerah fasies proksimal, medial hingga distal.



Gambar 3. Kelerengan dan resistensi batuan yang merujuk pada fasies gunung api (Vessel dan Davies, 1981). Keterangan: A. Tampak atas, B. Tampak samping.

Fasies sentral/pusat dan proksimal disusun oleh batuan gunung api berkarakteristik pejal, keras, dan resisten sehingga memperlihatkan kelerengan atau membentuk sudut lereng yang terjal 30-40°. Fitur tersebut tercermin pada peta topografi seperti pola kontur membulat, halus, rapat intervalnya dan memusat, sedangkan aliran lavanya memperlihatkan pola kontur melidah dan ujung pangkalnya mendekati daerah bukaan kawah. Pola aliran yang melidah tersebut tampak saling menutup atau menumpang yang dapat membentuk sudut lereng 20-30°. Karakteristik topografi tersebut teramati lebih jelas pada citra SRTM yang ditimbulkan berdasarkan bayangan, rona dan pola topografi yang terbentuk. Di bagian lain dari tubuh gunung api yang disusun oleh material piroklastika dan material asal gunung api hasil rombakannya memperlihatkan topografi dengan sudut lereng landai sampai datar 10-20°. Daerah gunung api dengan ciri-ciri topografi tersebut lebih dikenal sebagai fasies medial sampai distal (Gambar 4).

Pertumbuhan dan perkembangan tubuh gunung api dapat dirunut dari perilaku erupsinya yaitu ditunjukkan antara produk erupsi lelehan dan erupsi letusan saling bergantian atau tumpang tindih (Sudradjat dan Hartono, 2006; Hartono dan Syafri, 2007). Hal tersebut akan membangun gunung api tipe strato atau komposit. Oleh sebab itu, gunung api tipe ini mempunyai tubuh menyerupai kerucut dan menjulang tinggi karena dibangun oleh perselingan antara koheren lava dengan piroklastika, dibandingkan dengan tipe gunung api yang hanya dibangun oleh satu jenis erupsi (misal: tipe tameng, tipe kerucut sinder). Di pihak lain, komposisi magma mempengaruhi perilaku erupsi dan batuan yang dihasilkannya. Hal ini berhubungan dengan pembentukan topografi tubuh gunung apinya. Topografi gunung api dengan kelerengan terjal disusun oleh batuan gunung api berkemposisi riolit - andesit, sedangkan kelerengan landai disusun oleh batuan gunung api berkemposisi andesit - basal.



Gambar 4. Berbagai karakteristik fitur/rona halus - kasar, tekuk lereng dan fasies yang memperlihatkan geomorfologi gunung api aktif. Keterangan: FS=Fasies Sentral/Pusat; FP=Fasies Proksimal; FM=Fasies Medial, dan FD=Fasies Distal.

Pertumbuhan tubuh gunung aktif yang ideal atau sempurna (sebagai contoh G. Merapi di Yogyakarta dan Jawa Tengah; G. Paricutin di Mexico) berkaitan dengan siklus konstruktif dan destruktif, artinya perulangan siklus tersebut akan menghasilkan perubahan fitur kelerengan yang berbeda-beda atau dikenal sebagai tekuk lereng (*break in slope*). Tekuk lereng ini mengindikasikan adanya perubahan susunan batuan/endapan gunung api. Tekuk lereng bagian sentral memperlihatkan fitur halus berupa lava, breksi dan abu, dan tekuk lereng di bawahnya memperlihatkan fitur relatif kasar berupa breksi dan abu, dan kemungkinan diikuti tekuk lereng yang memperlihatkan

fitur halus berupa abu dan lahar halus - kasar. Keberadaan tekuk lereng - tekuk lereng tersebut kemungkinan besar sudah tidak dijumpai lagi di gunung api yang tererosi tingkat dewasa, namun beberapa bagian dari sisa tubuhnya masih dikenal dari susunan litologinya (misal: G. Rinjani dan G. Tambora). Karakteristik-karakteristik tersebut (fitur halus, tekuk lereng dan fasies) memperlihatkan morfologi gunung api, sedangkan morfologi pada gunung api padam (fitur kasar, tererosi lanjut/intensif) tidak memperlihatkan fasies gunung api. Hasil pengamatan atau identifikasi berbagai parameter geomorfologi gunung api aktif dan padam yang dilakukan di studio maupun

kunjungan pada lokasi-lokasi kunci di lapangan memperlihatkan karakteristik yang berbeda (Tabel 2). Pada gunung aktif tampak berbagai parameter dapat teridentifikasi dengan jelas, karena lokasi kawah dan perilaku kegiatannya dapat kita ketahui dan lihat. Sebaliknya pada gunung api padam tidak semua parameter dapat teridentifikasi secara jelas. Hal ini terkait dengan proses-proses yang menyertainya seperti pelapukan dan erosi. Di samping itu, bagian puncak dan tubuh gunung api dapat secara sektoral maupun masif hilang dikarenakan perilaku letusan yang diikuti oleh pembentukan kaldera atau bregada (misal: G. Gajahmungkur, Wonogiri; G. Menoreh, Kulonprogo).

Kawasan G. Gajahmungkur (737m dpl) memperlihatkan rona gelap – agak terang, berelief kasar, disusun oleh batuan piroklastik bertekstur kasar bagian dari

Formasi Mandalika (Breksi piroklastika) yang berangsur berubah menjadi batuan lapilli tuf batuapung pembentuk Formasi Semilir (batulapili dan tuf). Kawasan ini mempunyai sebaran kontur rapat membentuk gawir setengah melingkar membuka ke arah utara yang melingkupi tinggian terisolir batuan terobosan (kompleks G. Tenong dan Jendi; Gambar 5). Bentang alam gawir Gajahmungkur dengan tinggian G. Tenong dibatasi oleh sebaran kontur renggang – sangat renggang di bagian utara sebagai bentang alam datarannya. Gunung Tenong disusun oleh andesit porfiri dan teralterasi menghasilkan mineral logam sulfida (FeS_2) dan emas (Au) dalam konsentrasi tidak melimpah. Pola aliran yang berkembang sub radier mengikuti bentuk gawir bulan sabit dengan stadia sungai dewasa membentuk menyerupai huruf U dan berkelok-kelok (Bengawan Solo dan Oyo).

Tabel 2. Parameter morfologi pada gunung api aktif dan padam.

Parameter Morfologi	Gunung Api Aktif	Gunung Api Padam
Relief puncak	Kawah, menonjol halus - relatif kasar, elevasi > +2000m	Tak teridentifikasi, hilang
Relief lereng atas	Bergelombang kasar, elevasi +1500m - +2000m	Tak teridentifikasi, hilang
Relief lereng bawah	Bergelombang halus, elevasi +500m - +1500m	Menonjol kasar, bergelombang kasar, elevasi +737m
Relief lereng kaki	Datar, landai, halus, elevasi < +500m	Tak teridentifikasi sampai tertutup material rombakan, landau, elevasi +125m
Kelerengan puncak	Curam-sangat curam, terjal, 30-40° atau lebih, simetri	Tak teridentifikasi, hilang
Kelerengan tubuh	Menengah-curam, landai-terjal, 20-30°, simetri	Menengah-curam, landai-terjal, 20-30°, bagian bawah relatif simetri
Kelerengan kaki	Landai - datar, terjal, 10-20° atau lebih kecil	Landai - datar, terjal, 10-20° atau lebih kecil
Pola kontur	Melingkar tertutup, melingkar membuka ke suatu arah, melidah menjauhi kawah, garis kontur halus dan sebaran kontur rapat mendekati kawah atau densitas tinggi	Melingkar renggang- semi melingkar membuka lebar ke suatu arah, garis kontur kasar dan soliter atau sebaran kontur terpisah-pisah
Pola pengaliran	Radier menjauhi kawah, parallel dari satu sisi/sector	Radier di bagian luar gawir, dan memusat di dalam gawir
Stadia sungai	Bentuk sungai menyerupai huruf V, curam	Bentuk sungai menyerupai huruf U, landai
Fasies Sentral/Pusat	Batuan dan endapan, kubah lava, aliran lava, breksi autoklastik, batuan alterasi	Tersingkapnya sisa batuan terobosan dangkal teralterasi, aliran lava terbreksikan
Fasies Proksimal	Berupa batuan dan endapan, aliran lava, breksi piroklastik jatuhan dan aliran, lapilli dan abu	Sisa breksi piroklastik jatuhan dan aliran, dan lapilli tuf

	Fasies Medial	Berupa endapan, breksi piroklastik aliran, abu dan lahar	Sisa breksi piroklastik aliran, breksi lahar, lapilli dan tuf
	Fasies Distal	Endapan breksi lahar, abu dan material rombakan asal gunung api, konglomerat	Tak teridentifikasi, tertutup material rombakan dan batuan karbonat, breksi lahar, konglomerat, batupasir, batulanau, batulempung
	Tekuk lereng	Perubahan pola kontur, susunan litologi, dan perubahan kelerengan ekstrim	Tak teridentifikasi, perubahan litologi bertekstur halus ke kasar



Gambar 5. Bentang alam gawir melingkar kawasan Gajahmungkur (tampak belakang) yang melingkupi tinggian terisolir G. Tenong dan Jendi (tampak depan), kenampakan relief kasar pada topografi gawir dan relief halus, landai pada topografi dataran.

Kawasan Gajahmungkur sisi barat dan sisi utara teramati adanya tekuk lereng (*break in slope*) yang ditunjukkan dengan perubahan topografi secara tiba-tiba yaitu topografi landai-dataran $< 10^\circ$ ke topografi dengan kelerengan $> 20^\circ$. Hal ini mengindikasikan juga adanya perubahan susunan batuan dari bertekstur halus ke batuan bertekstur kasar – sangat kasar atau dengan kata lain dari fasies distal berubah ke fasies medial – proksimal. Di sisi lain, kelerengan relatif simetri masih ditunjukkan bagian tubuh bagian bawah sisi timur dan sisi barat yang disusun oleh litologi yang sama berupa perselingan breksi piroklastik dan tuf lapili.

Ucapan Terimakasih

Kepada pimpinan Universitas Padjadjaran dan pimpinan Fakultas Teknik Geologi, diucapkan terimakasih atas kesempatan untuk melakukan penelitian bersama dan penulisan kertas kerja bersama sebagai pelaksanaan kerjasama antara Universitas Padjadjaran dengan Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta. Ucapan yang sama disampaikan kepada pimpinan Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.

Daftar Pustaka

Bothe, A.Ch.D. 1929. Djiwo Hills and Southern Range. *Fourth Pacific Science Congress Excursion Guide*, 14hal.
 Hartono, G. 2000. *Studi Gunungapi Tersier: Sebaran Pusat erupsi dan Petrologi di*

Pegunungan Selatan Yogyakarta. Tesis S2, ITB, 168 hal., tidak diterbitkan.

Hartono, G., (2010). *Peran Paleovulkanisme dalam Tataan Produk Batuan Gunung Api Tersier di Gunung Gajahmungkur, Wonogiri, Jawa Tengah*, Disertasi, UNPAD, Bandung, 335 h. (Tidak dipublikasikan).

Hartono, G., dan Syafri, I. 2007. Peranan Merapi untuk Mengidentifikasi Fosil Gunung Api Pada "Formasi Andesit Tua": Studi Kasus di Daerah Wonogiri, Publikasi Khusus Geologi Indonesia: Dinamika dan Produknya, Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Bandung, hal. 63-80.

Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H. M. D. 1995 Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000, P3G, Bandung.

Sayudi D.S., Nurnaning, A., Juliani, Dj, dan Muzani M., 2010, Peta Kawasan Bencana G. Merapi, Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta, skala 1:50.000, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Sudradjat, A., dan Hartono, G. 2006. The Application of Volcanic Facies Concept in The Description of The Old Andesite Formation, Proceeding International Interdisciplinary Conference Volcano International Gathering 2006: "1000

- Years Merapi Paroxysmal Eruption", *UNPV-IAGI-IUGS-Government of Yogyakarta-Government of Central Java-Volcanology & Geological Hazard Mitigation*, Yogyakarta, hal. 261-267.
- Surono, Sudarno, I dan Toha, B. 1992. Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, skala 1:100.000. *P3G*, Bandung.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*, vol. 1A, The Hague, Martinus Nijhoff. 732 hal.
- Vessel, R.K. dan Davies, D.K. 1981. Non Marine Sedimentation an Active Fore Arc Basin, in Ethridge, F.G. dan Flores, R.M., (Ed.). Recent and Ancient Non Marine Depositional Environments Models for Exploration. *SEPM Spec. Publ.* No. 31. hal 31-48.
- Wirakusumah, A.D., Juwana H., dan Loebis H., 1989, Peta Geologi Gunung Api Merapi, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah, skala 1:50.000, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.