

Asal-usul pembentukan Gunung Batur di daerah Wediombo, Gunungkidul, Yogyakarta

GENDOET HARTONO¹ dan SUTIKNO BRONTO²

¹Jurusan Teknik Geologi, STTNAS, Jl. Babaksari, Sleman, Yogyakarta

²Pusat Survei Geologi, Jln. Diponegoro No. 57 Bandung

SARI

Secara fisiografis, walaupun batuan penyusun Subzona Gunung Sewu adalah batugamping Formasi Wonosari, khusus di daerah Wediombo terdapat batuan gunung api yang dimasukkan ke dalam Formasi Wuni. Batuan gunung api Wediombo terdiri atas batuan beku luar atau aliran lava dan breksi gunung api yang berasosiasi dengan batuan terobosan Gunung Batur, dan seluruhnya berkomposisi andesit. Persoalannya adalah batuan gunung api tersebut berasal dari tempat yang jauh, setelah mengendap kemudian diterobos oleh magma setempat, atau asosiasi batuan gunung api dan batuan terobosan itu merupakan sisa gunung api purba atau fosil gunung api di daerah tersebut. Penentuan lokasi sebagai bekas pusat erupsi gunung api purba adalah dengan pendekatan geologis, yakni menerapkan prinsip geologi “*the present is the key to the past*”.

Daerah Wediombo membentuk bentang alam tinggian dengan elevasi 280 m di atas permukaan laut dan kelerengan 20-40%. Bentang alam tinggian tersebut memperlihatkan struktur melingkar berdiameter kurang dari 2 km dan membuka menghadap Samudra Hindia. Di dalam struktur melingkar tersebut terdapat batuan terobosan Gunung Batur. Pola pengaliran yang berkembang mengikuti bentuk struktur melingkar, yaitu radial – sub radial. Di samping batuan terobosan Gunung Batur terdapat beberapa retas yang telah mengalami alterasi hidrotermal dan memperlihatkan adanya proses mineralisasi. Sementara itu, bagian lereng luar disusun oleh aliran lava dan batuan fragmental yang membentuk kemiringan lapisan batuan berkisar 22–25° dengan pola memusat. Secara petrologis batuan terobosan Gunung Batur berwarna kelabu terang – gelap, tekstur porfiritik hipokristalin, dengan fenokris berukuran 1,2 - 2,2 mm, *subhedral* - *euhedral*, berstruktur vesikular halus. Batuan ini terdiri atas plagioklas, piroksen, horenbenda, dan mineral opak. Analisis geokimia menunjukkan bahwa batuan ini berasal dari magma toleit busur kepulauan ($\text{SiO}_2 = 60,38 - 64,53\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0,63 - 0,85\%$). Dari data tersebut diinterpretasikan bahwa struktur melingkar merupakan fasies pusat dan lereng sebagai fasies proksimal gunung api purba di daerah Wediombo, Gunungkidul, Yogyakarta.

Kata kunci: Wediombo, gunungkidul, gunung api purba, fasies pusat, fasies proksi

ABSTRACT

Physiographically, the Gunung Sewu Subzone is predominantly composed of limestone of the Wonosari Formation, but in Wediombo area volcanic rocks of the Wuni Formation is exposed. The Wediombo volcanic rocks contain lava flows and volcanic breccias associated with Batur intrusive rock, in which all the rocks have andesitic composition. The problem is whether the Wediombo volcanic rocks originated from far distance area which then was intruded by local magma after its deposition, or it is an association of the Wediombo volcanic and the Batur intrusive rocks which both are the remnants of a paleovolcano in the area. To identify the central facies of the paleovolcano, the geological principle that “the present is the key to the past” is used as a geological approach.

Wediombo area forms a high landscape showing an elevation of about 280 m above sea level with dips of the outer slopes 20 - 40%. The drainage pattern developing in the area follows the existing circular structure to form subradial - radial patterns. The high landscape shows a circular structure with a diameter of less than 2 km and it opens to the Indian Ocean. Besides the Mount Batur intrusive rock, there are some other dikes which have been already hydrothermally altered, with some mineralization in the circular structure. Meanwhile, the outer slopes are composed of alternating lava flows and fragmental volcanic rocks of 22 - 25° in dip forming a concentric pattern. Petrologically, the Batur intrusive rock is light to dark grey in color, hypocristalline porphyritic texture, with phenocryst ranges from 1.2 - 2.2 mm in size, subhedral-euhedral crystals, fine vesicular structures. The rock comprises plagioclase, pyroxene, hornblende and opaque minerals. Geochemically, the rock indicates an island arc tholeiitic magma ($\text{SiO}_2 = 60.38 - 64.53 \text{ wt\%}$, $\text{K}_2\text{O} = 0.63 - 0.85 \text{ wt\%}$). Those data indicate that the circular structure was the central facies and the outer slope was the proximal facies of the Wediombo paleovolcano in Gunungkidul Yogyakarta.

Keywords: Wediombo, Gunungkidul, paleovolcano, central facies, proximal facies

PENDAHULUAN

Daerah Wediombo terletak lebih kurang lima puluh kilometer sebelah tenggara Kota Yogyakarta. Wilayah ini menempati Subzona Gunung Sewu yang disusun oleh batugamping Formasi Wonosari, namun khusus di daerah Wediombo terdapat batuan gunung api yang dimasukkan ke dalam Formasi Wuni. Secara administratif, daerah penelitian terletak di Wediombo, Kecamatan Rongkop, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, sedangkan secara geografis terletak pada koordinat antara $110^{\circ}39'46,9'' - 110^{\circ}43'49,9''\text{BT}$ dan $-8^{\circ}12'10,1'' - -8^{\circ}19'49,5''\text{LS}$ (Gambar 1), dengan luas 23,54 km^2 . Tujuan penelitian adalah menentukan lokasi yang diperkirakan sebagai pusat erupsi gunung api purba, sedangkan kegunaannya diharapkan dapat mendukung pengembangan ilmu geologi (gunung api) dengan penekanan pada upaya mengungkap kejelasan peran paleovulkanisme terhadap tataan produk batuan gunung api yang tersebar luas di Pegunungan Selatan.

Surono dr. (1992) menyatakan bahwa daerah Wediombo, Kabupaten Gunungkidul umumnya ditempati oleh batuan klastika gunung api, yang terdiri atas aglomerat bersisipan batupasir tuf, dan batupasir kasar yang termasuk kedalam Formasi Wuni. Sementara itu, Formasi Wuni merupakan salah satu formasi yang tipe lokasinya terletak jauh di wilayah Pacitan, Jawa Timur. Di pihak lain, Prihatmoko dr. (2005) menyebutkan sebagian zona alterasi berasosiasi dengan breksi aneka bahan yang kemungkinan terjadi di daerah diatrema. Hasil penelitian di atas memperlihatkan gambaran adanya

perbedaan tentang asal-usul batuan penyusun utama daerah Wediombo. Pemilihan daerah penelitian di Wediombo karena persoalan tentang kejelasan asal - usul batuan penyusun dan kaitannya dengan paleovulkanisme belum diulas secara utuh. Sebagai contoh, hubungan antara batuan beku luar dengan batuan terobosannya yang sementara ini "dianggap" mempunyai genesis yang berbeda.

Untuk menjawab pemikiran di atas, dilakukan pendekatan geologi dengan cara menerapkan prinsip geologi uniformitarianisme yaitu "*the present is the key to the past*". Pendekatan geologi di sini mengandung arti melakukan pemetaan geologi yang meliputi geomorfologi, stratigrafi gunung api, struktur geologi, analisis model fasies gunung api yang didukung data sekunder bawah permukaan dan melakukan pemerian petrologi baik secara megaskopis, petrografi, dan analisis kimia oksida utama batuan.

DASAR TEORI

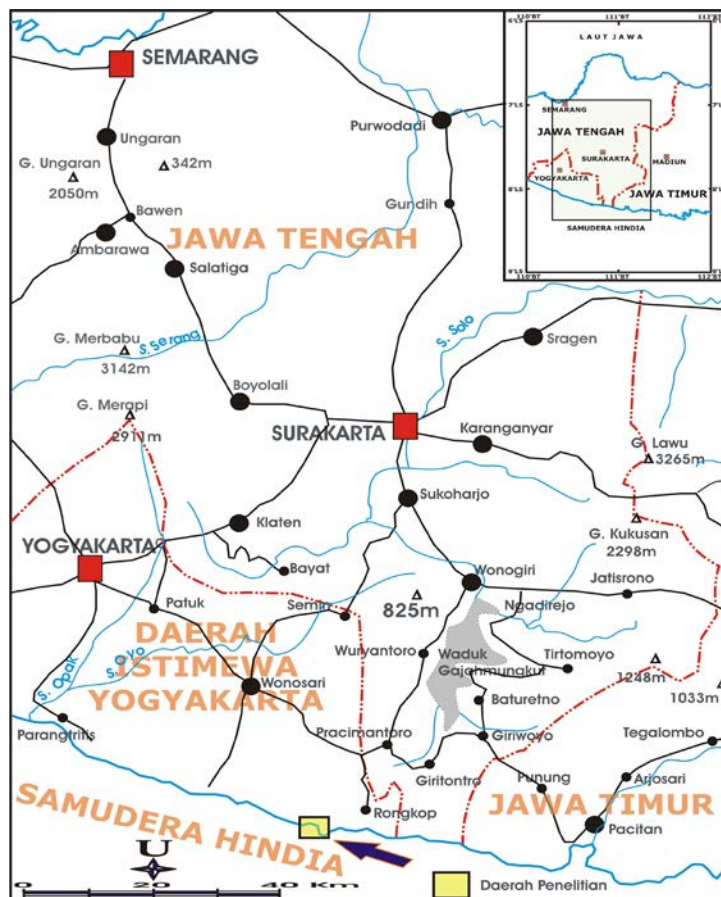
Secara umum, terdapat empat mekanisme pembentukan bentang alam di permukaan bumi, yaitu *impact*, vulkanisme, tektonik, dan erosi (Chernicoff dan Venkatakrishnan, 1995). Mekanisme *impact* membentuk bentang alam cekungan karena hantaman objek dengan kecepatan 250.000 mil/jam, vulkanisme membentuk bentang alam gunung api, dan tektonik membentuk bentang alam lipatan, sedangkan mekanisme erosi membentuk bentang alam dataran. Di pihak lain, van Zuidam dan van Zuidam-Cancelado (1985) menyebutkan bahwa

suatu gunung api mungkin melalui sejumlah tahapan selama menjalani proses erosi, yaitu (a) dimulai dari tahap pembentukan kerucut gunung api, (b) erosi/pendataran, (c) sisa gunung api, dan (d) kerangka gunung api.

Gunung api sebagai tempat atau bukaan yang menjadi titik awal bagi batuan pijar dan atau gas yang keluar ke permukaan bumi dan 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 akibat kegiatan gunung api, baik secara langsung maupun tidak langsung. Wilson (1989) menyatakan bahwa gunung api dapat terjadi di lingkungan tektonik dalam lempeng (samudra dan benua) dan atau di

batas lempeng (konstruktif dan destruktif). Gunung api yang terbentuk di kedua tataan tektonik tersebut mempunyai karakteristik tertentu di dalam kisaran kandungan SiO_2 , afinitas magma, dan bentang alam gunung apinya. Sebagai contohnya, gunung api yang terbentuk pada lingkungan tektonik konvergen menunjukkan bentang alam sebagai busur kepulauan, afinitas magma tolelit-alkalin, dan menghasilkan batuan beku berkomposisi basa sampai asam. Secara umum, bentang alam gunung api tipe komposit (strato), terdiri atas perselingan lava dan batuan piroklastika, retas dan sill, kelerengan terjal, dan umumnya membentuk kerucut simetris.

Di samping hal tersebut di atas, penentuan pusat erupsi gunung api purba mengacu pada prinsip geologi "*the present is the key to the past*". Artinya, bentuk bentang alam, jenis batuan, struktur geologi dan stratigrafi gunung api, dan tipe letusan yang



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian yang menjadi fokus bahasan.

terjadi pada masa sekarang dapat diterapkan pada ciri-ciri gunung api purba. Beberapa peneliti, misalnya: Williams dan MacBirney (1979), Vessel dan Davies (1981), Bogie dan Mackenzie (1998), dan Bronto (2006) membagi batuan gunung api ke dalam empat 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 senolit batuan beku dan batuan metasedimen-malihan serta breksi otoklastika pada bagian atas atau luar tubuh intrusi dangkal; (2) *proximal facies* dicirikan oleh aliran lava, breksi/aglomerat jatuhnya piroklastika dan breksi/aglomerat aliran piroklastika; (3) *medial facies* dicirikan oleh tuf lapili, baik jatuhnya maupun aliran piroklastika, tuf dan breksi lahar; (4) *distal facies* dicirikan oleh adanya batuan gunung api hasil pengerjaan ulang

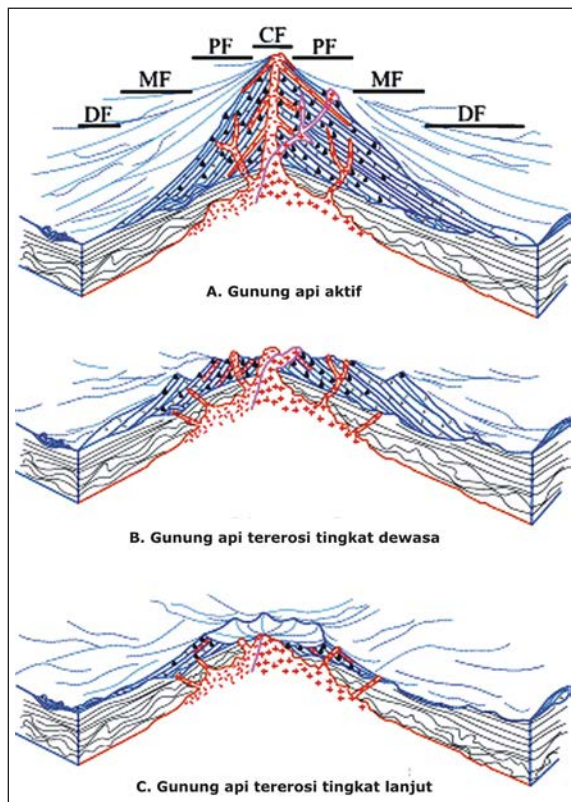
berupa: breksi lahar, konglomerat, batupasir, batulanau, dan batulempung (Gambar 2).

TATAAN GEOLOGI

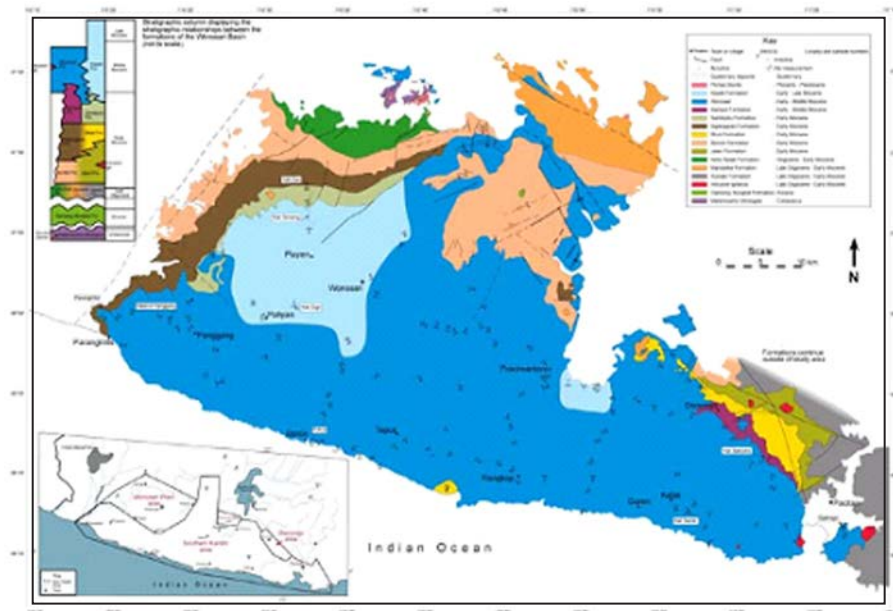
Zona Pegunungan Selatan Yogyakarta dan Surakarta terbagi ke dalam Subzona Baturagung, Subzona Wonosari, dan Subzona Gunung Sewu. Subzona Baturagung membentuk relief paling kasar dan hampir seluruhnya tersusun oleh batuan asal gunung api. Subzona Wonosari merupakan dataran tinggi, sedangkan Subzona Gunung Sewu merupakan bentang alam perbukitan kars yang umumnya tersusun oleh batugamping terumbu. Hal ini secara fisiografis memberi gambaran adanya perbedaan fisik yang berhubungan dengan genesisnya, sehingga secara khusus Zona Pegunungan Selatan Yogyakarta dan Surakarta berkaitan erat dengan kegiatan magmatisme dan vulkanisme, dan di sisi lain berkaitan dengan kegiatan organisme yang berkembang di laut dangkal.

Penelitian geologi, terutama stratigrafi Pegunungan Selatan telah banyak dilakukan antara lain oleh Bothe (1929), van Bemmelen (1949), Rahardjo dr. (1977), Suroso dr. (1992), Samodra dr. (1992), dan Lokier (1999). Penelitian tersebut melaporkan adanya beberapa kelompok batuan malihan, batuan beku, batuan gunung api, batuan sedimen, dan batuan karbonat yang menyusun Zona Pegunungan Selatan tersebut. Secara umum, bagian utara disusun oleh batuan beku dan gunung api, sedangkan bagian selatan disusun oleh batuan karbonat. Namun, secara khusus di bagian paling selatan wilayah ini terdapat daerah yang disusun oleh batuan Formasi Wuni (Tmw) yang dilingkupi batuan Formasi Wonosari-Punung (Tmwl; Gambar 3).

Hubungan stratigrafi antara batuan penyusun Pegunungan Selatan masih menunjukkan permasalahan yang harus dicermati dengan seksama, misalnya masalah batuan beku intrusi yang terletak pada lokasi yang sama atau berdekatan dengan batuan gunung api “endapan turbidit”; bahkan dalam banyak hal “endapan turbidit” tersebut diterobos oleh batuan beku intrusi. Selain itu “endapan turbidit” tersusun oleh perselingan antara aliran lava/batuan beku luar dan breksi gunung api yang banyak mengandung bom dan blok gunung api serta tuf. Batuan



Gambar 2. Fasies Gunung Api (dikembangkan dari Vessel & Davies, 1981; dalam Hartono, 2000). Keterangan gambar: CF=fasies pusat, PF=fasies proksi, MF=fasies medial, DF=fasies distal.



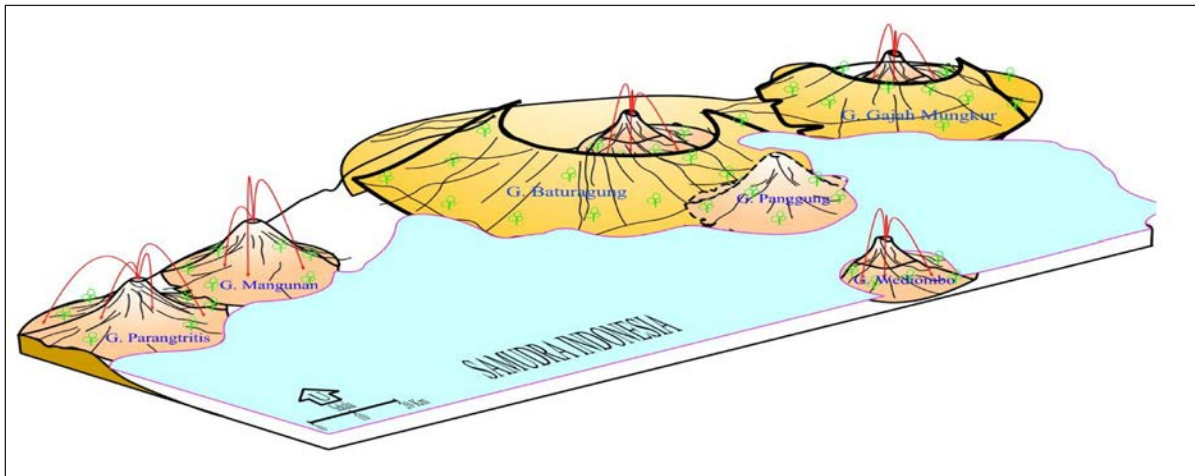
Gambar 3. Peta Geologi Regional Pegunungan Selatan lembar Yogyakarta dan Surakarta-Girintontro, dan Pacitan (Rahardjo drr., 1977; Surono drr., 1992, dan Samodra drr., 1992 vide Lokier, 1999).

beku intrusi maupun batuan gunung api “endapan turbidit” di sini mempunyai ciri-ciri petrologis terutama litologi dan mineralogi sama, hanya tekstur dan struktur saja yang membedakan. Hal ini menunjukkan adanya hubungan genesis yang erat di antaranya.

Struktur geologi yang berkembang sepanjang Pulau Jawa tidak terlepas dari dinamika pergerakan Lempeng Hindia-Australia dari arah selatan ke utara dengan kecepatan $\pm 5-7\text{cm/tahun}$. Pulunggono dan Martodjojo (1994) menyatakan adanya pola struktur sebagai respons tegasan utara - selatan terhadap keberadaan Pulau Jawa yaitu pola Jawa, pola Sumatera, dan pola Meratus. Pola Jawa berarah barat - timur; pola Sumatera berarah barat laut - tenggara, dan pola Meratus berarah timur laut - barat daya. Di pihak lain, berdasarkan analisis citra *Landsat* Chotin drr. (1984) melaporkan adanya pola kelurusan yang berarah timur laut - barat daya, barat laut - tenggara, dan beberapa tempat yang memperlihatkan pola kelurusan utara - selatan. Selain respon tektonik yang tercermin pada pola-pola kelurusan struktur geologi di atas, juga ditunjukkan oleh adanya batuan beku intrusi di Pegunungan Selatan. Batuan beku intrusi menunjukkan bahwa lokasi tersebut sebagai busur magma berumur Tersier dan mengindikasikan magma membeku di dalam bumi (Soeria-Atmadja

drr., 1994; Sutanto drr., 1994). Namun, kedua penulis tersebut tidak menyinggung hubungan batuan intrusi dengan batuan gunung api di sekitarnya.

Secara geologis, kawasan Wediombo merupakan daerah tinggian terisolir di ujung selatan Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Puncak ketinggian diwakili oleh Gunung Batur (+ 280 m di atas permukaan laut). Morfologi Gunung Batur berbentuk kubah batuan beku, terletak di sebelah barat bentuk tapal kuda pantai Wediombo yang membuka ke arah Samudra Hindia atau dikenal sebagai Teluk Wediombo. Di dalam peta geologi Lembar Surakarta-Girintontro, Surono drr. (1992) menyebutkan bahwa daerah tinggian tersebut disusun oleh Formasi Wuni (Tmw) berumur awal Miosen Tengah. Namun, Hartono (2000), Hartono drr. (2000), serta Hartono dan Misdiyanta (2002) menyatakan daerah tersebut sebagai khuluk gunung api purba (Gambar 4). Hal ini didukung oleh tersingkapnya batuan gunung api yang terdiri atas batuan beku intrusi, breksi otoklastika dan atau aliran lava, breksi piroklastika, dan tuf kasar - halus. Di samping itu, daerah tinggian yang terisolir ini dilingkupi oleh batuan karbonat yang menyusun Formasi Wonosari-Punung (Tmwl). Kemiringan batuan karbonat umumnya ke arah selatan, sedangkan batuan gunung api yang dilingkupi mempunyai kemiringan menyebar menjauhi kubah



Gambar 4. Sebaran pusat erupsi purba (Tersier) di Pegunungan Selatan, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah (Hartono, 2000).

Gunung Batur.

Penelitian bawah permukaan yang dilakukan oleh Haryono drr. (1995) di daerah Wediombo ini menunjukkan adanya morfologi kubah bawah permukaan (*earth surface*) bumi (*cryptodomes*) di sekitar kubah Gunung Batur dan atau Teluk Wediombo (Gambar 5). Hal tersebut tergambarkan oleh adanya anomali gaya berat (Bouguer) dengan nilai

berat jenis tinggi sebesar $2,8\text{g/cm}^3$, yaitu batuan beku, sedangkan batuan lainnya menunjukkan nilai yang lebih rendah, seperti batugamping, breksi tuf, dan tuf yang tersebar setengah melingkupi batuan bekunya.

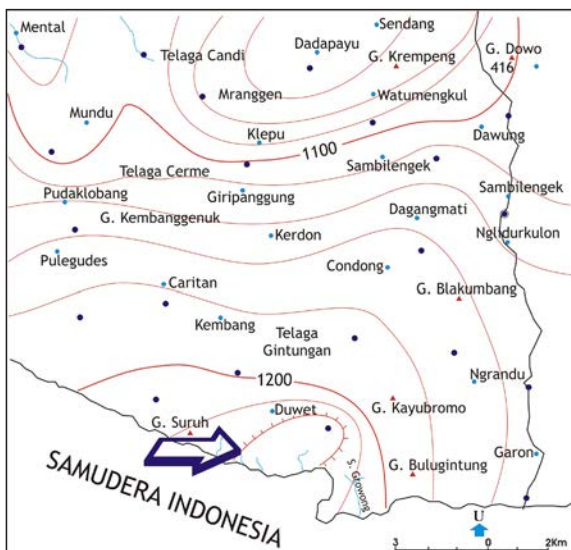
Prihatmoko drr. (2005) melakukan penelitian mineralisasi di daerah Wediombo, dan menyimpulkannya sebagai zona alterasi berasosiasi dengan breksi polimiktik yang kemungkinan terjadi di daerah diatrema, dan khas zona alterasi oleh silika *vuggy* yang dibungkus oleh zona kaolin-alunit-illit pada batuan gunung api berkomposisi dasit. Selain itu, disebutkan pula bahwa larutan hidrotermal yang menghasilkan tipe zona alterasi di atas erat kaitannya dengan asal magmatik.

HASIL PENELITIAN

Penelitian geologi permukaan ini diawali dari analisis peta topografi, peta geologi, dan analisis citra satelit, kemudian dilakukan pemetaan geologi permukaan di lapangan. Di samping itu, dilakukan pula analisis laboratorium berupa analisis petrografi sebanyak sepuluh percontoh, dan tiga contoh analisis petrokimia (unsur oksida utama), serta ditambah analisis data sekunder yang berkaitan.

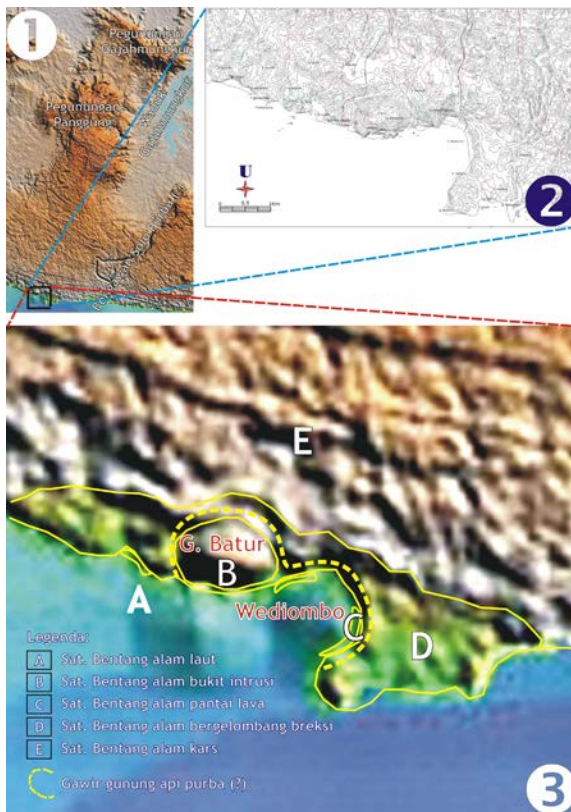
Bentang Alam

Analisis bentang alam daerah Wediombo dan



Gambar 5. Peta Anomali Gaya Berat (Bouguer) daerah Wediombo dan sekitarnya (Haryono drr., 1995). Tanda panah menunjukkan morfologi kubah mekanik.

sekitarnya didasarkan pada pengamatan langsung di lapangan maupun studi citra SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mapping*) dengan resolusi ± 30 m dan peta topografi skala 1:25.000. Analisis bentang alam tersebut menghasilkan lima satuan bentang alam: (1) bentang alam laut; (2) bentang alam bukit intrusi; (3) bentang alam pantai lava; (4) bentang alam bergelombang breksi; dan (5) bentang alam kars (Gambar 6).



Gambar 6. Penampakan bentang alam Wediombo melalui 1). citra SRTM, 2). peta topografi skala 1:25.000, dan 3). analisis morfologi (perbesaran).

Secara morfologis, kawasan ini membentuk bentang alam tinggian dengan elevasi kurang dari 200 m dan kelerengan 20 – 40%. Bentang alam ini membentang barat - timur dan membelok ke arah selatan di daerah Wediombo (Gambar 7). Struktur setengah melingkar dan membuka ke arah Samudra Hindia membentuk Teluk Wediombo. Di sebelah barat di dalam struktur bukaan tersebut terdapat

bukit menyerupai kubah dengan puncaknya Gunung Batur (+ 208 m), dan merupakan daerah tertinggi di daerah ini. Pada bentang alam perbukitan berkembang pola aliran subradial yang mengikuti bentuk bentang alam setengah melingkar, sedangkan pada batuan intrusi andesit berkembang pola aliran radial mengikuti bentuk kubah. Di sisi lain, berkembang pola pengaliran bawah permukaan karena sifat porus batuan karbonat.

Satuan bentang alam laut (Gambar 7a) dicirikan oleh hamparan lepas Samudra Hindia yang menjorok ke daratan menempati Teluk Wediombo. Satuan bentang alam ini menempati wilayah bagian selatan daerah penelitian (58,54%), dan merupakan titik ketinggian awal, yaitu 0 m. Gelombang air laut ini dapat mencapai 3 m ke arah daratan, sehingga proses abrasi berlangsung sangat intensif. Abrasi ini dapat diamati pada batuan yang membentuk bentang alam bukit intrusi, bentang alam pantai lava, dan bentang alam bergelombang breksi yang langsung bersentuhan dengan air laut tersebut.

Satuan bentang alam bukit intrusi (Gambar 7b) dicirikan oleh bentuk morfologi yang menyerupai kubah dan mempunyai ketinggian tertinggi (+ 208 m) di atas permukaan laut di wilayah ini. Satuan bentang alam ini menempati luasan 0,75% seluruh daerah penelitian, dan disusun oleh batuan intrusi andesit (mikrodiorit) yang membentuk Gunung Batur. Di bagian puncak bukit berkembang kekar kolom. Kelerengan satuan ini berkisar dari 20-75%, dan beda tinggi antara 25 - 200 m. Peneliti sebelumnya (Surono dr., 1992) menyebutkan intrusi diorit ini merupakan bagian penyusun Formasi Wuni. Satuan bentang alam bukit intrusi ini dilingkupi oleh material gunung api pejal dan fragmental yang membentuk satuan bentang alam bergelombang breksi, sehingga kenampakan morfologinya memperlihatkan setengah melingkar yang membelok ke arah Gunung Manjung membentuk Teluk Wediombo.

Satuan bentang alam kars (Gambar 7c) dicirikan oleh bentuk morfologi kerucut - kerucut simetris yang membentang dengan arah barat - timur. Kelerengan satuan ini berkisar dari 2 - 80%, dan beda tinggi antara 50-175 m. Satuan bentang alam kars ini menempati luasan 31,52% seluruh daerah penelitian, dan disusun hampir semuanya oleh batugamping pejal atau nonklastika, di beberapa tempat hadir batugamping berlapis atau klastika. Morfologi datar-



Gambar 7. a) Bentang alam laut, b) bentang alam intrusi, c) bentang alam kars, d) Bentang alam breksi, dan e) bentang alam lava.

an di antara perbukitan kars tersebut dimanfaatkan penduduk setempat sebagai lahan perkebunan dan pertanian musiman. Di beberapa tempat dijumpai mata air, seperti mata air Puring dan Wediombo. Selain itu, di beberapa tempat juga dijumpai proses pelarutan yang membentuk stalaktit dan stalagmit, hingga membentuk gua.

Satuan bentang alam bergelombang breksi (Gambar 7d) dicirikan oleh bentuk morfologi bergelombang sedang, yaitu ditunjukkan oleh perbukitan yang mempunyai puncak agak tumpul dan lembah-lembah yang relatif datar. Ketinggian morfologi satuan ini bervariasi antara 25 - 125 m di atas permukaan laut, dan membentuk kelerengan antara 25 - 80%. Satuan bentang alam bergelombang breksi ini menempati luasan 9,01% seluruh daerah penelitian, dan disusun oleh perselingan batuan gunung api fragmental berupa breksi andesit, tuf, dan batuan gunung api pejal berupa lava.

Satuan bentang alam pantai lava (Gambar 7e) dicirikan oleh bentuk morfologi pantai atau bersentuhan langsung dengan air laut. Ketinggian morfologi satuan ini lebih kurang 1 m di atas

permukaan laut, sehingga kalau terjadi air pasang, satuan morfologi pantai lava ini akan tertutup air. Satuan bentang alam ini menempati luasan 0,19% seluruh daerah penelitian, dan disusun oleh batuan beku ekstrusi lelehan membentuk dataran pantai. Di beberapa bagian berkembang kekar lembar (*sheeting joint*), dan membongkah (*blocky*), sehingga memperlihatkan permukaan kasar. Satuan morfologi ini melampar mengikuti lengkungan Teluk Wediombo. Selain itu, hampir semua kekar telah terisi oleh mineral sekunder berupa kalsit, kuarsa, dan oksida besi.

Stratigrafi Gunung Api

Stratigrafi kawasan Wediombo umumnya disusun oleh batuan Formasi Wuni dan Formasi Wonosari-Punung. Penelitian geologi permukaan di lapangan menunjukkan adanya empat satuan batuan, sedang penamaannya mengacu pada Sandi Stratigrafi Indonesia (Martodjojo dan Djuhaeni, 1996). Tiga satuan batuan gunung api (lava, breksi, dan intrusi) membentuk khuluk gunung api, dan satu satuan batuan karbonat (Gambar 8).

an, keabu-abuan hingga keputih-putihan dengan ketebalan setiap perlapisan sangat beragam mulai dari 20 cm – 50 cm, tidak bereaksi dengan HCl. Breksi andesit, tersusun oleh fragmen batuan beku andesit yang tertanam dalam matriks tuf kerikilan, tekstur piroklastik - epiklastik, struktur berlapis - pejal. Fragmen andesit, warna abu-abu agak cerah, hipokristalin, porfiritik, pejal dan vesikuler, komposisi fenokris piroksin (2%), felspar (3%), dan beberapa telah lapuk berwarna kehijauan (klorit). Matriks tuf kerikilan, warna putih kecoklatan, tekstur piroklastika, ukuran tuf – lapili, tersusun oleh material gunung api tuf dan batuan beku. Secara mikroskopis, fragmen andesit memperlihatkan warna abu-abu kekuningan, hipokristalin, porfiritik, Ø 0,2 - 0,8mm, vesikuler, fenokris plagioklas (53%), piroksin (15%), dan horenbenda (10%) yang tertanam dalam masa dasar afanitik yang tersusun oleh mineral yang sama dengan fenokris. Beberapa fenokris telah mengalami pelapukan menjadi mineral klorit, karbonat, dan mineral lempung. Matriks tuf kristal, berwarna abu-abu terang, Ø 0,1 - 0,3 m tersusun oleh mineral gelas (69%), plagioklas (26%), dan opak (3%). Komposisi matriks tersebut

umumnya telah lapuk menjadi lempung berwarna kecoklatan. Pelamparan satuan breksi andesit ini menempati luasan 21,72% seluruh luas daerah penelitian, dan umumnya melampar timur - barat membelok di Dusun Duwet – Nampu ke arah selatan. Satuan ini tersingkap baik di pantai Jungwo, Teluk Pesewan, Teluk Wediombo, Dusun Duwet, dan Dusun Nampu. Satuan ini mempunyai kemiringan relatif mengikuti bentuk setengah melingkar, yaitu ke arah timur - utara - barat.

Satuan batugamping disusun secara umum oleh batugamping klastika dan batugamping terumbu. Batugamping klastika umumnya menempati posisi stratigrafi bagian bawah, sedangkan bagian atas berkembang sebagai batugamping terumbu (*reef*). Secara megaskopis satuan ini berwarna putih kehitaman, tekstur klastika dan nonklastika, struktur berlapis dan pejal, komposisi mineral karbonat. Secara mikroskopis, warna abu-abu kecoklatan, nonklastik, membutir, komposisi lumpur karbonat (52%), dan butiran fosil (45%) berupa koral dan ganggang. Pelamparan satuan batugamping ini menempati luasan 76,02% dari seluruh luas daerah penelitian, dan umumnya melampar timur - barat



Gambar 9. Kenampakan megaskopik dan mikroskopik lava (a-b) dan intrusi (c-d).

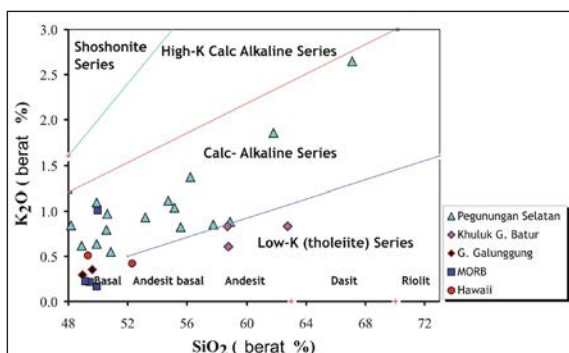
dengan kemiringan perlapisan relatif ke arah selatan. Satuan ini tersingkap baik di Teluk Kuwakan, Teluk Pesewan, Teluk Wediombo, Teluk Siung, dan Dusun Duwet Kidul. Satuan ini secara tidak selaras menindih satuan breksi andesit yang relatif miring ke arah timur, arah utara, dan arah barat. Namun, di beberapa tempat juga dijumpai menumpang di atas lava. Zain (2004) melaporkan satuan batugamping ini menempati zona N10-N13 atau berumur Miosen Tengah.

Secara petrokimiawi, batuan intrusi Gunung Batur berkomposisi andesit-dasit seperti yang ditunjukkan oleh kandungan SiO_2 (setelah dinormalkan) antara 60,38 - 64,53%. Diagram variasi K_2O - SiO_2 menunjukkan adanya kumpulan batuan gunung api berafinitas toleit dengan kandungan K_2O rendah antara 0,63 - 0,85%. Sementara itu, kandungan TiO_2 relatif rendah, yaitu 0,30%, seperti juga ditunjukkan secara petrografis oleh kehadiran mineral opak atau mineral bijih (<4%), yang berasosiasi dengan subdaksi (<1,2%). Sebaliknya, kandungan Al_2O_3 cukup tinggi yaitu 18,18% yang ditunjukkan dengan melimpahnya kandungan plagioklas (45%), sedangkan kandungan alkali total lava ini juga cukup tinggi, yaitu mencapai 4,04%. Gambar 10 memperlihatkan analisis kimia unsur utama seluruh batuan gunung api yang menjadi bahan bahasan makalah ini.

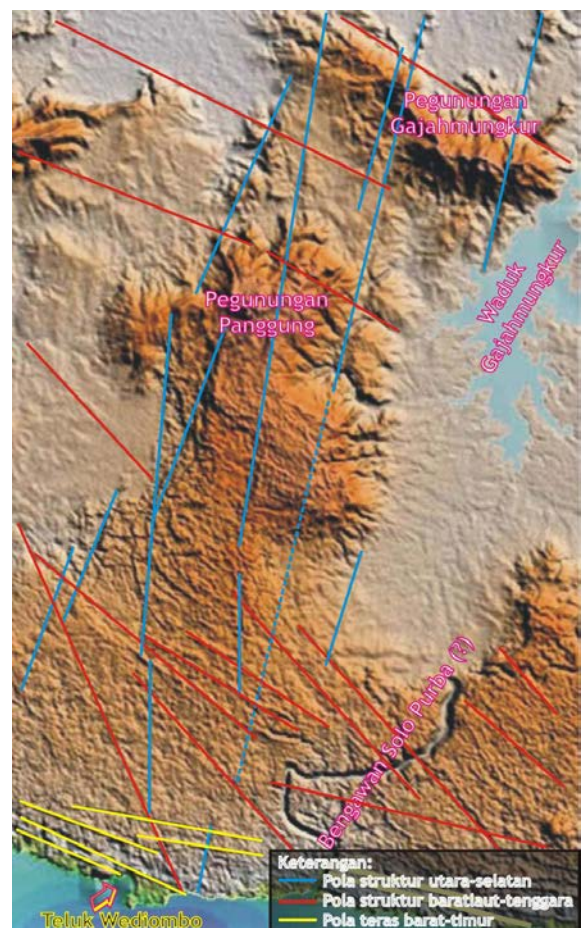
Struktur Geologi

Struktur geologi yang berkembang adalah perlapisan batuan, kekar, dan intrusi batuan beku. Struk-

tur perlapisan batuan yang berkembang pada batuan gunung api Formasi Wuni diwakili oleh kedudukan N210°E/23° di bagian barat, N275°E/25° di bagian utara, dan N135°E/25° di bagian timur. Perlapisan batuan pada batugamping Formasi Wonosari-Punung miring relatif ke arah selatan sebesar 5–8°. Struktur kekar banyak dijumpai sepanjang pantai Wediombo bagian timur pada aliran lava dengan orientasi arah utara – selatan. Hal ini kemungkinan berhubungan dengan pola-pola kelurusan yang berkembang pada daerah sebelah utara, seperti yang tercermin pada hasil analisis citra SRTM (Gambar 11).



Gambar 10. Petrologi Gunung Batur dibandingkan dengan petrologi Pegunungan Selatan (Hartono, 2000), Gunung Api Galunggung, (Bronto 1989) Hawaii, dan MORB (Hughes, 1982).



Gambar 11. Analisis struktur geologi berdasarkan pola-pola kelurusan citra SRTM, pada daerah yang lebih luas, struktur geologi yang terbentuk kemungkinan berpengaruh terhadap daerah penelitian yang terletak paling selatan. Tanda panah menunjuk daerah Wediombo.

PEMBAHASAN

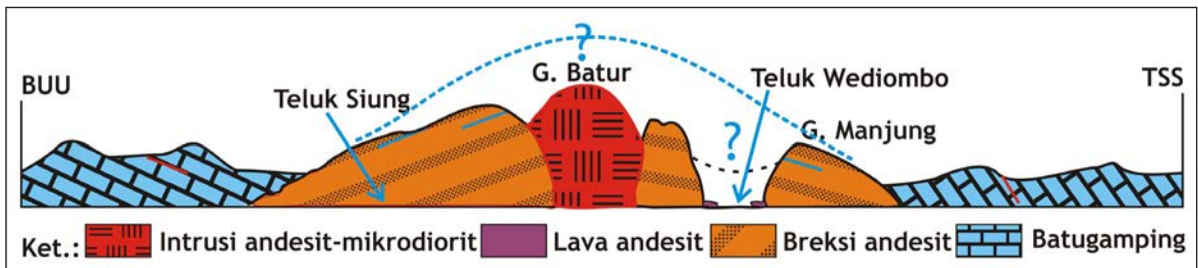
Keberadaan gunung api purba dapat diidentifikasi dari berbagai faktor pendukung yang mencirikan adanya sisa tubuh gunung api. Secara geologis, faktor-faktor pendukung terhadap keberadaan fosil gunung api Wediombo di Gunungkidul telah diidentifikasi seperti yang tersebut di atas. Identifikasinya diawali dengan memasukkan aspek pembelajaran gunung api masa kini untuk penggambaran karakteristiknya.

Geomorfologi gunung api kerucut masa kini (Gambar 2a) sudah tidak tampak lagi pada fosil Gunung Api Wediombo, namun kesan kerucut yang dibentuk oleh sisa tubuh fasies proksimal (satuan lava dan satuan breksi) masih dapat dikenali (Gambar 2b). Kesan kerucut tersebut diperlihatkan oleh pasangan sayap-sayap yang masih tampak simetris yaitu sayap barat tinggian daerah Siung, sayap timur tinggian Gunung Manjung, sayap timur laut tinggian Dusun Nampu, dan sayap barat laut tinggian Dusun Pesewan. Sementara ujung sayap bagian dalam memperlihatkan lereng lebih terjal dibandingkan dengan ujung sayap yang menjauhi sumber erupsi, di samping mencerminkan kemiringan batuan yang menyebar dan memancar menjauhi sumber erupsi purbanya. Kemiringan batuan tersebut merupakan kemiringan awal yang dikontrol oleh proses magmatisme dan vulkanisme setempat dalam perjalanannya membangun tubuh gunung api. 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 atas 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 kawah Wediombo (?), dan intrusi Gunung Batur. Artinya, setelah melalui fase konstruksi dan menjalani masa istirahat yang panjang, gunung api ini aktif kembali dengan letusan yang dahsyat membongkar tubuh kerucut gunung api, termasuk batuan korok bagian atas, dan membentuk kawah. Secara petrologis, letusan dahsyat gunung api yang diikuti pembentukan kaldera dicirikan oleh batu apung, sedangkan magma yang mengalami proses

diferensiasi tingkat lanjut berhubungan dengan energi letusan, dan komposisi batuan yang dihasilkan cenderung lebih asam. Di samping itu, 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 ($VEI = 5 - 8$).

Penyebaran batuan gunung api kawasan Wediombo ini relatif berarah barat - timur dengan kemiringan perlapisan batuan mengikuti bentuk struktur bukaannya. Artinya kemiringan perlapisan batuan penyusun tersebut, bilamana direkonstruksi akan membentuk suatu antiklin simetris atau kerucut gunung api. Namun, antiklin yang dimaksud di sini karena adanya akumulasi material gunung api yang terus menerus di sekitar kawah pada waktu aktif, sehingga kemiringan batuan terbentuk merupakan kemiringan awal (*initial dips*). Hasil rekonstruksi menunjukkan lokasi kawah purba sebagai lubang keluarnya magma tersebut pada batuan intrusi (Gunung Batur) dan Teluk Wediombo atau disebut sebagai fasies pusat gunung api (Gambar 12). Suatu aktivitas gunung api dimulai dari pusatnya dan menyebar secara memancar. Batuan intrusif (batuan beku) dan batuan piroklastika akan semakin banyak ditemukan dekat dengan sumbernya, sedangkan ke arah distal akan semakin banyak ditemukan batuan asal gunung api yang bertekstur klastika. Fasies pusat (pasca-vulkanisme) juga menghasilkan endapan-endapan logam berharga (Au) beserta mineral ikutan lainnya, seperti barit, kaolin, tras, pirit, dan sebagainya. Gunung api di sini memberikan gambaran terhadap penyebaran material yang dihasilkannya tidak luas, diameter kawah kurang dari 2 km, tidak dijumpai batu apung, dan gunung api tersebut kecil dengan kriteria letusan kecil atau sebagai khuluk dalam aturan Sandi Stratigrafi Indonesia 1996.

Beberapa hasil analisis di atas memberi gambaran tentang adanya indikasi bahwa kawasan Wediombo menunjukkan ciri-ciri daerah bekas gunung api purba. Daerah di muka struktur setengah melingkar yang tersusun batuan intrusi dan batuan teralterasi hidrotermal (mineralisasi) adalah fasies pusat di dalam model gunung api Vessel dan Davies (1981). Di sisi lain, bentang alam tinggian yang dikuasai oleh

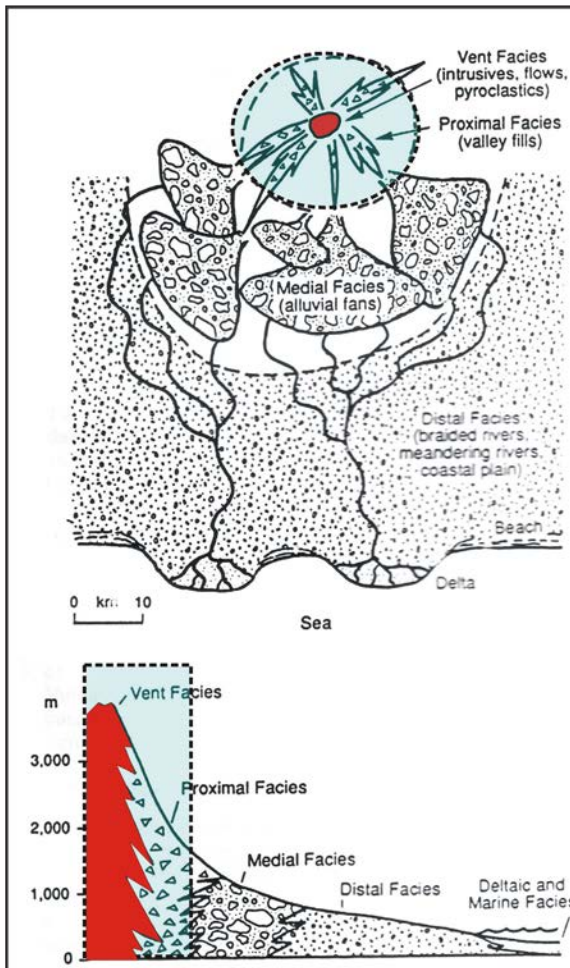


Gambar 12. Hasil rekonstruksi keberadaan tubuh gunung api purba Gunung Batur, Wediombo. Tanpa skala sebenarnya.

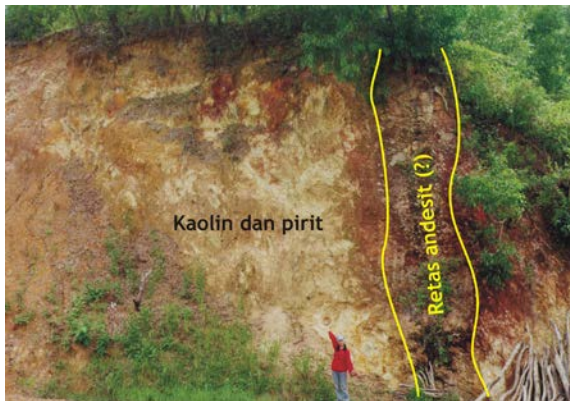
perselingan batuan beku luar dan batuan piroklastika mencirikan fasies proksi (Gambar 13), seperti yang disebutkan oleh Bronto (2006). Fasies medial dan fasies distal Khuluk Gunung Batur, Wediombo

yang tidak tersingkap kemungkinan karena ditutupi oleh batugamping Formasi Wonosari-Punung. Berdasarkan komposisinya terdapat hubungan genesis antara batuan intrusi di fasies pusat dengan batuan fragmental dan lava di fasies proksi. Di samping hal tersebut, terdapat beberapa alasan yang menunjukkan lingkungan pengendapan darat, yaitu tidak dijumpainya fragmen koral, dan struktur bantal pada lava, banyak dijumpainya bom dan blok gunung api, struktur vesikuler pada lava dan fragmen breksi andesit, dan ditunjukkannya warna merah oksidasi. Kemudian diikuti pengendapan asal laut yang ditunjukkan oleh pola penyebaran batugamping Formasi Wonosari-Punung yang melingkungi tubuh gunung api tersebut.

Secara umum, stratigrafi bagian bawah disusun oleh batuan gunung api breksi andesit Formasi Wuni, yang terdiri atas tuf, batupasir tuf, batulanau, setempat bersisipan lignit, berlensa batugamping, mengandung kayu terkarsikan dan dijumpai banyak fosil. Umur Miosen Tengah hanya dijumpai pada batugamping sebagai lensa dalam batupasir tuf dengan fosil penunjuk umur *Globigerina* sp. dan *Gypsina* sp. (Samodra dr., 1992). Secara tidak selaras, di atasnya diendapkan batugamping Formasi Wonosari. Hal ini menggambarkan adanya perubahan lingkungan pengendapan asal darat ke arah laut. Pandangan umum ini menggambarkan kurang adanya pemikiran lengkap terhadap suatu fenomena alam, yaitu asal-usul gunung api. Terlebih lagi pemerian material penyusunnya hanya dikaitkan dengan batuan yang secara lokasi tipe stratigrafi berada jauh di sebelah timur lokasi, yaitu di daerah Pacitan, Jawa Timur. Seperti hasil pemerian lengkap di atas, stratigrafi daerah Wediombo disusun oleh perselingan lava dan breksi andesit, tuf dan batuan



Gambar 13. Posisi gunung api Wediombo pada model fasies gunung api (warna biru muda) (Vessel dan Davies 1981).



Gambar 14. Perubahan warna dan terbentuknya mineral baru akibat proses alterasi hidrotermal retas andesit-dasit (?).

intrusi, serta batugamping. Batuan gunung api fragmental secara genesis berhubungan erat dengan batuan intrusinya. Artinya batuan gunung api produk ekstrusi dan batuan intrusi berasal dari komposisi magma yang sama, yaitu seri toleit atau kandungan potasium rendah (Gambar 10). Sementara itu, batuan yang dihasilkan berkomposisi andesit-dasit. Hal tersebut memberikan suatu gambaran bahwa magma yang menghasilkan batuan gunung api di daerah Wediombo telah mengalami proses diferensiasi pada tingkat menengah. Selanjutnya, pada akhir kegiatan magmatisme-vulkanisme, sisa fluida, panas, dan unsur-unsur bijih terkandung masih berjalan. Produk yang menunjukkan kegiatan tersebut terjadi di fasies pusat adalah dijumpainya batuan yang mengalami pelapukan alterasi hidrotermal (Gambar 14).

Gambar perajahan batuan juga menjelaskan tentang perbedaan seri magma Gunung Batur, Wediombo dengan seri magma di Pegunungan Selatan, Gunung Api Galunggung, MORB, dan Hawaii. Komposisi magma Gunung Batur menunjukkan potasium rendah (*tholeiite series*), sedangkan batuan gunung api daerah Pegunungan Selatan menunjukkan potasium menengah (*calc-alkaline series*). Kandungan SiO_2 batuan gunung api daerah Wediombo jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan SiO_2 dari Gunung Galunggung, MORB, dan Hawaii. Hal ini menunjukkan magma asal ketiga lokasi tersebut belum mengalami proses diferensiasi. Di sisi lain, diagram tersebut juga menerangkan variasi batuan gunung api yang terbentuk; Pegunungan Selatan disusun oleh batuan yang beragam,

mulai dari berkomposisi basal hingga berkomposisi dasit, sedangkan batuan gunung api daerah Wediombo berkomposisi andesit-dasit. Hasil analisis ini berhubungan erat dengan tataan tektonik daerah Pegunungan Selatan secara umum, dan khususnya terhadap vulkanisme Wediombo, yaitu kelompok batuan gunung api yang dihasilkan berasosiasi dengan subdaksi.

Karena batuan penyusun daerah Wediombo dan daerah sekitar berumur Tersier, maka tataan tektonik mengacu pada kegiatan pergerakan lempeng dan subdaksi berumur Tersier juga. Tataan tektonik tersebut adalah pergerakan Lempeng Samudra Hindia-Australia dari selatan ke arah utara, dan menunjam di bawah Pulau Jawa. Berdasar tataan tektonik umum Pulau Jawa dan mengacu pada petrologinya (*tholeiite*), Gunung Api purba Wediombo diperkirakan menempati posisi paling selatan dibandingkan dengan daerah sekitar, dan atau paling dekat dengan Palung Jawa. Tataan tektonik tersebut juga memberikan kontribusi keberadaan Gunung Api Wediombo menempati bagian Busur Sunda di Indonesia, sehingga perkiraan terjadinya jalur mineralisasi di Wediombo perlu mendapatkan prioritas untuk diteliti lebih terperinci dan komprehensif. Di pihak lain, Prihatmoko dr. (2005) telah membuktikan sebagian kecil data geologi dan mineralisasi tentang keberadaan emas (Au) di sekitar lokasi yang diperkirakan sebagai kawah purba di Wediombo.

Secara teoretis perkembangan normal suatu zona orogenesis akan menghasilkan suatu kelompok afinitas batuan dengan kandungan kalium bertambah sejalan dengan menjauhnya dari palung, berbeda dengan asal MORB dan Hawaii yang berasal dari pemekaran dan penipisan kerak samudera. Hal ini juga dapat diamati di Pegunungan Selatan bahwasanya kawasan gunung api purba Gunung Batur, Wediombo berafinitas toleit (Gambar 10), sedangkan kawasan gunung api purba Parangtritis, kawasan gunung api purba Baturagung, dan kawasan gunung api purba Gajahmungkur berafinitas kapur alkali (Hartono, 2000). Namun kawasan gunung api purba Gunung Batur, Wediombo berumur lebih muda, yaitu Miosen Tengah (Formasi Wuni; Surono dr., 1992); sehingga di sini tampak magmatisme-vulkanisme tidak bergantung pada waktu, tetapi berdasarkan data di lapangan yang menunjukkan heterogenitas selimut bumi.

Keberadaan gunung api daerah penelitian kemungkinan berkaitan dengan struktur geologi yang membangun Pulau Jawa. Artinya, awal kegiatan magma di dalam kerak bumi dipicu oleh adanya retakan-retakan sistemik kerak bumi sebagai jalan keluarnya magma ke permukaan bumi, hingga membangun gunung api. Keberadaan gunung api daerah Wediombo kemungkinan diawali adanya retakan kulit bumi yang relatif berarah utara - selatan (Gambar 11) atau mengikuti Pola Meratus (Pulunggono dan Martodjojo, 1994). Selain itu, didukung oleh bentuk Teluk Wediombo dan juga kubah Gunung Batur yang relatif memanjang berarah utara - selatan.

Kondisi geologi berperan penting dalam pembentukan mineral bernilai ekonomi. Mineral vulkanogenik primer selalu terakumulasi di fasies pusat gunung api, sebaliknya mineral vulkanogenik sekunder dapat terakumulasi di dekat maupun jauh dari fasies pusat gunung api purba. Penentuan pusat erupsi gunung api purba dan pemetaan terperinci 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 berakumulasinya sedimen gunung api klastika berukuran lempung hingga pasir, endapan hasil pengerjaan ulang, dan batuan karbonat. Secara umum, endapan-endapan bertekstur klastika tersebut menempati fasies distal. Endapan tersebut berpotensi terhadap akumulasi hidrokarbon.

KESIMPULAN DAN SARAN

Keberadaan gunung api purba dapat diidentifikasi berdasarkan penelitian geologi secara komprehensif meliputi pembelajaran geomorfologi, sedimentologi-stratigrafi, vulkanologi, petrologi-geokimia, struktur geologi gunung api, dan pembelajaran model bawah muka bumi.

Sumber erupsi purba terletak di Gunung Batur dan Teluk Wediombo.

Pembelajaran gunung api purba dan pemetaan

rinci terhadap sebaran tubuh gunung api yang tercermin pada fasies gunung api perlu ditingkatkan. Karena hal ini berkaitan dengan pencarian lokasi sumber energi yang baru.

Ucapan Terima Kasih—Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. H. Adjat Sudrajat, M.Sc. atas masukan, kritik, dan saran dalam penyusunan makalah ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Kepala Pusat Survei Geologi dan Ketua Jurusan Teknik Geologi Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta, yang telah mengijinkan penulis untuk melakukan penelitian bersama di Pegunungan Selatan Yogyakarta.

ACUAN

- Bogie, I., dan Mackenzie, K.M., 1998. The application of volcanic facies models to an andesitic stratovolcano hosted geothermal system at Wayang Windu, Java, Indonesia. *Proceedings, 20th New Zealand Geothermal Workshop*, h. 265-276.
- Bothe, A. Ch. D., 1929. Jiwo Hills and Southern Range. *IVth. Pacific Science Java*, Bandung.
- Bronto, S., 1989. *Volcanic Geology of Galunggung West Java, Indonesia*. PhD thesis, University Canterbury, Christchurch, New Zealand, 490h.
- Bronto, S., 2006. Fasies Gunung Api dan Aplikasinya. *Jurnal Geologi Indonesia*, 2, h. 59-71.
- Chernicoff, S. dan Venkatakrishnan, R., 1995. *Geology: An Introduction to Physical Geology*. Worth Publishers, Inc., h. 593.
- Chotin, P., Giret, A., Rampnoux, J.P., Rasplus, L., Suminta, dan Priyomarsono, S., 1984. Etude de la fracturation dans l'île de Java, Indonesie. *Bulletin, Society, Geology. France*, t. XXVI, 6, h. 1325-1333.
- Hadiyanto, 2003. *Geokimia Batuan Gunungapi G. Batur, Wediombo, Kecamatan Rongkop, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Seminar S1, STTNAS, tidak dipublikasikan.
- Hartono, G., dan Misdiyanta, P., 2002. Daerah Wediombo Sebagai Khuluk Gunungapi Purba. Poster dipresentasikan pada acara PIT 31 IAGI di Surabaya, 30 September – 2 Oktober 2002.
- 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., Bronto S. & Yuwono S., 2000. Tertiary Volcanism in the Southern Mountains of Yogyakarta-Central Java, Indonesia. *Abstr IAVCEI General Assembly, Exploring Volcanoes: Utilization of Their Resources and Mitigation of Their Hazards*, July, 18-22, 2000, Bali-Indonesia, h. 255.
- Haryono, S., Otong, R., dan Oyon, S., 1995. *Peta Anomali Bouguer Lembar Surakarta-Girontro, skala 1:100.000*.

- Puslitbang Geologi, Bandung.
- Hughes, C.J., 1982. *Igneous Petrology*, Elsevier Science Pub. B.V., 551h.
- Lokier, S.W., 1999. The Development of The Miocene Wonosari Formation, South Central Java. *Proceedings, Indonesian Petroleum Association, Twenty Seventh Annual Convention & Exhibition*, h.217-222.
- Macdonald, A.G., 1972. *Volcanoes*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 510 h.
- Martodjojo, S., dan Djuhaeni, 1996. Sandi Stratigrafi Indonesia. *Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, Ikatan Ahli Geologi Indonesia*. Jakarta, 25 h.
- Newhall, C.G., dan Self, S., 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An estimate of explosive magnitude of historic eruptions. *Journal of Geophysical Research*, 87, h. 1231-1238.
- Prihatmoko, S., Hendratno, A., & Harijoko, A., 2005. Mineralization and Alteration Systems in Pegunungan Seribu, Gunungkidul and Wonogiri. *Prosiding JCS, HAGI XXX-IAGI XXXIV-PERHAPI XIV*, Surabaya.
- Pulunggono, A. dan Martodjojo, S., 1994. Perubahan Tektonik Paleogen-Neogen Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa. Kumpulan Makalah Seminar: *Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, Sejak Akhir Mesozoik Hingga Kuarter. Jurusan Teknik Geologi, UGM*, h.1-9.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H.M.D., 1977. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1:100.000*. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Samodra, H., Gafoer, S., dan Tjokrosapoetro, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa, skala 1:100.000*. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R. C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M., and Priadi, B., 1994. The Tertiary Magmatic Belts in Java. *Journal of SE-Asian Earth Science.*, vol.9, no.1/2, h.13-27.
- Surono, Sudarno, I., dan Toha, B., 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, skala 1:100.000*. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Sutanto, Soeria-Atmadja, Maury, R.C., dan Bellon, H. 1994. Geochronology of Tertiary Volcanism in Java. Kumpulan Makalah Seminar: *Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, Sejak Akhir Mesozoik Hingga Kuarter. Jurusan Teknik Geologi, UGM*, h.53-56.
- Van Bemmelen, R.W, 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol IA. Government Printing Office, h. 28-29, 102-106, 595-602.
- Van Zuidam, R.A., dan Van Zuidam-Cancelado, F.I., 1985. *Aerial Photo-Interpretation In Terrain Analysis and Geomorphologic mapping*. Smith Publisher, The Hague.
- Vessel, R.K. dan Davies, D.K., 1981. Non Marine Sedimentation in An Active Fire Arc Basin. *Dalam: Etridge, F. G., dan Flores, R.M. (Eds.) Recent and Ancient Non Marine Depositional Environments: Models for Exploration. Society of Economics Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 31*.
- Williams dan MacBirney, 1979. *Volcanology*. Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 397h.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman, London, 1st. pub., 465 h.
- Zain, A.N., 2004. *Geologi daerah Wediombo dan sekitarnya, Kec. Tepus dan Kec. Girisubo, Kab. Gunungkidul, Prov. DIY, dan Studi Petrogenesis Batuan Intrusi G. Batur*. Skripsi S1, STTNAS, tidak dipublikasikan.