

BENTANG ALAM GUMUK GUNUNG API PURBA BERARAH BARATLAUT-TENGGARA DI DAERAH KARANGDOWO-TAWANGSARI, JAWA TENGAH

Oleh:

Gendoet HARTONO

Pengajar pada Jurusan Teknik Geologi, STTNAS, Yogyakarta. E-mail: hillgendoet@sttnas.ac.id

Abstrak

Bentang alam daerah Karangdowo-Tawang Sari umumnya berupa dataran yang di dalamnya dijumpai bukit-bukit ber relief landai. Bukit-bukit tersebut disusun oleh batuan gunung api Formasi Mandalika yang dilingkupi oleh endapan Kuartar dari G. Merapi dan G. Lawu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan bentang alam tersebut yang didekati dengan pembelajaran geologi gunung api. Genesis bentang alam tersebut berkaitan dengan erupsi celah yang membentuk gumuk-gumuk gunung api bawah laut. Tonjolan bukit-bukit yang tersebar di daerah Karangdowo-Tawang Sari dicirikan oleh bentang alam landai (< 300 m dpl), bergelombang lemah ($< 10^\circ$), berbukit dengan radius kurang dari 1 km dan berbentuk lonjong. Sebaran bukit-bukit tersebut membentuk dua deretan di selatan dan di utara. Di bagian selatan diwakili oleh bentang alam G. Mojo, G. Beluk, Dusun Kuningan, Dusun Tumpukan, G. Pencit, Dusun Jarum, G. Prengkel, G. Pegat, dan di sebelah utara diwakili oleh bentang alam G. Majesto, G. Ponowaren, G. Lorog. Kedua deretan bentang alam yang relatif paralel tersebut berarah $U140^\circ T - U145^\circ T$ seperti memanjangnya bentuk bukit-bukit tersebut. Secara umum gumuk-gumuk tersebut disusun oleh batuan beku berkomposisi andesit ($SiO_2 = 57,72$ %berat), berafinitas kapur-alkali ($K_2O = 1.16$ %berat), dan berasosiasi dengan tektonik subduksi ($TiO_2 = 0,54$ %berat). Batuan beku tersebut membentuk struktur bantal, kekar radier, vesikuler halus, terbreksikan, afanit – porfiritik halus, dan beberapa terbungkus oleh lapisan gelas “skin glassy” dengan tebal kurang dari 1 cm. Ciri-ciri fisik yang demikian mengindikasikan batuan tersebut terbentuk di dalam air. Artinya pembangunan gunung api di daerah Karangdowo-Tawang Sari diawali dengan erupsi celah di bawah permukaan laut (subaqueus) pada Kala Oligosen yang kemudian berkembang menjadi subaerial melalui fase transisi litoral pada Kala Miosen membentuk bentang alam tinggian di sebelah selatannya.

Kata kunci: erupsi celah, gumuk, struktur bantal, gunung api bawah laut.

PENDAHULUAN

Pegunungan Selatan Jawa umumnya disusun oleh produk gunung api yang dikenal sebagai “Old Andesite Formation” (van Bemmelen, 1949) dan merupakan bagian dari pembelajaran busur gunung api berumur Tersier. Formasi batuan gunung api tersebut terdiri atas perselingan antara fraksi halus (tuf), fraksi kasar (lapili, breksi), dan lava, bahkan kadang dijumpai batuan beku terobosan berupa sill dan retas. Beberapa peneliti (misal: Sopaheluwakan, 1977; Soeroto, 1986; Bronto, *et al.*, 1994; Yuwono, 1997; Hartono, *et al.*, 2007) menyebutkan tentang adanya kegiatan gunung api bawah laut berumur Tersier yang lokasinya terletak di Pulau Jawa bagian selatan. Produk batuan gunung api di daerah Karangdowo dan Tawang Sari membentuk bentang alam bergelombang landai, memanjang yang berbeda dengan bentuk bentang alam yang disusun oleh Formasi Andesit Tua. Penelitian ini diharapkan dapat mengungkap keberadaan bentang alam gunung api yang penyusunnya mengindikasikan keberadaan gunung api bawah laut atau berkaitan dengan tataan struktur geologi di daerah Karangdowo dan Tawang Sari, Jawa Tengah.

Lokasi daerah penelitian terletak di wilayah Karangdowo, Klaten dan Tawang Sari, Sukoharjo, Jawa Tengah. Kedua wilayah tersebut dibatasi oleh aliran Sungai Dengkung yang bermuara di Bengawan Solo di utaranya (Gambar 1). Daerah Karangdowo meliputi G. Mojo, G. Beluk, dan Bt. Tumpukan di bagian barat, sedangkan daerah Tawang Sari meliputi G. Pencit, Bt. Jarum, Bt. Prengkel, G. Pegat, dan G. Majesto, Bt. Setren dan Bt. Lorog di bagian timur. Bentang alam Karangdowo-Tawang Sari berupa perbukitan dengan ketinggian +125 - +150 di atas muka laut (dml) yang dikelilingi dataran dan menempati bagian utara Pegunungan Baturagung (+687 dml) dan Gajahmungkur (+692 dml).



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.

Metode yang diterapkan adalah melakukan penelitian geologi yang menekankan pada deskripsi bentang alam, petrologi dan vulkanologi, dan didukung oleh analisis laboratorium, sedangkan pemilihan daerah studi didasarkan pada kemudahan pencapaian lokasi, singkapan geologi yang cukup mewakili dan keberadaannya belum dikaji secara komprehensif. Selain hal tersebut, daerah ini penting untuk studi magmatisme - vulkanisme, dan implikasinya terhadap sumber daya energi.

DASAR TEORI

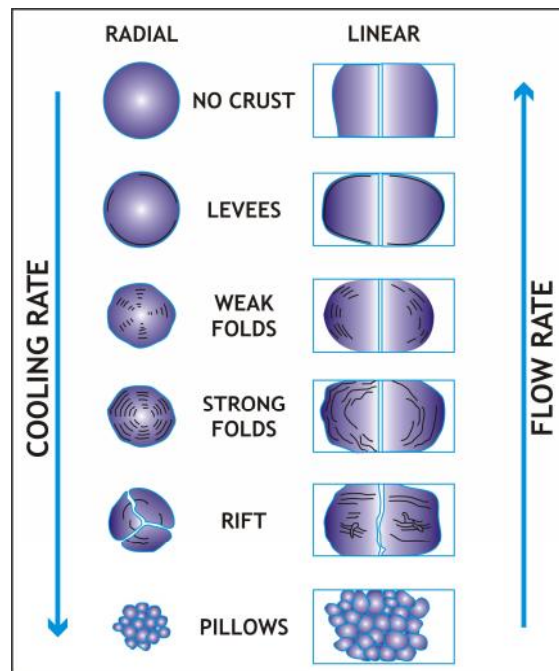
Macdonald, (1972) mendefinisikan gunung api sebagai tempat atau bukaan yang menjadi titik awal bagi batuan pijar dan atau gas yang keluar ke permukaan bumi dan bahan sebagai produk yang menumpuk di sekitar bukaan tersebut membentuk bukit atau gunung. Tempat atau bukaan tersebut disebut kawah atau kaldera, 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.

Secara umum, Wilson (1989) menyatakan bahwa magmatisme dapat terjadi di batas lempeng konstruktif maupun destruktif, dan magmatisme yang terjadi di dalam lempeng. Selain itu, tataan tektonik tersebut menunjukkan keteraturan terhadap kenampakan bentang alam gunung api, seri magma, dan kisaran komposisi SiO_2 . Karakteristik gunung api sendiri mencakup di antaranya letak sumber erupsi, tipe letusan, bentuk gunung api, struktur gunung api, tipe magma, dan komposisi batuan. Di pihak lain, Walker (1993) menjelaskan ciri-ciri magma sebagai dasar parameter di dalam kegunungapian adalah (a) densitas relatif magma - litosfera yang membuat kemungkinan terjadinya vulkanisme dan membantu menentukan posisi intrusi dan dapur magma; (b) viskositas dan *yield strength* menentukan geometri, intrusi dan struktur aliran lava; (c) kandungan gas mendorong terjadinya erupsi dan menentukan tingkat letusannya; dan (d) kombinasi antara kandungan gas dengan viskositas, dan *rheology* mengontrol kekuatan letusan erupsi.

Lava terutama dikontrol oleh viskositas, kecepatan efusi, dan keadaan lingkungan pengendapan baik di darat ataupun di laut. Aliran lava encer memiliki viskositas dan kandungan silika rendah, sebaliknya aliran lava kental memiliki viskositas dan kandungan silika tinggi. Berdasarkan fungsi dari kecepatan efusi terhadap viskositas maka akan terbentuk beberapa jenis aliran lava, seperti block, aa, dan pahoehoe. Di samping itu, aliran lava yang mengendap di dalam lingkungan air (*submarine*) akan membentuk struktur khusus yaitu bantal (*pillow*). Struktur bantal terbentuk berkaitan dengan pendinginan sangat cepat/tinggi, namun kecepatan aliran sangat lambat/rendah (Gambar 2). Kecepatan aliran penting dalam mengendalikan tipe pembentukan lava bawah muka air, sementara kecepatan pendinginan lebih cepat di lingkungan bawah muka air. Sehingga lava yang terbentuk umumnya disertai oleh pembentukan hialoklastit (fragmen gelas), sedangkan breksi bantal terbentuk dari pecahan-pecahan kasar (secara khas berukuran block) yang dihasilkan dari lava bantal sendiri yang tertanam di dalam pecahan bantal yang lebih halus atau matrik hialoklastit.

Pada umumnya, bentuk atau struktur bentang alam gunung api sangat beragam. Keragaman tersebut tidak terpisahkan oleh berbagai faktor pembentuk seperti tipe erupsi, komposisi dan viskositas magma, lingkungan sekitar, dsb. Sementara sifat alami letusan dan hasil bentukan bentang alam gunung api tergantung pada sifat alami lava. Sebagai contoh, erupsi lava felsik letusannya dahsyat dan sering menyebabkan kerucut komposit

curam, produknya terdistribusi lebih jauh. Sebaliknya, lava mafik letusannya tenang dan membentuk morfologi landai, produknya dekat dengan kawah, dan kadang-kadang erupsi bawah muka air membentuk pulau.



Gambar 2. Pembentukan struktur aliran lava akibat “cooling rate vs flow rate” (Anonim, 2002).

TATAAN GEOLOGI

Pulau Jawa bagian selatan umumnya disusun oleh batuan gunung api produk erupsi letusan maupun erupsi lelehan, selain batuan sedimen klastik dan karbonat. Kedua produk erupsi tersebut membentuk jajaran gunung api komposit, yaitu disusun oleh perselingan antara lava, breksi, lapili, dan tuf berkomposisi andesit, seperti yang dikenal sebagai Formasi Andesit Tua. Di sisi lain, khususnya untuk produk erupsi lelehan yang berkomposisi basal-andesit basal membentuk bentang alam gumuk gunung api, dan umumnya aliran lavanya berstruktur bantal. Gumuk-gumuk gunung api tersebut juga terletak berjajar sejajar dengan gunung api kompositnya.

Surono, *et al.*, (1992) menyatakan perbukitan Karangdowo-Tawang Sari yang menjadi topik bahasan disusun oleh lava dasit-andesit dan tuf dasit, dan dikelompokkan ke dalam Formasi Mandalika (Tomm) yang secara stratigrafi sebagai batuan tertua berumur Oligosen-Miosen Awal. Di daerah ini, formasi tersebut dilindungi oleh endapan aluvium (Qa). Struktur geologi berupa sesar normal diperkirakan berarah tenggara-baratlaut, bagian utara sebagai blok yang turun, dan lipatan antiklin dan sinklin. Di pihak lain, Hartono, *et al.*, (2007) menyatakan bahwa daerah Tawang Sari dan Jomboran, Jawa Tengah umumnya disusun oleh batuan beku yang memperlihatkan struktur bantal, berkomposisi andesit basal, berafinitas alkali-kapur menengah yang berasosiasi pada busur kepulauan. Batuan beku tersebut membentuk bentang alam landai (kemiringan

<10°) yang berasosiasi dengan erupsi lelehan di dalam air, dan membentuk gumuk-gumuk gunung api bawah laut.

Di sebelah barat lokasi penelitian, Bronto, *et al.*, (1994) melaporkan bahwa lava yang tersingkap di daerah Watuadeg, Kalasan, Yogyakarta dan di Kali Nampu, dan “Gunung Sepikul” Bayat, Klaten merupakan lava tipe bantal, dan bukan bagian dari ofiolit yang berasal dari pemekaran lempeng samudera Hindia. Sementara itu, Sopaheluwakan (1977) menyebutkan di hulu aliran Sungai Grindulu, Pacitan, Jawa Timur tersingkap lava bantal berkomposisi basal, dan andesit-basal, namun keberadaannya masih dipertanyakan sebagai bagian dari kegiatan volkanik continental ataukah sebagai produk dari gunung api bawah laut (?). Hal tersebut dibandingkan dengan kegiatan volkanisme bawah laut di Kepulauan Antilla Kecil sebagai awal pembentukan busur kepulauan. Di pihak lain, Samodra *et al.*, (1992) melaporkan kumpulan lava basal dan lava andesit yang sebagian besar membentuk struktur bantal tersebut dikelompokkan ke dalam Formasi Mandalika (Tomm) dan Formasi Watupatok (Tomw) yang diperkirakan berumur Oligosen-Miosen.

HASIL PENELITIAN

Bentang alam

Bentang alam daerah Karangdowo, Sukoharjo merupakan perbukitan bergelombang lemah yang dipisahkan oleh dataran sebagai bentang alam utamanya. Perbukitan daerah Karangdowo mempunyai ketinggian kurang dari 160 m di atas permukaan air laut dengan kelerengan tidak lebih dari 15° (Gambar 3c,e,g), sedangkan perbukitan Tawang Sari mempunyai ketinggian +125 m dml dengan kelerengan 10° (Gambar 3a,f,j). Bentuk bukit-bukit di kedua daerah ini umumnya melingkar seperti kubah, dan memanjang pendek (elipsoidal) dengan panjang kurang dari 300 m, sementara puncak dari bukit tersebut landai. Pola pengaliran berupa sungai-sungai kecil yang berhulu di Pegunungan Wonogiri dan Pegunungan Baturagung yang terletak di sebelah selatannya. Disamping itu, umumnya sungai-sungai kecil bersistem subparalel tenggara-baratlaut berhulu di G. Merapi (+2914 dml) yang terletak di sebelah barat laut. Sungai-sungai tersebut kemudian menyatu di Bengawan Solo sejauh 3 km di sebelah utaranya.

Gunung Mojo (+115m dml) terletak paling barat dari jajaran bukit-bukit di daerah Kedungdowo (Gambar 3e). Bentuk bukit memanjang tenggara-baratlaut, dan sedikit melebar ke arah utara, kelerengan antara 5° – 8°. G. Mojo ini pada umumnya disusun oleh batuan beku luar, lava terbreksikan atau breksi autoklastika, warna abu-abu, hipokristalin, porfiritik halus, piroksin (2%), beberapa aliran lava tersebut membentuk struktur bantal. Di beberapa tempat dijumpai material halus, tuf (?), warna coklat muda, klastik, konkoidal, tidak bereaksi dengan HCl, penyebaran tidak menerus dan selalu tampak menyisip di antara bongkah-bongkah batuan bekunya, selain itu juga dijumpai tuf berwarna putih agak kecoklatan, berbutir halus-kasar. Di sebelah tenggaranya ditempati G. Beluk (+132m dml), berbentuk relatif membulat tetapi masih tampak sedikit memanjang (Gambar 3c), kelerengan 7° – 10° dan umumnya disusun oleh batuan beku andesit, terkekarkan, dan beberapa memperlihatkan kekar berlembar (Gambar 3d). Di sebelah selatan G. Beluk ini dijumpai bukit kecil Kemuning (+104m dml) yang disusun oleh batuan beku yang sama dengan G. Beluk. Bukit Tumpukan (+110m dml) terletak di sebelah tenggara G. Beluk, berbentuk relatif memanjang tenggara-timurlaut, kelerengan 5° – 8° dan disusun oleh batuan beku yang memperlihatkan kesan struktur bantal, bagian

tepi bagian kontak tampak melingkar (Gambar 3g,h,i). Kesan struktur bantal tersebut ditunjukkan oleh kontak antara tubuh aliran lava satu dengan lainnya, membreksi, kekar menyebarkan, panjang aliran mencapai 1,5m, umumnya warna abu-abu agak gelap, porfiritik-afanitik, dan vesikuler.



Gambar 3. Bentang alam dan litologi penyusun daerah Karangdowo-Tawang Sari. Keterangan gambar: (a-b) G. Pencit, (c-d) G. Beluk, (e) G. Mojo, (f) daerah Puntuk, (g-h-i) G. Tumpukan, (j) G. Majesto, dan (k) daerah Lorog.

Bukit-bukit yang menempati daerah Tawang Sari membentuk dua jajaran di selatan dan di utara. Di selatan diwakili oleh G. Pencit, bukit Prengkel, bukit Jarum, bukit Pegat, bukit Watujaran, dan bukit Lorog dan bukit Puntuk di ujung tenggara. Jajaran bukit di utara diwakili oleh G. Majesto, bukit Setren, dan daerah Gunungsudo. G. Pencit (+117m dml), bukit Jarum (+110m dml) menempati lokasi yang sama dengan dua tinggian, sedangkan bukit Prengkel (+112m dml) terletak di sebelah tenggaranya (Gambar 3a). Gambar 3b memperlihatkan litologi penyusun G. Pencit dan bukit Jarum, umumnya berupa breksi autoklastik, tampak kontak antara tubuh aliran lava andesit sa tu dengan lainnya, membongkah dan kasar. Hal yang sama juga dijumpai pada bukit Prengkel dan umumnya mempunyai kelerengan hampir sama 10° . Di ujung tenggara deretan bukit di atas ditempati bukit Puntuk (+160m dml) yang umumnya disusun oleh batuan beku dan bongkahan-bongkahan yang memperlihatkan kesan struktur bantal (Gambar 3f), autobreksia, ukuran bongkahan mencapai 2 m, dan kelerengan kurang dari 8° . Warna batuan beku abu-abu gelap-sedang, afanitik-porfiritik halus, struktur permukaan relatif halus. Jajaran bukit di utara, G. Majesto (+127m dml), berbentuk membulat sedikit kesan memanjang tenggara-baratlaut (Gambar 3j), umumnya disusun oleh litologi yang sama dengan bukit Setren (+110m dml) dan bukit Lorog (+115m dml, Gambar 3k) yaitu batuan beku terbreksikan (autoklastika), tampak aliran tubuh aliran lava saling menindih, struktur permukaan sangat kasar, warna abu-abu agak terang, afanitik-porfiritik halus, amigdaloidal kalsit, membongkah, ukuran tubuh aliran mencapai 5 m, dan besar kelerengan dari ketiga bukit tersebut tidak lebih dari 10° .

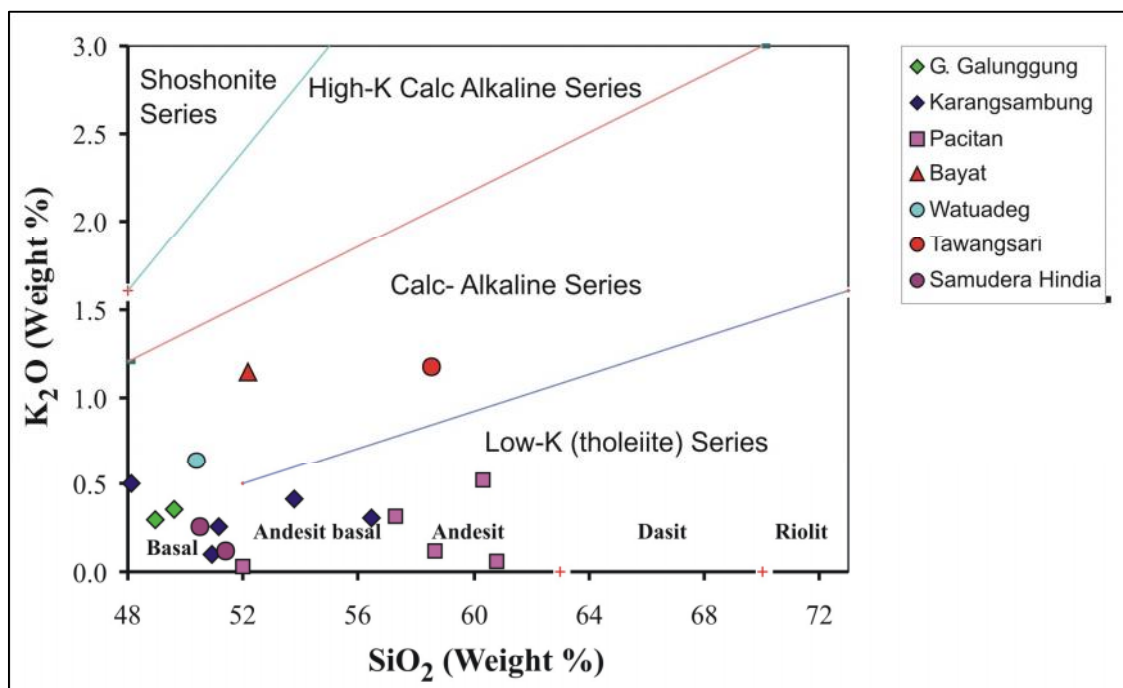
Petrologi

Kenampakan mikroskopis lava bantal Tawang Sari bertekstur hipokristalin, porfiritik dengan fenokris plagioklas berbentuk plat tabular-lamelar, kolumnar (batang) berukuran antara 0,25 mm – 2,25 mm, masa dasar berbentuk jarum, batang, plat, serta bentuk tak beraturan berukuran antara 0,02 mm – 0,25 mm berkembar karlsbad, albit, albit – karlsbad, osilatori, singgung, dan piriklin, bekomposisi An 32-50 (andesin). Piroksen terdiri atas orto dan klino, fenokris berukuran antara 0,25 mm – 1,75 mm, bentuknya terdiri atas butiran tak teratur bentuk, plat tabular, lamelar, dan segi banyak beraturan simetris, sering berkembar, sering tumbuh bersama berkelompok (glomeroporfiritik), sering teralterasi terutama pada daerah sekeliling retakan dan belahan dengan mineral sekunder yang hadir terdiri atas klorit dan kalsit. Mikrolit / mesostasis berupa butiran sangat halus berukuran $< 0,01$ mm diperkirakan terdiri atas felspar dan mineral bijih serta gelas yang semi isotropis. Klorit dan kalsit juga mengisi rongga-rongga vesikuler dan ruang antara masa dasar, sedangkan mineral bijih Fe, Mg, Ti -oksida berukuran antara 0,01 mm – 0,05 mm, tersebar di dalam masa dasar dan sebagai inklusi di dalam piroksen.

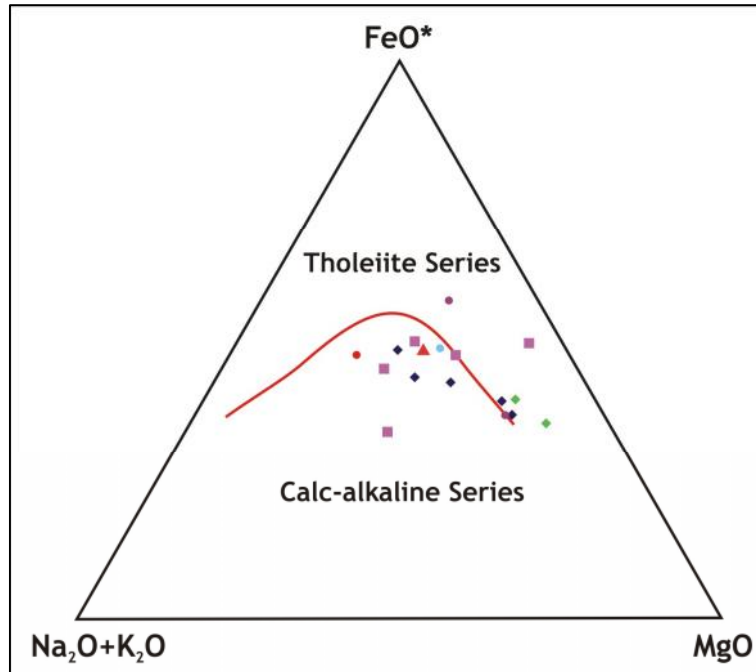
Analisis kimia elemen utama lava bantal Tawang Sari menunjukkan kandungan K_2O cukup tinggi (1,16%), kandungan TiO_2 relatif rendah yaitu 0,54%, seperti juga ditunjukkan secara petrografis oleh kehadiran mineral opaq atau mineral bijih (2%). Sebaliknya, kandungan Al_2O_3 pada lava bantal ini cukup tinggi yaitu 17,65% yang hal mana ditunjukkan dengan melimpahnya kandungan plagioklas (45%), sedangkan kandungan alkali total lava ini cukup tinggi yaitu mencapai 4,4%. Gambar 4 memperlihatkan analisis kimia unsur utama seluruh lava bantal yang menjadi bahan perbandingan dalam bahasan makalah ini. Berdasarkan diagram variasi $K_2O - SiO_2$ menunjukkan adanya kumpulan batuan gunung api berafinitas tholeit hingga alkali-kapur

menengah dengan kandungan K_2O antara 0,10% -1,54%, hal yang sama ditunjukkan oleh diagram AFM (Gambar 5). Diagram AFM ini juga menunjukkan adanya perubahan penurunan kandungan FeO^* dan MgO atau dengan kata lain perbedaan tingkat diferensiasi. Magma yang membentuk batuan gunung api Tawangsari sendiri termasuk pada magma yang telah mengalami diferensiasi menengah.

Kandungan TiO_2 umumnya rendah antara 0,54% -1,13%, walaupun ada contoh yang mencapai lebih dari 1,2% yaitu contoh asal Karangsambung (1,54%), Pacitan (1,33%) masing-masing satu contoh, dan asal Samudera Hindia mencapai 2,58%. Perbedaan persentase berat TiO_2 di antara tiga contoh pertama dengan lokasi asal yang sama tidak signifikan dibandingkan dengan contoh asal Samudera Hindia. Hal ini menunjukkan bahwa himpunan batuan gunung api ada yang berhubungan dengan subduksi (*subduction related magmatism*), dan yang lainnya tidak berhubungan (*non-subduction related magmatism*). Contoh batuan gunung api asal Samudera Hindia menunjukkan asal-usul yang tidak berhubungan dengan subduksi, yaitu daerah pemekaran samudera, dan berkomposisi basal, sedangkan contoh batuan gunung api yang lain (dalam makalah ini) berhubungan dengan subduksi, berkomposisi basal - andesit. Lava bantal Tawangsari menempati daerah alkali-kapur menengah bersama lava bantal Watuadeg, dan Bayat, sedangkan komposisi semua lava bantal dalam makalah ini berkisar antara basal – andesit ($SiO_2 = 48,13\% - 61,51\%$).



Gambar 4. Perajahan lava bantal Tawangsari dalam diagram $K_2O - SiO_2$ (Peccerillo & Taylor, 1976). Data kompilasi lava bantal Pacitan, Karangsambung (Soeria-Atmadja, *et al.*, 1991), Bayat, Watuadeg, Samudera Hindia dan G. Galunggung (Bronto, *et al.*, 1994).



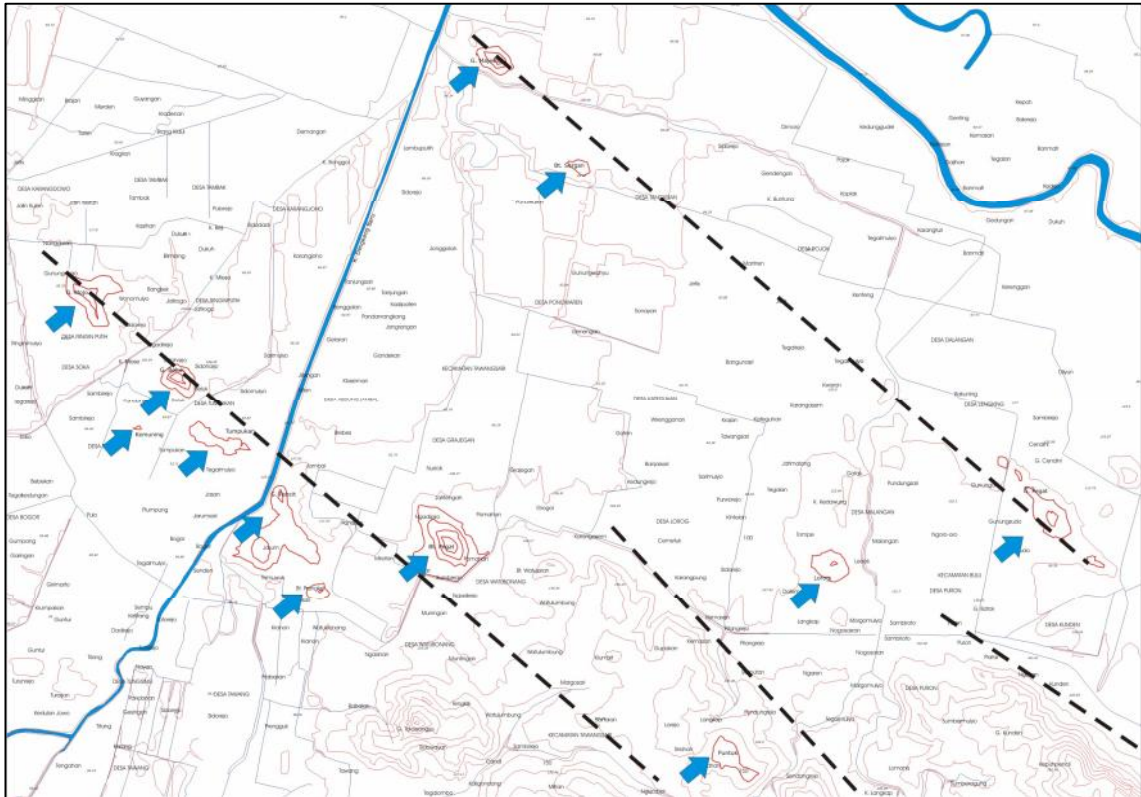
Gambar 5. Kedudukan lava bantal di dalam diagram AFM.
(Keterangan simbol sama dengan gambar 4).

DISKUSI

Secara umum bentang alam daerah Wonogiri merupakan bentang alam bentukan batuan gunung api berkomposisi andesit hingga riolit. Ciri-ciri fisik bentang alam tersebut meliputi relief yang sangat kasar atau bergelombang kuat dengan kelerengan curam. Batuan gunung api yang terdiri atas perselingan lava dan batuan piroklastika tersebut merupakan penyusun utama Formasi Mandalika. Hartono (2000), Hartono dan Syafrri (2007) menyatakan bahwa kelompok batuan gunung api tersebut merupakan produk fase pembangunan bentang alam gunung api purba Gajahmungkur, dan pembangunannya perlu waktu yang sangat panjang. Di bagian utara terbentang dataran sangat luas yang disusun oleh endapan G. Merapi dan G. Lawu. Namun, nampak dari jauh di dalam bentang alam dataran tersebut terdapat seperti “gundukan -gundukan” atau “gumuk-gumuk” berelief landai dan selanjutnya disebut sebagai gumuk Karangdowo-Tawang Sari. Oleh sebab itu, bentang alam landai Karangdowo-Tawang Sari yang menempati bagian dari bentang alam dataran nampak terisolir dan menjadi sangat unik atau malah aneh (?). Terlebih bila dihubungkan dengan keberadaannya yang saling berjajar membentuk garis lurus berarah tenggara -baratlaut (Gambar 6).

Bentang alam berelief landai Karangdowo-Tawang Sari terkait dengan keberadaan lava bantal berkomposisi andesit. Karena lava bantal tersebut merupakan komponen utama pembentuknya. Struktur bantal hanya dapat terbentuk di lingkungan air pada kedalaman tertentu dan volume magma yang cukup, selain sifat -sifat fisika-kimiawi yang menyertainya. Di pihak lain, ilmu kegunungapian menjelaskan bahwa keberadaan lava bantal terkait erat dengan kegiatan gunung api bawah laut. Artinya, bentang alam gunung api terbentuk ketika lava dan partikel panas keluar dari dalam bumi, kemudian membeku dan atau membatu di sekitar kawah. Kata “keluar” di sini identik dengan erupsi yaitu

erupsi lelehan dan atau erupsi letusan. Sehingga bentang alam yang terbentuk merupakan bentang alam asli atau bentang alam awal. Hal ini penting bilamana kita hubungkan dengan peran tektonik di dalam pembentukan awal bentang alam gunung api, penjarangan gumuk-gumuk gunung api. Pengungkapan adanya korelasi antara tipe erupsi gunung api dengan pembentukan bentang alam ini menunjukkan peran faktor-faktor penyerta seperti komposisi, temperatur, dan kandungan gas di dalam magma. Umumnya, faktor-faktor itulah yang mengontrol viskositas magma dan menentukan tipe erupsi gunung api. Aliran lava basal umumnya berasosiasi dengan erupsi lelehan.



Gambar 6. Memperlihatkan penjarangan bukit-bukit yang tersebar di wilayah Karangdowo dan Tawang Sari, Jawa Tengah. Perhatikan bentuk kontur gunung atau bukit (tanda panah)

Jelas bahwa lava yang membeku di bawah air mempunyai bentuk-membulat, saling menumpuk, di bagian tepi tampak melingkar (*spheroidal, ellipsoidal*), bentuk rupa-bantal dengan kulit yang keras, dan rekahan radier. Hal ini kemungkinan berhubungan dengan viskositas yang hal mana terlihat pada gambar 2 di atas. Pembentukan struktur bantal merupakan fungsi dari kecepatan pendinginan dengan kecepatan aliran, yaitu membeku sangat cepat dan mengalir sangat lambat. Sebaliknya, akan terbentuk struktur masif, tidak memperlihatkan struktur bantal. Membeku sangat cepat hanya dapat terjadi pada massa yang sangat panas (magma) bersentuhan dengan massa air yang dingin, es atau massa sedimen yang jenuh air. Sehingga pembentukan struktur bantal sering disertai pembentukan massa gelas yang menyelimutinya atau dikenal dengan istilah "skin glassy", dan berasosiasi dengan endapan fragmen gelas lava

berupa *hyaloclastites*. Di samping hal tersebut, unit tubuh aliran lava bantal memperlihatkan struktur permukaan halus (Gambar 3f,h,i), terdapat juga yang memperlihatkan kesan permukaan kasar “mem-breksi” atau “breksi autoklastika” (Gambar 3b,d,k). Pecahan-pecahan atau rekahan-rekahan yang membentuk kesan mem-breksi ini ada yang berukuran kasar (*coarse autobreccia*) dan yang berukuran halus (*granular autobreccia*). Selain faktor viskositas, kecepatan membeku, breksi autoklastika ini kemungkinan dipengaruhi juga oleh morfologi batuan dasar selama dia mengalir.

Hasil analisis petrologi daerah Karangdowo-Tawang Sari menunjukkan afinitas magma berasosiasi dengan penunjaman lempeng yang membentuk busur kepulauan, seperti hasil penelitian Soeria-Atmadja *et al.*, (1991), atau lava bantal yang tersingkap di daerah Karangdowo-Tawang Sari terjadi di busur gunung api. Secara ilmu kegunungapian, kemungkinan lava bantal merupakan awal kegiatan gunung api bawah laut yang kemudian membentuk bentang alam gumuk-gumuk gunung api di daerah ini, dan kemudian sejalan dengan proses diferensiasi magma menghasilkan batuan gunung api yang lebih asam membentuk bentang alam kerucut gunung api Gajahmungkur dan Baturagung. Di pihak lain, keberadaan gumuk-gumuk gunung api Karangdowo-Tawang Sari yang berderet berarah U145°T terjadi karena adanya sesar mendatar mengkiri yang dimensinya cukup besar, sehingga mengkondisikan posisi gumuk-gumuk tersebut berjajar teratur. Kombinasi keduanya yaitu antara tektonik dan vulkanisme memungkinkan adanya rekahan berarah tenggara-baratlaut yang kemudian sebagai jalan keluarnya magma ke permukaan bumi. Hal terakhir ini juga dapat dijelaskan dengan tidak dijumpainya tubuh-tubuh gumuk-gumuk gunung api yang terpisah dalam jarak yang signifikan karena desakan tektonik, tetapi struktur membreksinya aliran lava tersebut berkaitan dengan faktor viskositas dan kecepatan membekunya. Selain itu juga didukung oleh bentuk morfologi gumuk-gumuk (bentuk kontur) yang relatif memanjang berarah tenggara-baratlaut searah sesar mendatar mengkiri. Artinya, magma dengan viskositas rendah mengalir ke permukaan bumi mengikuti bentuk memanjangnya celah atau rekahan yang ada.

KESIMPULAN

- Bentang alam gumuk gunung api Karangdowo - Tawang Sari disusun oleh andesit porfiri dengan fenokris piroksin dan plagioklas, dan kadang menunjukkan struktur zoning, berafinitas alkali-kapur menengah yang berasosiasi pada busur kepulauan.
- Lava bantal Karangdowo - Tawang Sari membentuk bentang alam landai (kemiringan $<10^\circ$) yang berasosiasi dengan erupsi lelehan di dalam air, dan membentuk gumuk-gumuk gunung api bawah laut.
- Penjajaran gumuk-gumuk Karangdowo – Tawang Sari berarah U145°T kemungkinan berkaitan dengan struktur mendatar mengkiri berarah tenggara-baratlaut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada saudara Azhar, Sony Martino, Maulana Arsyad atas kerjasamanya yang baik selama kerja lapangan dan kepada Dr. Sutikno Bronto atas diskusi dan saran yang konstruktif selama penyusunan naskah. Rasa terima kasih juga diucapkan kepada redaksi Majalah Geologi Indonesia (PP-IAGI) sehingga makalah ini dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002, Submarin Volcanism, Required reading: p361 -402 in Encyclopedia and Ch 14 in F and O.
- Bronto, S., Misdiyanta, P., Hartono, G. dan Sayudi, S., 1994, Penyelidikan Awal Lava Bantal Watuadeg, Bayat dan Karangsembung, Jawa Tengah, Kumpulan Makalah Seminar: Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, Sejak Akhir Mesozoik Hingga Kuartar, Jur. Tek. Geologi, F. Teknik, UGM, Yogyakarta, h. 123-130.
- Hartono, G. & Syafri, I., 2007, Peranan Merapi Untuk Mengidentifikasi Fosil Gunung Api Pada "Formasi Andesit Tua": Studi Kasus Di Daerah Wonogiri, *Jurnal Sumberdaya Geologi*, Spesial Ed., Geologi Indonesia: Dinamika Dan Produknya, Vol.2, No.33, Pusat Survei Geologi, h. 63 -80.
- Hartono, G., 2000. *Studi Gunung api Tersier: Sebaran Pusat erupsi dan Petrologi di Pegunungan Selatan Yogyakarta*. Tesis S2, ITB, 168 p, tidak diterbitkan.
- Hartono, G., Sudradjat, A., dan Syafri, I., 2007, Gumuk Gunung Api Purba Bawah Laut Di Tawang Sari-Jomboran, Sukoharjo-Wonogiri, Jawa Tengah, Joint Con. Bali, HAGI 32rd-IAGI 36th-IATMI 29th, 13-16 Nov.
- Macdonald, A.G., 1972, *Volcanoes*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 510 h.
- Peccerillo, A. & Taylor, S.R., 1976, Geochemistry of Eocene calc -alkaline volcanic rocks from Kastamonu area, northern Turkey, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, p.63-81.
- Samodra, H., Gafoer, S., & 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., dan Priadi, B., 1991, The Tertiary Magmatic Belts in Java, Proccidings of Silver Jubilee Symposium On the Dynamics and Its Products, *Research and Development Center for Geotechnology-LIPI*; Yogyakarta, September 17-19, h. 98-112.
- Soeroto, R.B., 1986, Identifikasi Fosil Gunung Api Strato Bawah Muka Laut, *Wimaya*, No.1,2 dan 3, UPN"Veteran" Yogyakarta.
- Sopaheluwakan, J., 1977, Ringkasan Peristiwa -Peristiwa Tektonik Pada Batuan Andesit Tua di Selatan Jawa, *Majalah Ilmiah Riset*, Lembaga Geologi & Pertambangan Nasional, Vol. 1, No. 1, h. 34-41.
- Surono, Sudarno, I. dan Toha, B., 1992, Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, skala 1:100.000, *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol IA, Government Printing Office, 732 h.
- Walker, G.P.L., 1993, Basaltic-Volcano Systems, Magmatic Processes and Plate Tectonic, Prichard, H.M., Alabaster, T., Harris, N.B.W. & Neary, C.R. (Eds), *Geol. Society Special Publication*, No. 76, h. 3-38.
- Wilson, M., 1989, *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*, Unwin Hyman, London, 1st. pub., 465 h.
- Yuwono, Y.S., 1997, The Occurrence of Submarine Arc -Volcanism in the Accretionary Complex of The Luk Ulo Area, Central Java, *Buletin Geologi*, Vol. 27, No. 1/3, ITB, Bandung, h.15-25.