

Gumuk gunung api purba bawah laut di Tawang Sari - Jomboran, Sukoharjo - Wonogiri, Jawa Tengah

GENDOET HARTONO¹, ADJAT SUDRAJAT², dan ILDREM SYAFRI²

¹Program Pascasarjana, UNPAD, Jl. Dipati Ukur No. 35 Bandung
Jurusan Teknik Geologi, STTNAS, Jl. Babaksari, Sleman, Yogyakarta

²Fakultas Teknik Geologi, UNPAD, Jl. Raya Bandung - Sumedang KM 21 Jatinangor

SARI

Makalah ini membahas morfologi gunung api dan batuan gunung api yang mengindikasikan keberadaan gunung api purba bawah laut di daerah Tawang Sari-Jomboran, Sukoharjo-Wonogiri, Jawa Tengah. Secara umum, batuan gunung api ini diidentifikasi sebagai breksi andesit yang dikelompokkan ke dalam Formasi Mandalika berumur Oligosen-Miosen (Surono *et al.*, 1992). Asal mula Formasi Mandalika kaitannya dengan proses sedimentasi klasik dan proses vulkanisme masih perlu dievaluasi. Penelitian ini didasarkan pada deskripsi terperinci di lapangan dan di laboratorium. Breksi basal otoklastika yang tersingkap menunjukkan ciri-ciri komponen fragmen batuan beku tertanam dalam massa dasar berkompresi sama, yaitu batuan beku, warna hitam hingga abu-abu gelap; tekstur porfiritik, permukaan kasar, membreksi; struktur bantal, masif, vesikuler halus, amigdalooidal kalsit, dan kekar radier; komposisi andesit kalk-alkali ($\text{SiO}_2 = 54,71\%$, $\text{K}_2\text{O} = 1,15\%$). Dimensi panjang tubuh batuan ini mencapai 2 – 5 m, dan berdiameter 40 cm – 1 m dengan arah pelamparan bervariasi mengikuti arah sumber erupsi. Penampakan membreksi berhubungan dengan laju pendinginan cepat dan laju aliran lambat, sedangkan di bagian dalam masif karena tidak berhubungan langsung dengan massa yang lebih dingin di luar. Breksi basal otoklastika dan atau aliran lava basal bantal ini membentuk morfologi landai bergelombang lemah dengan rata-rata kemiringan lereng $<10^\circ$. Di sisi lain, viskositas magma basal yang rendah, erupsi efusif terkait dengan pembentukan morfologi landai. Jarak antara bukit yang umumnya disusun oleh aliran lava basal bantal tersebut antara 500 m – 1 km. Karakteristik khas struktur bantal pada batuan beku di atas menunjuk pada aliran lava produk erupsi efusif suatu gumuk gunung api yang pernah hidup di bawah permukaan air.

Kata kunci: gunung api bawah laut, lava bantal, erupsi efusif, breksi otoklastika

ABSTRACT

This paper discusses the study on the basalt volcanic rocks and the volcano morphology indicating the existence of an ancient submarine volcano in Tawang Sari-Jomboran sub-regency, Sukoharjo-Wonogiri, Central Java. In general, this basalt volcanic rocks were identified as andesite breccia which might be grouped into the Mandalika Formation of Oligocene-Miocene age (Surono et al., 1992). The origin of the Mandalika Formation in relation to the classic sedimentation process and the submarine volcanism is still needed to be evaluated. The present study was based on the detailed descriptions of the rocks both in the field and in the laboratory. The autoclastic basalt outcrops consisting of breccias show the characteristics of the igneous rock fragment component embedded in the groundmass with the same composition, namely igneous rock, dark grey to black in colour; porphyritic texture, rough surface, brecciated; pillow structures, massive, fine vesicularities, amygdaloidal filled with calcite, and radial fractures; calc-alkaline andesite composition ($\text{SiO}_2 = 54.71\%$, $\text{K}_2\text{O} = 1.15\%$). This rock body attains the dimension of 2 - 5 m length, and 40 cm - 1 m in diameter with the direction of the deposition varies following the direction of the eruption source. Brecciated structures on the surface was controlled by the high cooling rate and the low flow, while the interior of the rock is massive because it was not in a direct contact to the cooler mass outside. Autoclastic basalt breccias and or the pillow basalt lava was interpreted to be formed by the undulating low gradient of morphology

with the average angle of $<10^\circ$. On the other hand, the low basaltic magma viscosity produced the effusive eruption related to the formation of the low angle morphology. The distance between the hills generally composed of pillow basalt is between 500 m - 1 km. The typical pillow structure of the igneous rock as described above is interpreted to be the product of the lava flow related to the effusive eruption from a submarine volcano located under or close to the seawater surface.

Keywords: submarine volcano, pillow lava, effusive eruption, autoclastic breccias

PENDAHULUAN

Pegunungan Selatan Jawa merupakan bagian dari pembelajaran busur gunung api berumur Tersier, selain yang tersebar luas di kepulauan Indonesia. Secara umum, produk gunung api tersebut dikenal sebagai *Old Andesite Formation* (van Bemmelen, 1949) yang kemudian menjadi acuan para ahli geologi bilamana menjumpai batuan gunung api berumur tua. Beberapa peneliti (Sopaheluwakan, 1977; Bronto dr., 1994; Yuwono, 1997) menyebutkan tentang adanya kegiatan gunung api bawah laut berumur Tersier yang lokasinya terletak di Pulau Jawa bagian selatan. Di pihak lain, penelitian ini mengungkapkan morfologi gunung api yang pe-

nyusunnya mengindikasikan keberadaan gunung api bawah laut di daerah Tawang Sari dan Jomboran, Jawa Tengah.

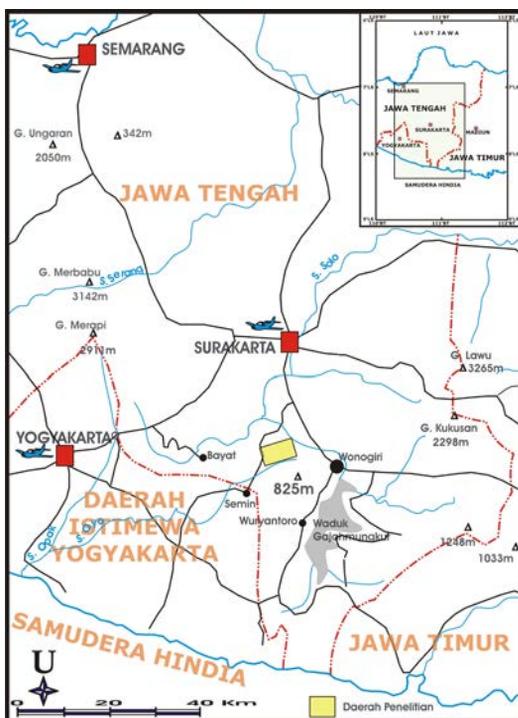
Daerah Tawang Sari terletak di bagian barat daya wilayah Kecamatan Tawang Sari, Kabupaten Sukoharjo, sedangkan daerah Jomboran terletak di bagian paling utara wilayah Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, atau merupakan wilayah perbatasan kedua kabupaten tersebut (Gambar 1). Bentang alam Tawang Sari berupa perbukitan (+138 hingga +148 dpl) yang dikelilingi dataran dan terletak di antara Pegunungan Baturagung (+687 dpl) dan Gajahmungkur (+692 dpl). Sementara itu, bentang alam Jomboran berupa bukit (+102 dpl) yang dilingkupi dataran dan menempati daerah bukaan dari struktur melingkar gawir Pegunungan Gajahmungkur yang membuka ke arah utara.

Penelitian ini menekankan pada deskripsi terperinci di lapangan dan di laboratorium, sedangkan pemilihan daerah studi didasarkan pada kemudahan pencapaian lokasi, serta 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

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

Secara umum, Wilson (1989) menyatakan bahwa



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

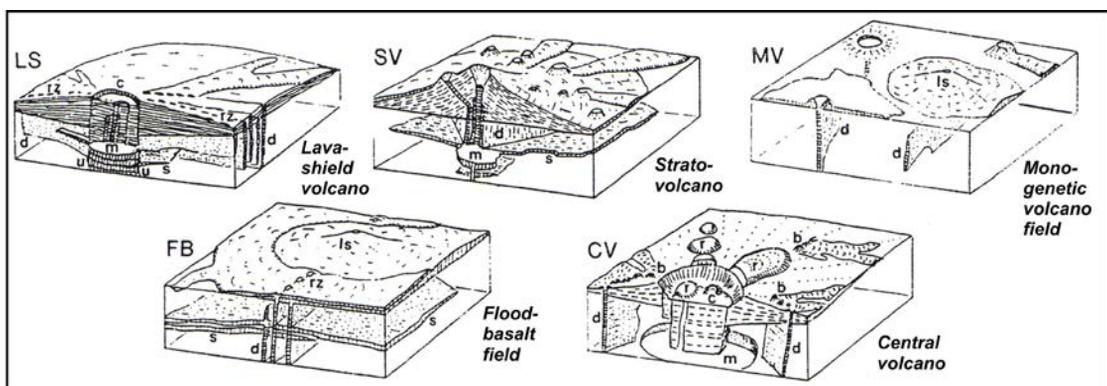
magmatisme dapat terjadi di batas lempeng konstruktif maupun destruktif, dan magmatisme yang terjadi di dalam lempeng. Selain itu, tataan tektonik tersebut menunjukkan keteraturan terhadap penampakan bentang alam gunung api, seri magma, dan kisaran komposisi SiO_2 . Karakteristik gunung api sendiri mencakup 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. Pemahaman hal tersebut diwujudkan ke dalam lima tipe sistem gunung api-basal (Gambar 2).

Secara umum, terdapat dua jenis erupsi gunung api, yaitu erupsi letusan yang menghasilkan material fragmental berbutir halus – kasar, sedangkan erupsi lelehan menghasilkan kerucut spater, aliran lava, dan kubah lava. Menurut Walker (1973a, dalam Cas & Wright, 1987), lava berkomporsi menengah menunjukkan volume terbesar (10 km^3), tebal mencapai 800 m, dan penyebaran luas (40 km^2), sedangkan lava berkomporsi asam mempunyai volume lebih kecil dan cukup tebal dibanding aliran lava menengah. Sementara itu, karena sifatnya yang

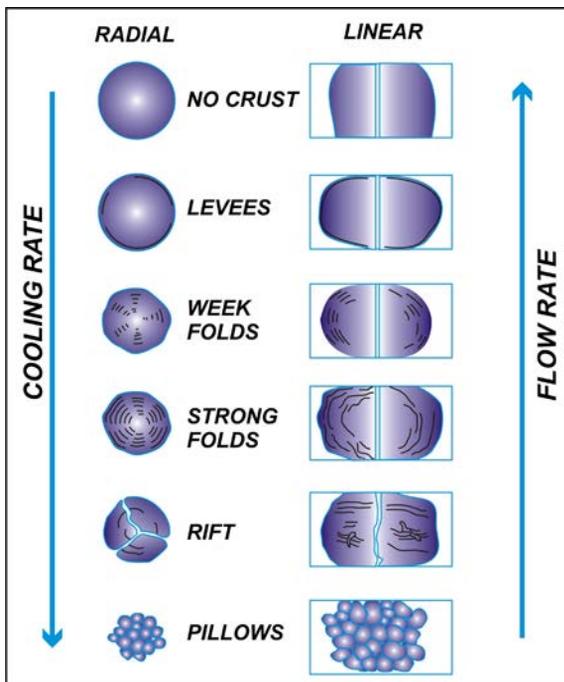
encer (*low viscosity*) lava basal secara lateral sangat luas, tetapi mempunyai ketebalan tipis ($<50 \text{ m}$).

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 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 3). Kecepatan aliran penting dalam mengendalikan tipe pembentukan lava bawah permukaan air, sementara kecepatan pendinginan lebih cepat di lingkungan bawah permukaan air. Dengan demikian, 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.

Secara umum, 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 bergantung pada sifat alami lava. Sebagai contoh,



Gambar 2. Skema diagram blok, lima tipe sistem gunung api-basal (Walker, 1993). *b*-basaltic vents, *c*-caldera, *d*-dyke, *ls*-lava shield, *m*-magma chamber, *rz*-rift zone, *r*-rhyolitic lava dome, *s*-sill or intrusive sheet, *u*-cumulates.



Gambar 3. Pembentukan struktur aliran lava akibat *cooling rate vs flow rate* (Anonim, 2002).

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 permukaan air membentuk pulau.

GEOLOGI

Regional

Pulau Jawa bagian selatan secara umum disusun oleh batuan gunung api produk erupsi letusan maupun erupsi lelehan, selain batuan sedimen klastika dan karbonat. Beberapa hasil penelitian memberikan berbagai pernyataan yang beragam, seperti yang diuraikan di bawah ini.

Surono dr. (1992) menyatakan perbukitan Tawangsari yang menjadi topik bahasan disusun oleh lava dasit-andesit dan tuf dasit, dan dikelompokkan ke dalam Formasi Mandalika yang secara stratigrafis sebagai batuan tertua berumur Oligosen - Miosen Awal. Di daerah ini, formasi tersebut dilingkupi oleh endapan aluvium. Dalam keterangannya, khusus-

nya terhadap batuan gunung api tidak dijelaskan lebih lanjut, misalnya tentang ciri-ciri atau karakter khusus yang menyertainya, seperti tekstur ataupun strukturnya. Karena hal tersebut sangat penting dalam kaitannya dengan genesis batuan termaksud. Di pihak lain (Walker, 1993; Bronto dr., 1994; Hartono & Syafri, 2007) menyatakan bahwa produk erupsi lelehan, pengendapan aliran lava tidak jauh dari sumber erupsinya atau kurang dari 7 km. Oleh sebab itu, pembelajaran geologi gunung api dan atau evaluasi parsial terhadap peta geologi lembar Surakarta-Giritontro perlu dilakukan.

Hal tersebut di atas juga perlu dilakukan terhadap lokasi atau daerah yang secara genesis mempunyai kemiripan fisis, kimiawi, dan tataan tektonik. Sebagai contoh, keberadaan lava bantal sebagai bagian dari Formasi Citirem, Sukabumi, Jawa Barat. Penelitian yang telah dilakukan oleh Sukanto (1975) menyebutkan bahwa pembentukan Formasi Citirem berkaitan dengan mekanisme olistostrom dan berumur Mesozoikum, dan Sartono (1990) mengaplikasikan prinsip tektonostratigrafi terhadap terjadinya sedimen-sedimen berumur Eosen - Miosen Awal di Pegunungan Selatan Jawa sebagai endapan luncuran, dan bahkan mélange sedimenter atau olistostrom. Di pihak lain, Dardji (1997) melaporkan kelompok batuan basa-ultrabasa (batuan ofiolitik) atau batuan vulkanik Citirem (Sukanto, 1975) terbentuk sebagai akibat tektonik regangan dan berumur Oligosen. Sementara itu, Harsono (2006) menyebutkan keberadaan lava bantal dan perselingan tuf halus - kasar yang keduanya berkompposisi basal berkaitan dengan kegiatan gunung api bawah laut. Kandungan fosil foraminifera kecil pada batuan klastika gunung api menunjukkan umur Miosen Awal - Miosen Tengah (N4 - N14), sedangkan fosil foraminifera besar pada batugamping menunjukkan umur Oligosen - Miosen Awal (Te4 - Te5). Selanjutnya, ke arah timur, yaitu di wilayah Jawa Tengah dijumpai hal serupa. Di daerah Gunung Wetan dan sekitarnya, sebelah barat aliran Sungai Serayu yang tercakup dalam peta geologi lembar Banyumas (Asikin dr., 1992) tersingkap batuan beku lava berkompposisi basal yang menyisip di dalam massa batuan sedimen yang terdiri atas batupasir, batulempung, napal, dan tuf dengan sisipan breksi. Batuan sedimen tersebut dikelompokkan sebagai Formasi Halang. Keterangannya tersebut tidak menjelaskan lebih lanjut adanya hubungan

genesis antara batuan beku dan batuan sedimen klas-tis tersebut. Adanya kemungkinan perselingan antara produk klastika gunung api dan aliran lava basal sebagai satu kesatuan genesis gunung api kurang dipertimbangkan, terlebih bilamana komposisinya tidak jauh berbeda seperti yang terjadi di Formasi Citirem, Jawa Barat yaitu antara tuf dan lava bantal, keduanya berkomposisi basal.

Penelitian di daerah Luk Ulo, Kebumen, Jawa Tengah (Suparka & Soeria-Atmadja, 1991) menyebutkan adanya kaitan keberadaan lava bantal (bagian dari kumpulan ofiolit) dengan jalur pemekaran samudra. Kemudian, Asikin dr. (1992) menerangkan bahwa Formasi Karangsembung dan Formasi Totogan (mélange sedimen) diinterpretasikan sebagai hasil mekanisme olistostrom. Namun, di pihak lain Yuwono, (1994, 1997) menyatakan adanya kegiatan gunung api bawah laut "Dakah" di daerah akresi. Hal terakhir diterangkan oleh adanya hubungan genesis antara batuan gunung api dan batuan sedimen penyusun Formasi Totogan dan Formasi Karangsembung yang diendapkan di laut. Sementara itu, komposisi mineralogi dan kimiawi himpunan batuan gunung api menunjukkan afinitas toleit busur kepulauan.

Bronto dr. (1994) melaporkan bahwa lava yang tersingkap di daerah Watuadeg, Kalasan, Yogyakarta dan di Kali Nampu, dan "Gunung Sepikul" Bayat, Klaten merupakan lava tipe bantal. Selain itu ia juga menyebutkan tipe lava bantal di kedua daerah tersebut mungkin bukan bagian dari ofiolit yang berasal dari pemekaran lempeng samudra Hindia. Kemudian ke arah timur daerah Pacitan, Jawa Timur khususnya di aliran Sungai Grindulu bagian hulu juga tersingkap lava bantal berkomposisi basal, dan andesit-basal. Menurut Sopaheluwakan (1977), keberadaan lava bantal tersebut masih dipertanyakan sebagai bagian dari kegiatan vulkanik kontinental ataukah sebagai produk gunung api bawah laut (?). Hal tersebut dibandingkan dengan kegiatan vulkanisme bawah laut di Kepulauan Antilla Kecil sebagai awal pembentukan busur kepulauan. Sementara itu, Samodra *et al.* (1992) melaporkan kumpulan lava basal dan lava andesit yang sebagian besar membentuk struktur bantal tersebut dikelompokkan ke dalam Formasi Mandalika dan Formasi Watupatok. Kedua formasi tersebut diduga berumur Oligosen - Miosen. Bronto (komunikasi lisan) melaporkan penyebaran lava basal berstruktur bantal juga dijumpai di ujung

timur pulau Jawa, yaitu di selatan Jember, dan di pantai timur Banyuwangi.

Daerah Penelitian

Bentang Alam

Bentang alam daerah Tawangsari, Sukoharjo dan daerah Jomboran, Wonogiri, merupakan perbukitan bergelombang lemah yang dipisahkan oleh dataran sebagai bentang alam utama. Perbukitan daerah Tawangsari mempunyai ketinggian kurang dari 150 m di atas permukaan air laut dengan kelerengan tidak lebih dari 15° (Gambar 4a), sedangkan bukit Jomboran sebagai satu-satunya bukit di desa Jomboran mempunyai ketinggian 102 m di atas permukaan air laut dengan kelerengan 10° (Gambar 4d). Bentuk bukit-bukit di kedua daerah ini umumnya melingkar seperti kubah, dan ada yang memanjang pendek (elipsoidal) dengan panjang kurang dari 300 m, sementara puncak bukit tersebut landai. Umumnya, puncak bukit-bukit itu dimanfaatkan penduduk setempat sebagai tempat pemakaman (kuburan) dan tempat ziarah.

Bukit-bukit daerah Tawangsari berjajar dengan arah tenggara-barat laut (N140°E), mulai dari bukit Prengkel, Gunung Pencit, Bukit Jarum, Bukit Tumpukan, Gunung Beluk, dan Gunung Mojo. Pola pengaliran berupa sungai-sungai kecil yang berhulu di Pegunungan Wonogiri dan Pegunungan Baturagung yang terletak di sebelah selatannya. Di samping itu, pengaliran tersebut umumnya bersistem subparalel tenggara - barat laut berhulu di Gunung Merapi (+2914 m dpl) yang terletak di sebelah barat laut. Sungai-sungai tersebut kemudian menyatu di Bengawan Solo sejauh 5 km di sebelah utaranya. Pola pengaliran ini berada di atas bentang alam dataran yang dimanfaatkan sebagai persawahan yang subur, terlebih setelah dibuat saluran (istilah lokal 'sudetan') Bengawan Solo yang berarah utara - selatan.

Petrologi daerah Tawangsari dan daerah Jomboran umumnya disusun oleh batuan gunung api yang dikelompokkan ke dalam Formasi Mandalika yang berumur Oligo-Miosen (Surono dr., 1992). Namun, secara khusus batuan penyusun bukit-bukit berleief landai tersebut adalah batuan beku luar, warna abu-abu gelap hingga agak terang, tekstur porfiritik, struktur vesikuler halus, amigdaloidal berisi mineral sekunder berupa kalsit dan kuarsa, struktur bantal



Gambar 4. Bentang alam dan litologi penyusun daerah Tawang Sari-Jomboran. (a) Morfologi landai daerah Tawang Sari dan sekitar, (b & c) Unit lava bantal Tawang Sari, (d) Unit lava bantal Jomboran.

(*pillow*) atau bentuk tubuh seperti aliran bantal guling berdiameter ± 1 m (Gambar 4c), rekahan berpola radier pada penampakan melintang (Gambar 4b), dan beberapa batas antartubuh batuan beku tersebut dijumpai material lapuk warna kehitaman dengan tebal 1 - 2 cm (*skin glassy*?). Penampakan permukaan luar umumnya membreksi kasar dengan ukuran fragmen berkisar antara 20 - 40 cm, fragmen batuan beku tersebut tertanam dalam massa dasar berkomporsi sama batuan beku, atau dikenal dengan istilah *coarse autobreccia*. Penampakan aliran tubuh saling mendidih berstruktur bantal dengan ukuran beragam dan permukaan terkesan membreksi halus (*granular autobreccia*) juga dijumpai di daerah Jomboran (Gambar 4d). Ciri-ciri batuan beku ini relatif sama dengan batuan beku yang tersingkap di daerah Tawang Sari, yaitu berwarna abu-abu gelap dan bertekstur porfiritik.

Gambar 5 memperlihatkan perbandingan fisik atau penampakan di lapangan antara lava bantal Tawang Sari-Jomboran dengan daerah lain di Jawa bagian selatan, di samping bentuk bentang alamnya. Lava bantal yang tersingkap di Citirem, Sukabumi (Gambar 5a, b) memperlihatkan struktur permukaan kasar, membreksi, warna gelap-kehitaman, tekstur porfiritik, struktur rekahan radier dan struktur bantal, vesikuler, komposisi basal-andesit basal. Lava bantal ini membentuk bentang alam bergelombang lemah

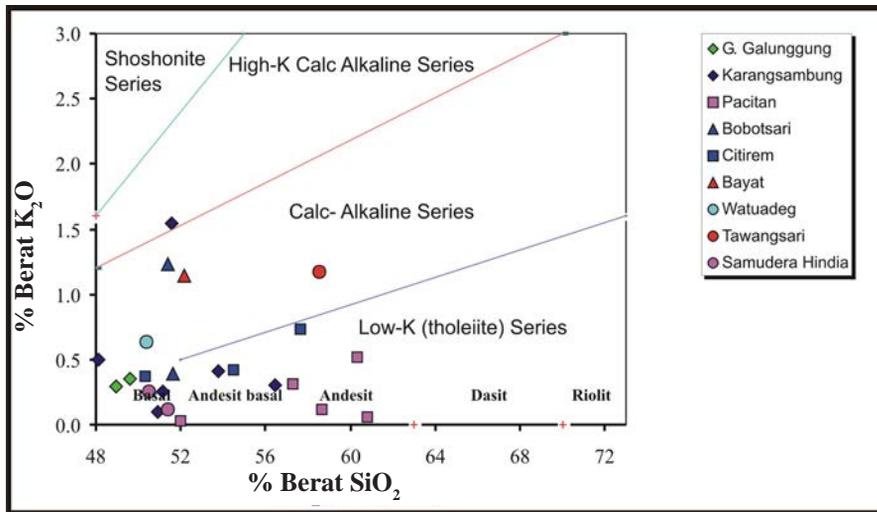
dengan kelerengan kurang dari 10° (Gambar 5k) yang juga membentuk bentang alam yang sama di daerah lain (Gambar 5 l, m, n, dan o). Penampakan fisik tubuh lava bantal Citirem berbeda dengan yang tersingkap di Karangsembung (Gambar 5c), dan di Watuadeg, Jogjakarta (Gambar 5g, h). Permukaan tubuh lava bantal di kedua daerah ini halus, sedangkan di Citirem lebih kasar. Di sisi lain, kesan membreksi juga terjadi pada lava bantal Tawang Sari-Jomboran (Gambar 5d, e) dan Kali Nampu, Bayat (Gambar 5f), sementara bagian luar lava bantal Watuadeg terlapisi *skin glassy* warna hitam dengan tebal 1 - 2 cm. Struktur aliran lava bantal Watuadeg berkisar 2 - 4 m dan berdiameter kurang dari 1 m, sedangkan lava bantal di Karangsembung tampak lebih kecil atau lebih pendek. Sementara itu, penampakan fisik dan ukuran setiap unit tubuh lava bantal Watupatok, Pacitan (Gambar 5i) dan lava bantal Karangsembung relatif sama. Penampakan permukaan membreksi pada lava bantal Kali Nampu, Bayat relatif sama dengan lava bantal Tawang Sari-Jomboran, dan lava bantal Citirem, hanya morfologi tubuh lava bantal Citirem tampak lebih segar.

Petrologi

Penampakan mikroskopis lava bantal di atas bertekstur hipokristalin, porfiritik dengan fenokris plagioklas berbentuk plat tabular-lamelar, kolumnar



Gambar 5. Lava bantal (a-i) dan bentuk morfologi landai (k-o) dari berbagai daerah yang menjadi tambahan bahan diskusi. (a, b, k) Citirem, (c) Karangsembung, (d, o) Tawang Sari, (e) Jomboran, (f, n) Bayat, (g, h, l) Watuadeg, (i, m) Watupatok.

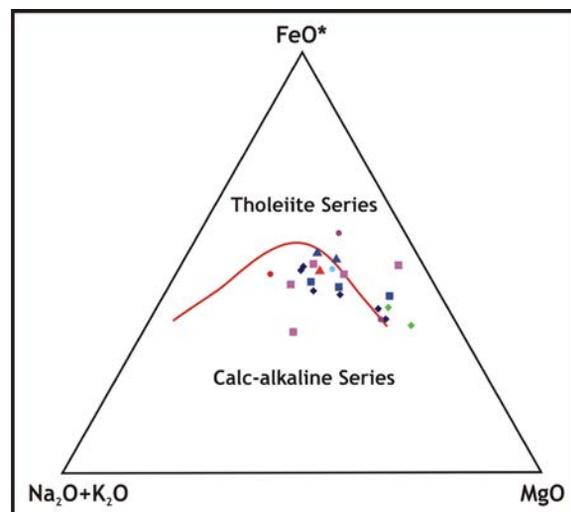


Gambar 6. Perajahan lava bantal Tawang Sari & Pacitan dalam diagram % berat K₂O terhadap % berat SiO₂ (Peccerillo & Taylor, 1976). Data kompilasi lava bantal Pacitan, Bobotsari, Karangsambung (Soeria-Atmadja dr., 1991), Citirem (Harsono, 2006), dan Bayat, Watuadeg, Samudra Hindia dan Gunung Galunggung (vide Bronto dr., 1994).

(batang) berukuran antara 0,25 mm – 2,25 mm, massa 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, berkomposisi An₃₂₋₅₀ (andesin). Piroksen terdiri atas orto dan klinto, fenokris berukuran antara 0,25 mm – 1,75 mm, bentuknya terdiri atas butiran tak teratur bentuk, lembar pipih, 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 semiisotropis. Klorit dan kalsit juga mengisi rongga-rongga vesikuler dan ruang antara massa dasar, sedangkan mineral bijih Fe, Mg, Ti-oksida berukuran antara 0,01 mm – 0,05 mm, tersebar di dalam massa dasar dan sebagai inklusi di dalam piroksen.

Analisis kimia elemen utama lava bantal Tawang Sari menunjukkan kandungan K₂O cukup tinggi (1,16%), kandungan TiO₂ relatif rendah, yaitu 0,54%, seperti juga ditunjukkan secara petrografis oleh kehadiran mineral opak atau mineral bijih (2%). Sebaliknya, kandungan Al₂O₃ pada lava bantal ini cukup tinggi, yaitu 17,65% yang ditunjukkan dengan melimpahnya kandungan plagioklas (45%),

sedangkan kandungan alkali total lava ini cukup tinggi yaitu mencapai 4,4% (Tabel 1). Gambar 6 memperlihatkan analisis kimia unsur utama seluruh lava bantal yang menjadi bahan bahasan makalah ini. Diagram variasi K₂O - SiO₂ menunjukkan adanya kumpulan batuan gunung api berafinitas alkali-kapur rendah hingga alkali-kapur menengah dengan kandungan K₂O antara 0,10%-1,54%. Hal yang sama juga ditunjukkan pada diagram AFM (Gambar 7). Kandungan TiO₂ umumnya rendah antara 0,54%-



Gambar 7. Kedudukan lava bantal di dalam diagram AFM (Keterangan simbol sama dengan Gambar 6).

Tabel 1. Analisis Kimia Elemen Percontoh Batuan Lava Bantal Tawangsari (HGH-05), Pacitan (05AM45, 05AM46, 05AM49B), dan Kompilasi dari Pacitan, Bobotsari, Karangasambung, Jampang (Soetia-Atmadja drr., 1991), Citirem (Harsono, 2006), dan Bayat, Watuadeg, Samudra Hindia dan Gunung Galunggung (vide Bronto drr., 1994)

	Karangasambung						Ngresco, Wapatok, Grindulu, Pacitan			Bobotsari		Jampang - Citirem		Bayat	Berbah	Twangsari	Samudra Hindia				
	KRS-29	KRS-30	PLKRS	SP-6	ST-69	PS-12	PCT-6a	PCT-6b	05AM45	05AM46	05AM49B	801-113	801-114	JM-34b	JM-61	BH-CD	PLB-1	PLWA	HGH-05	256	257
SiO ₂	56,94	54,36	48,13	51,60	51,60	50,93	52,72	61,51	57,08	60,91	59,27	52,26	52,05	54,93	50,84	57,63	52,68	50,91	59,00	50,80	51,42
TiO ₂	0,93	1,54	0,75	1,11	0,95	1,13	1,14	1,33	0,88	0,71	1,04	0,82	1,45	0,64	0,71	0,89	1,25	0,75	0,55	2,58	1,23
Al ₂ O ₃	15,69	15,83	17,39	17,94	17,05	16,23	17,01	14,75	18,91	15,51	16,77	17,18	16,01	17,46	15,58	22,48	17,75	18,62	18,04	13,53	16,98
Fe ₂ O ₃	0,13	0,18	1,34	1,38	1,07	1,07	0,23	0,19	0,10	0,15	0,17	0,16	0,19	0,12	0,15	0,97	0,15	0,17	0,12	1,76	0,90
FeO	7,61	10,22	8,92	9,20	7,14	7,19	13,08	10,89	6,13	8,46	9,74	9,49	11,14	7,63	9,12	7,82	8,92	9,64	7,09	11,69	5,98
MnO	0,17	0,23	0,61	0,16	0,14	0,16	0,32	0,25	0,19	0,21	0,13	0,18	0,19	0,19	0,16	0,14	0,14	0,27	0,12	0,19	0,29
MgO	5,47	5,00	8,10	5,08	8,89	10,13	8,88	5,52	5,26	7,14	5,02	5,43	5,30	5,62	9,41	5,13	5,10	5,85	2,73	6,26	8,24
CaO	8,33	7,32	9,80	8,43	10,68	10,07	1,95	0,74	5,09	5,99	1,73	11,33	9,31	10,00	11,77	0,14	9,71	9,86	7,67	10,25	12,16
Na ₂ O	4,34	4,70	4,12	3,40	2,58	2,85	4,43	4,51	5,59	0,31	5,85	2,59	2,81	2,81	1,75	3,79	2,65	2,93	3,33	2,74	2,47
K ₂ O	0,30	0,41	0,50	1,54	0,25	0,10	0,03	0,06	0,31	0,52	0,11	0,40	1,24	0,42	0,38	0,73	1,15	0,65	1,18	0,25	0,12
P ₂ O ₅	0,10	0,21	0,34	0,16	0,11	0,14	0,20	0,23	0,15	0,10	0,18	0,15	0,31	0,17	0,12	0,28	0,51	0,36	0,18	0,25	0,21
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

1,13%, walaupun ada contoh yang mencapai lebih dari 1,2%, yaitu percontoh asal Karangasambung, Bobotsari, Pacitan masing-masing satu percontoh, dan asal Samudra Hindia mencapai 2,58%. Hal ini menunjukkan bahwa himpunan batuan gunung api ada yang berhubungan dengan subdaksi (*subduction related magmatism*), dan yang lainnya tidak berhubungan (*nonsubduction related magmatism*). Lava bantal Tawangsari menempati daerah alkali-kapur menengah bersama lava bantal Watuadeg, Bobotsari, dan Bayat, sedangkan komposisi semua lava bantal dalam makalah ini berkisar antara basal – andesit basal (SiO₂ = 48,13%-60,77%).

DISKUSI

Secara umum, bentang alam daerah Wonogiri merupakan bentang alam bentukan batuan gunung api berkompilasi andesit sampai riolit, sehingga memperlihatkan bentang alam dengan relief yang sangat kasar atau bergelombang kuat dengan keelengangan curam. Batuan gunung api tersebut merupakan penyusun utama Formasi Mandalika yang terdiri atas perselingan lava dan batuan piroklastika. Hartono (2000), Hartono dan Syafr (2007) menyatakan 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 sampai ke arah barat bentang alam ber relief kasar ini terbentang dataran sangat luas yang disusun oleh endapan Gunung Merapi di bagian barat dan Gunung Lawu di bagian timur. Namun, tampak dari jauh di dalam bentang alam dataran tersebut terdapat seperti “gundukan-gundukan” atau “gumuk-gumuk” ber relief landai dan selanjutnya disebut sebagai gumuk Tawangsari-Jomboran. Oleh sebab itu, bentang alam landai Tawangsari-Jomboran yang menempati bagian bentang alam dataran tampak terisolir dan menjadi sangat unik atau malah aneh(?). Terlebih bila dihubungkan dengan keberadaannya yang saling berjajar membentuk garis lurus berarah tenggara – barat laut.

Bentang alam ber relief landai Tawangsari-Jomboran terkait dengan keberadaan lava bantal berkompilasi andesit basal, karena lava bantal tersebut merupakan komponen utama pemben-

tuknya. Secara ilmu batuan, 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 bentang alam gunung api (Gambar 2-CV, lihat ket. b). 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.

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 dapat dilihat pada Gambar 3 di atas. Pembentukan struktur bantal merupakan fungsi 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. 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 5c.g), selain juga yang memperlihatkan kesan permukaan kasar “membreksi” atau “breksi otoklastika” (Gambar 5a, b, d, e, f). Pecahan-pecahan atau rekahan-rekahan

yang membentuk kesan membreksi ini ada yang berukuran kasar (*coarse autobreccia*) dan yang berukuran halus (*granular autobreccia*). Selain faktor viskositas, kecepatan membeku, breksi otoklastika ini kemungkinan dipengaruhi juga oleh morfologi batuan dasar selama dia mengalir.

Penampakan struktur “membreksi” atau sering disebut breksi otoklastika pada kebanyakan aliran lava sering kurang mendapat perhatian yang cukup, artinya berbagai tipe atau jenis breksi yang ada masih dianggap kurang penting untuk menguak lebar suatu fenomena geologi suatu daerah. Terlebih lagi adanya anggapan “semua jenis breksi dikelompokkan sebagai batuan sedimen”, sehingga hasil analisis akhir dalam memahami suatu genesis batuan secara komprehensif jelas tidak akan pernah terjadi. Lebih jauh lagi, khususnya struktur perselang-selingan antara batuan beku masif dengan batuan fragmental berukuran tuf – lapili sebagai perlapisan produk sedimentasi normal. Selanjutnya, struktur primer batuan seperti perlapisan bersusun (normal dan terbalik), laminasi (normal dan bergelombang), dsb., dianggap sebagai bukti pembentukan asal arus turbid (endapan turbidit) yang terjadi di laut dalam. Alinea ini perlu mendapat porsi kajian yang cukup dalam proses pembelajaran batuan gunung api dan stratigrafi gunung api. Ditambahkan di sini, negara Indonesia kaya akan gunung api, baik yang masih aktif maupun yang sudah mati.

Di beberapa daerah bagian selatan Pulau Jawa dijumpai singkapan lava bantal dengan dimensi yang beragam. Aliran lava bantal tersebut memperlihatkan variasi struktur permukaan (Gambar 5) dan komposisi kimiawi (Gambar 6 dan 7). Secara umum, kedudukan stratigrafi lava bantal-lava bantal ini dimasukkan ke dalam formasi tertua atau dikenal dengan Formasi Andesit Tua (van Bemmelen, 1949), yaitu berumur Oligosen-Miosen atau yang lebih tua (?). Disebutkan seperti ulasan di atas bahwa aliran lava bantal tersebut terletak di dalam Formasi Citirem (Sukamto, 1975), Formasi Karangambung-Formasi Totogan (Asikin dr., 1992), Formasi Kebo-Butak (Rahardjo dr., 1977), Formasi Mandalika (Surono dr., 1992), dan Formasi Watupatok (Samodra dr., 1992). Keberadaan lava bantal tersebut hadir bersama-sama dan atau ditutupi oleh kelompok batuan yang umumnya asal gunung api bertipe asal produk letusan gunung api, yaitu berupa tuf – lapili

dan breksi piroklastika. Hal ini menunjukkan adanya suatu kesatuan genesis atau mula jadi batuan-batuan gunung api tersebut yang sebelumnya dianggap sebagai proses asal berbeda (misalnya: turbidit, olistostrom). Terkait dengan keberadaan gumuk-gumuk gunung api yang terjadi di berbagai daerah di Jawa dan berumur relatif sama tersebut, maka pada periode yang sama boleh jadi bagian selatan Jawa telah dimulai kegiatan magmatisme-vulkanisme yang menghasilkan lava bantal. Hal ini didukung oleh hasil analisis petrologi yang menunjukkan afinitas magma berasosiasi dengan penunjaman lempeng yang membentuk busur kepulauan. Pemikiran ini sejalan dengan hasil penelitian Soeria-Atmadja drr. (1991). Secara ilmu kegunung-apian, pada periode itu kemungkinan lava bantal merupakan awal kegiatan gunung api bawah laut yang kemudian sejalan dengan proses diferensiasi magma dan menghasilkan batuan gunung api yang lebih asam. Dalam perjalanannya jajaran gunung api tersebut bertambah besar dimensinya, hingga muncul sebagai daratan gunung api (*volcanic field*).

Secara teoretis masing-masing magma cenderung terbentuk pada lokasi tertentu, misalnya magma basal terbentuk di *rift* dan *hot spot* samudra, sedangkan magma andesit di batas subdaksi, busur kepulauan. Melihat posisi munculnya singkapan lava bantal di sepanjang bagian selatan Pulau Jawa, maka tidaklah berlebihan bilamana keberadaannya berkaitan dengan erupsi celah (*fissure eruption*). Hal ini didukung oleh komposisi lava bantal yang relatif sama, yaitu basal – andesit basal dengan afinitas magma alkali-kapur. Sementara, secara sepihak, jajaran gumuk-gumuk gunung api Tawangsari-Jomboran juga muncul dari celah bawah laut yang membentuk garis lurus berarah tenggara – barat laut.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari makalah ini adalah sebagai berikut:

1. Batuan gunung api Tawangsari dan Jomboran umumnya disusun oleh andesit ($\text{SiO}_2=59,00\%$ berat) berstruktur bantal, dan kadang menunjukkan struktur zoning, berafinitas alkali-kapur menengah yang berasosiasi pada busur kepulauan.
2. Lava bantal Tawangsari-Jomboran membentuk bentang alam landai (kemiringan $<10^\circ$) yang berasosiasi dengan erupsi lelehan di dalam air pada kedalaman agak dalam hingga dangkal, dan membentuk gumuk-gumuk gunung api bawah laut, yang asal-usulnya kemungkinan sama dengan gumuk-gumuk gunung api yang tersebar di Pulau Jawa bagian selatan.
3. Perlu penelitian lanjut tentang adanya kaitan erupsi celah (*fissure eruption*) di antara gumuk-gumuk gunung api yang tersingkap di sepanjang Pulau Jawa bagian selatan tersebut.

Ucapan Terima Kasih—Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu, sehingga makalah ini dapat selesai. Kepada Dr. Sutikno Bronto atas diskusinya yang menarik, Ir. Joko Subandrio, M.Si. (PSG) atas izin penggunaan data kimia daerah Pacitan, Bapak Setyo Pambudi dan Bapak Agus Hendratno atas bantuan penyediaan foto lava bantal Pacitan dan lava bantal Kebumen, dan kepada Saudara Sony Martino atas kerja samanya yang baik selama kerja lapangan.

ACUAN

- Anonym, 2002. Submarin Volcanism, Required reading. Dalam: *Encyclopedia and Ch 14 in F and O*, p.361-402.
- Asikin, S., Handoyo, A., Busono, H. dan Gafoer, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Kebumen, Jawa, skala 1:100.000*. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B. dan Gafoer, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa, skala 1:100.000*. Puslitbang Geologi, Bandung.
- 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.
- Cas, R.A.F., dan Wright, J.V., 1987. *Volcanic Succession: Modern and Ancient*, Allen & Unwin, London, 534 h.
- Dardji, N., 1997. Evolusi Cekungan Paleogen di Daerah Ciletuh Jawa Barat Selatan. *Buletin Geologi*, 27 (1/3), ITB, Bandung, h. 27-42.
- Harsono, B., 2006. *Geologi Daerah Cigelang dan Sekitarnya Kecamatan Ciracap dan Kecamatan Ciemas, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat dan Analisa Geokimia Batuan Gunung Api*. Skripsi mahasiswa S1, STTNAS, Jogjakarta, tidak diterbitkan, 111 h.
- Hartono, G. dan Syafri, I., 2007. Peranan Merapi Untuk Mengidentifikasi Fosil Gunung Api Pada "Formasi Andesit Tua": Studi Kasus Di Daerah Wonogiri. *Jurnal*

- Sumberdaya Geologi*, Spesial Ed.
- Hartono, G., 2000. *Studi Gunung api Tersier: Sebaran Pusat erupsi dan Petrologi di Pegunungan Selatan Yogyakarta*. Tesis S2, ITB, 168 p, tidak diterbitkan.
- Macdonald, A.G., 1972. *Volcanoes*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 510 h.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H. M. D., 1977. *Peta Geologi Lembar Jogjakarta, 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.
- Sartono, S., 1990. Extensive Slide Deposits In Sunda Arc Geology, The Southern Mountain of Java, Indonesia. *Buletin Geologi*, Bandung, 20, h. 3-13.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M., dan Priadi, B., 1991. The Tertiary Magmatic Belts in Java. *Proceedings of Silver Jubilee Symposium On the Dynamics and Its Products*. Research and Development Center for Geotechnology-LIPI; Yogyakarta, September 17-19, h. 98-112.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rock From the Kastamonu Area, North Turkey. *Contrib. Mineral Petrol.*, 58, p. 63-82.
- Sopaheluwakan, J., 1977. Ringkasan Peristiwa-Peristiwa Tektonik Pada Batuan Andesit Tua di Selatan Jawa. *Majalah Ilmiah Riset*, Lembaga Geologi & Pertambangan Nasional, 1 (1), h. 34-41.
- Sukamto, R., 1975. *Peta Geologi Lembar Jampang-Balekambang, Jawa, skala 1:100.000*. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Suparka, M.E., dan Soeria-Atmadja, R., 1991. Major Element Chemistry and REE Paterns of the Luh Ulo Ophiolites, Central Java. *Proceedings of Silver Jubilee Symposium On the Dynamics and Its Products*. Research and Development Center for Geotechnology-LIPI; Jogjakarta, September 17-19, h. 204-218.
- Surono, Sudarno, I. dan Toha, B., 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, skala 1:100.000*. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Van Bemmelen, RW., 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol IA. Government Printing Office, The Hague, 732 h.
- Walker, G.P.L., 1993. Basaltic-Volcano Systems, Magmatic Processes and Plate Tectonic. *Dalam: Prichard, H.M., Alabaster, T., Harris, N.B.W. dan Neary, C.R. (Eds), Geol. Society Special Publication*, 76, h. 3-38.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman, London, 1st. pub., 465 h.
- Yuwono, Y.S., 1994. Gunungapi Bawah Laut “Dakah” di Karangsembung, Kebumen, Jawa Tengah, Abstrak. Kumpulan Makalah Seminar: Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, Sejak Akhir Mesozoik hingga Kuartar. *Jur. Tek. Geologi, F. Teknik, UGM*, Yogyakarta, h. 121.
- Yuwono, Y.S., 1997. The Occurrence of Submarine Arc-Volcanism in the Accretionary Complex of The Luk Ulo Area, Central Java. *Buletin Geologi*, 27 (1/3), ITB, Bandung, h.15-25.