

Identifikasi Gunung Api Purba Karangtengah di Pegunungan Selatan, Wonogiri, Jawa Tengah

RUS ABDISSALAM¹, SUTIKNO BRONTO², AGUNG HARIJOKO³, dan AGUS HENDRATNO³

¹Alumnus Teknik Geologi UGM, Yogyakarta

²Peneliti pada Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Bandung

³Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi UGM, Yogyakarta

SARI

Daerah Karangtengah, di bagian tenggara Kabupaten Wonogiri, merupakan bagian Pegunungan Selatan yang seluruhnya tersusun oleh batuan gunung api berumur Tersier. Sejauh ini belum diketahui sumber asal gunung api yang menghasilkannya. Berdasarkan studi terpadu yang mencakup geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi, petrologi, alterasi, dan mineralisasi dapat diidentifikasi adanya gunung api purba di daerah Karangtengah tersebut. Gunung api ini terbentuk di dasar laut, berkomporsi basal dan merupakan bagian busur kepulauan gunung api pada waktu itu. Mineralisasi bentukan asal gunung api tersebut terdiri atas logam Fe, Cu, Pb, dan Zn yang terendapkan di dalam fasies pusat gunung api purba Karangtengah.

Kata kunci: gunung api purba, fasies pusat, Wonogiri, Karangtengah, mineralisasi

ABSTRACT

Karangtengah area in the southeastern part of Wonogiri Regency, is part of the Southern Mountains which is wholly composed of Tertiary volcanic rocks. Nevertheless, the eruptive centre of these volcanic rocks is still unknown. Based on an integrated study that comprises geomorphology, stratigraphy, structural geology, petrology, alteration, and mineralisation the existence of Karangtengah paleovolcano can be identified. The paleovolcano was formed below sea water, basaltic in composition, and it was part of a volcanic island arc during the time. Volcanogenic minerals are found in the central facies containing Fe, Cu, Pb, and Zn.

Keywords: *paleovolcano, central facies, Wonogiri, Karangtengah, mineralization*

PENDAHULUAN

Daerah Kabupaten Wonogiri bagian tenggara sebagian besar tersusun oleh batuan gunung api berumur Tersier, yang dikelompokkan antara lain ke dalam Formasi Mandalika, Arjosari, dan Formasi Semilir (Samodra dr., 1992). Pembagian satuan batuan berdasar litostratigrafi itu belum dapat menjelaskan di mana letak gunung api purba atau fosil gunung api, yang merupakan sumber asal batuan gunung api tersebut. Gunung api purba adalah gunung api yang pernah aktif pada masa lampau, tetapi sekarang ini sudah mati dan bahkan tererosi lanjut. Penampakkannya sudah tidak sejelas gunung api aktif masa kini, tetapi

diyakini letaknya masih *in situ*. Informasi keberadaan gunung api purba ini sangat penting untuk memahami kondisi geologi suatu daerah, perkembangan vulkanisme dan kemungkinan mineralisasi bentukan asalnya (*volcanogenic minerals*). Makalah ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan gunung api purba yang menghasilkan batuan gunung api Tersier di daerah itu. Dengan mengacu kepada konsep pusat gunung api sebagai strategi eksplorasi emas (*volcanic center concept for gold exploration strategy*; Bronto dan Hartono, 2003) maka penelitian ini juga dapat membantu menemukan sumber baru endapan mineral asal gunung api (*volcanogenic mineral deposits*) di daerah penelitian.

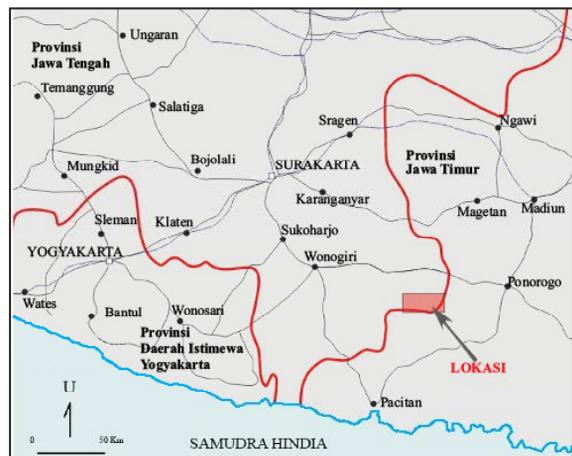
Untuk mencapai tujuan dan maksud tersebut di atas, perlu diperhatikan beberapa unsur terkait, di antaranya pertama bagaimana mencari atau mengenali sumber gunung api purba; dan kedua menentukan letak dan jenis mineral bentukan asal gunung api, serta hubungan keduanya. Untuk mengenali gunung api purba, metode yang digunakan adalah melakukan studi yang mencakup geomorfologi - indraja, stratigrafi fasies gunung api, struktur geologi, dan petrologi - geokimia (Bronto, 2003; 2006). Bentuk bentang alam gunung api purba dapat dirunut dengan terlebih dahulu mempelajari geomorfologi gunung api aktif masa kini dan gunung api yang sudah mati, tetapi masih tererosi pada tingkat muda, berlanjut ke erosi tingkat dewasa dan kemudian erosi tingkat tua (Bronto dr., 2004). Komponen batuan penyusun dan struktur geologi juga ditelaah berdasarkan pembagian fasies gunung api aktif masa kini (Bronto, 2006). Selanjutnya, secara petrologis dan geokimia batuan gunung api diidentifikasi komposisinya, apakah berasal dari sumber magma yang sama (*co-magmatic*) dan berada di dalam satu kesatuan tataan tektonika. Metode ini dilaksanakan berdasarkan pendekatan ilmu kegunungapian dengan mengacu kepada perkembangan kegiatan gunung api aktif masa kini sampai dengan gunung api yang sudah tidak aktif dan tererosi lanjut. Pendekatan ini mengikuti salah satu prinsip dasar geologi yang dikemukakan oleh James Hutton (hidup pada tahun 1726-1792), yang menyatakan bahwa kejadian geologi pada masa kini menjadi kunci untuk memecahkan permasalahan geologi pada masa lampau (*the present is the key to the past*).

Letak keterdapatannya mineral diidentifikasi di lapangan pada saat melakukan pekerjaan geologi berdasarkan penjelajahan medan dan informasi dari data sekunder. Pada umumnya, mineral primer bentukan asal gunung api berasosiasi dengan batuan yang telah mengalami ubahan hidrotermal, cebakannya di dalam fasies pusat gunung api, dan berasosiasi dengan batuan terobosan semi gunung api (*subvolcanic intrusions*; Easton dan Johns, 1986; Corbett dan Leach, 1996; Hedenquist, 1998). Selanjutnya, data hasil kerja lapangan geologi dan indikasi mineralisasi tersebut dianalisis di laboratorium, kemudian dilakukan pengolahan secara terpadu untuk mendapatkan sintesis, yang disusun dalam bentuk karya ilmiah.

Secara administratif, lokasi penelitian terletak di wilayah Kecamatan Karangtengah, Kabupaten

Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1). Posisi koordinat daerah penelitian adalah $111^{\circ} 03' 30''$ – $111^{\circ} 08' 00''$ BT dan $8^{\circ} 00' 00''$ - $8^{\circ} 03' 30''$ LS. Wilayah ini berbatasan dengan Kecamatan Batuwarno dan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri di sebelah barat dan utara. Sementara ke timur dan selatan berbatasan dengan Kecamatan Arjosari dan Punung, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Kecamatan Karangtengah merupakan kawasan tertinggi (700 – 1000 m dpl) di daerah ini.

Sesuai lingkup pekerjaan, materi yang diuji dalam penelitian ini mencakup bentuk bentang alam dan berbagai jenis batuan gunung api, stratigrafi, serta struktur geologi yang di dalamnya terdapat batuan ubahan hidrotermal dan mineral bentukan asal gunung api.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian, yang termasuk wilayah Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah, berbatasan dengan Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur.

TATAAN GEOLOGI

Berdasarkan pembagian fisiografi oleh van Bemmelen (1949), daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan Pulau Jawa. Zona ini merupakan satuan fisiografi terluas yang secara dominan tersusun oleh batuan gunung api dan batuan karbonat. Beberapa bentang alam tonjolan yang terdapat di antara batuan gunung api diperkirakan sebagai batuan terobosan. Mengacu kepada Peta Geologi lembar Pacitan (Samodra dr., 1992) di daerah penelitian terdapat batuan gunung api yang dikelompokkan ke dalam Formasi Mandalika,

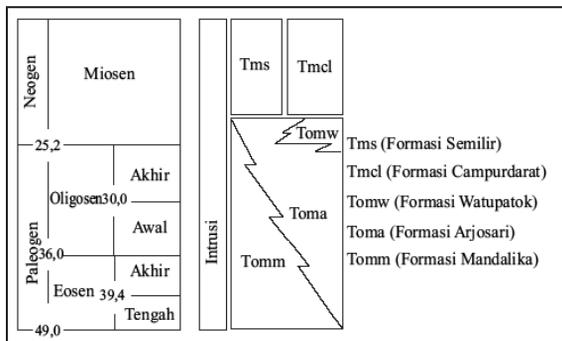
Formasi Arjosari, dan batuan beku terobosan atau intrusi (Gambar 2). Formasi Semilir dan Formasi Watupatok, yang juga mengandung batuan gunung api, tersebar di sebelah barat dan timur daerah penelitian. Sementara itu, Formasi Campurdarat bersama dengan Formasi Wonosari terdapat sepanjang pantai Pegunungan Selatan; keduanya tersusun oleh batugamping.

Formasi Mandalika (Tomm) tersusun oleh perselingan lava, breksi gunung api, dan batupasir tuf. Lava berupa batuan beku luar berwarna abu-abu sampai abu-abu gelap, sangat keras, tersusun oleh andesit sampai basal, setempat membentuk kekar plat (*platy joints*) dan kekar tiang (*columnar joints*). Sebagian batuan beku ini telah mengalami ubahan hidrotermal (kloritisasi), sehingga berwarna kehijauan dan setempat mengandung mineral pirit. Breksi gunung api berwarna abu-abu kecoklatan, umumnya telah lapuk menjadi tanah coklat. Komposisi utama fragmen berupa andesit sampai basal, berukuran 20 – 25 cm. Batupasir tuf berwarna coklat kemerahan, umumnya lapuk, berukuran butir pasir halus - kasar. Formasi Arjosari (Toma) terdiri atas tuf lapili dan batulapili, berwarna abu-abu kecoklatan, masif, sebagian telah terkekarkan

dan lapuk. Batuan beku terobosan bervariasi dari andesit sampai basal, berumur Oligo - Miosen, juga telah mengalami ubahan hidrotermal, berwarna abu-abu gelap, dan diperkirakan telah menerobos Formasi Mandalika. Formasi ini menjemari dengan Formasi Arjosari, sehingga umurnya diduga Oligosen Akhir hingga Miosen Awal. Kedua formasi tersebut diduga terbentuk bersamaan dengan kegiatan magmatisme yang menghasilkan batuan beku terobosan di daerah Pacitan.

Soeria-Atmadja drr. (1994) telah melakukan pengukuran umur mutlak batuan berdasarkan unsur radioaktif Kalium-Argon (K – Ar) pada batuan gunung api Tersier di daerah Pacitan (Tabel 1). Data ini menunjukkan bahwa lava basal berstruktur bantal dan retas di Pacitan berumur $42,73 \pm 9,78 - 28,00 \pm 1,53$ jt. (Eosen Tengah – Oligosen Awal). Umur ini lebih tua daripada umur relatif dugaan Samodra drr. (1992) yang menyatakan bahwa Formasi Mandalika dan Formasi Arjosari berumur Oligosen Akhir – Miosen Awal. Akmaludin drr. (2005) melaporkan umur batuan piroklastika Formasi Semilir adalah $10,64 \pm 0,34$ jt. (Miosen Akhir). Umur ini ternyata lebih muda daripada pendapat Samodra (1983) yang menyatakan bahwa Formasi Semilir yang tersingkap di Wonosari berumur Miosen Awal.

Di dalam Peta Geologi Lembar Pacitan (Samodra drr., 1992), sesar yang umum dijumpai berjenis sesar turun dan sesar geser yang ditunjukkan oleh terganggunya kedudukan lapisan batuan, adanya gawir, lipatan seretan, dan cermin sesar. Kelurusan yang teramati pada potret udara menunjukkan bahwa sesar-sesar geser mempunyai jurus barat laut - tenggara dan timur laut - barat daya, meskipun berdasarkan pengamatan lapangan gerakan yang menguasainya adalah gerakan tegak. Sesar geser yang berarah barat laut - tenggara termasuk jenis mendatar manganan, sedangkan sesar geser timur laut - barat daya mempunyai geseran mengiri. Sistem sesar geser tersebut saling berpotongan dan



Gambar 2. Kolom stratigrafi regional daerah penelitian berdasarkan Peta Geologi Lembar Pacitan (Samodra drr., 1992 dengan modifikasi). Umur dalam satuan juta tahun.

Tabel 1. Umur mutlak Batuan Gunung Api menurut Soeria-Atmadja drr. (1994) dan Akmaluddin drr., (2005) sebagai Acuan Perkiraan Umur Batuan Gunung Api di Daerah Penelitian (umur dalam satuan juta tahun/jt)

Lokasi	Batuan	Formasi	Umur (jt)	Sumber
Wonogiri	Piroklastika	Semilir	$10,64 \pm 0,34$	Akmaluddin drr., 2005
Pacitan	Retas basal	Mandalika	$28,00 \pm 1,53$	Soeria-Atmadja drr., 1994
Pacitan	Lava basal	Mandalika	$33,56 \pm 9,69$	Soeria-Atmadja drr., 1994
Pacitan	Lava basal	Mandalika	$42,73 \pm 9,78$	Soeria-Atmadja drr., 1994

membentuk pola huruf V, yang diduga merupakan sesar-sesar tua yang mengalami reaktivasi.

Bahan galian logam di Lembar Pacitan ini berupa pirit dan kalkopirit, yang terdapat di dalam urat-urat kuarsa pada Formasi Mandalika dan Formasi Arjosari. Bahan galian non logam di dalam kedua formasi itu antara lain kaolin, gipsum, tras, pumis (batuapung), dan batupasir, sedangkan andesit - basal umumnya berupa batuan beku terobosan. Setijadji drr. (2006) menyatakan bahwa pusat-pusat gunung api purba berumur Tersier Bawah mempunyai kecenderungan lebih prospektif untuk mineralisasi porfiri, sedangkan yang berumur Miosen Atas - Pliosen lebih prospektif untuk mineralisasi epitermal sulfida rendah.

HASIL PENELITIAN

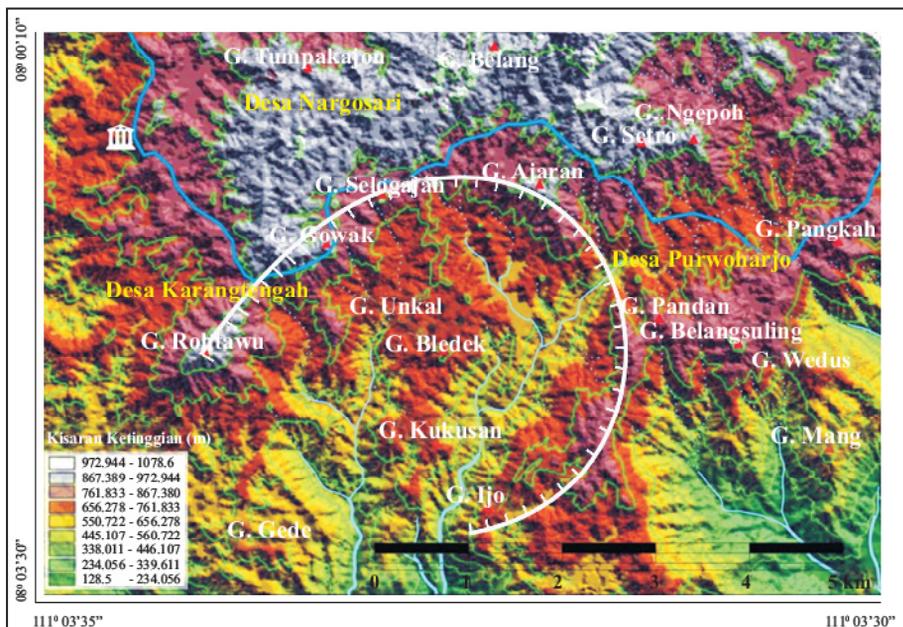
Geomorfologi

Daerah penelitian merupakan bagian dari Pegunungan Selatan di perbatasan antara Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur yang tergolong paling tinggi (rata-rata 700 m sampai 1000 m dpl) dan berrelief kasar - sangat kasar. Secara umum, bentang alam tersebut menurun ke arah selatan (Gambar 3). Puncak-puncak tertinggi di bagian utara antara lain

Gunung Tumpakayon (+965 m), Gunung Belang (+981 m), Gunung Ngepoh (+939 m), dan Gunung Setro (+1005 m). Di bagian tengah terdapat Gunung Rohtawu (+1004 m), Gunung Gowak, Gunung Selogajah (+981 m), Gunung Ajaran (+1016 m), dan Gunung Pandan (+767 m). Adapun puncak-puncak tertinggi di bagian selatan adalah Gunung Gede (+985 m), Gunung Kukusan (+929 m), Gunung Ijo (+815 m), dan Gunung Mang (+755 m).

Data geomorfologi diperoleh dari analisis citra satelit, peta rupa bumi BAKOSURTANAL tahun 2001 (Lembar 1507-433: Bungur, 1507-434: Arjosari), dan pengamatan langsung di lapangan. Mengacu kepada klasifikasi bentang alam menurut Desaunettes (1977) yang dimodifikasi, pembagian satuan geomorfologi di dalam makalah ini didasarkan pada tiga faktor utama, yaitu: a. Bentuk bentang alam yang mencakup kisaran tinggi maksimum, beda tinggi, sudut lereng, dan relief; b. Proses eksogen yang sedang bekerja saat ini, terutama denudasi (pelapukan sekaligus erosi), serta, c. Litologi penyusun, baik dalam bentuk batuan primer maupun ubahan (Tabel 2).

Dari dasar tersebut maka daerah penelitian dapat dibagi menjadi empat satuan geomorfologi, yaitu: 1. pegunungan basal propilit berlereng landai denudasional, 2. pegunungan basal argilik berlereng terjal



Gambar 3. Citra *landsat* daerah penelitian beserta cekungan berbentuk tapal kuda membuka ke selatan - barat daya.

denudasional, 3. pegunungan intrusi basal propilit - argilik, dan 4. pegunungan batulapili berlereng terjal denudasional (Gambar 4).

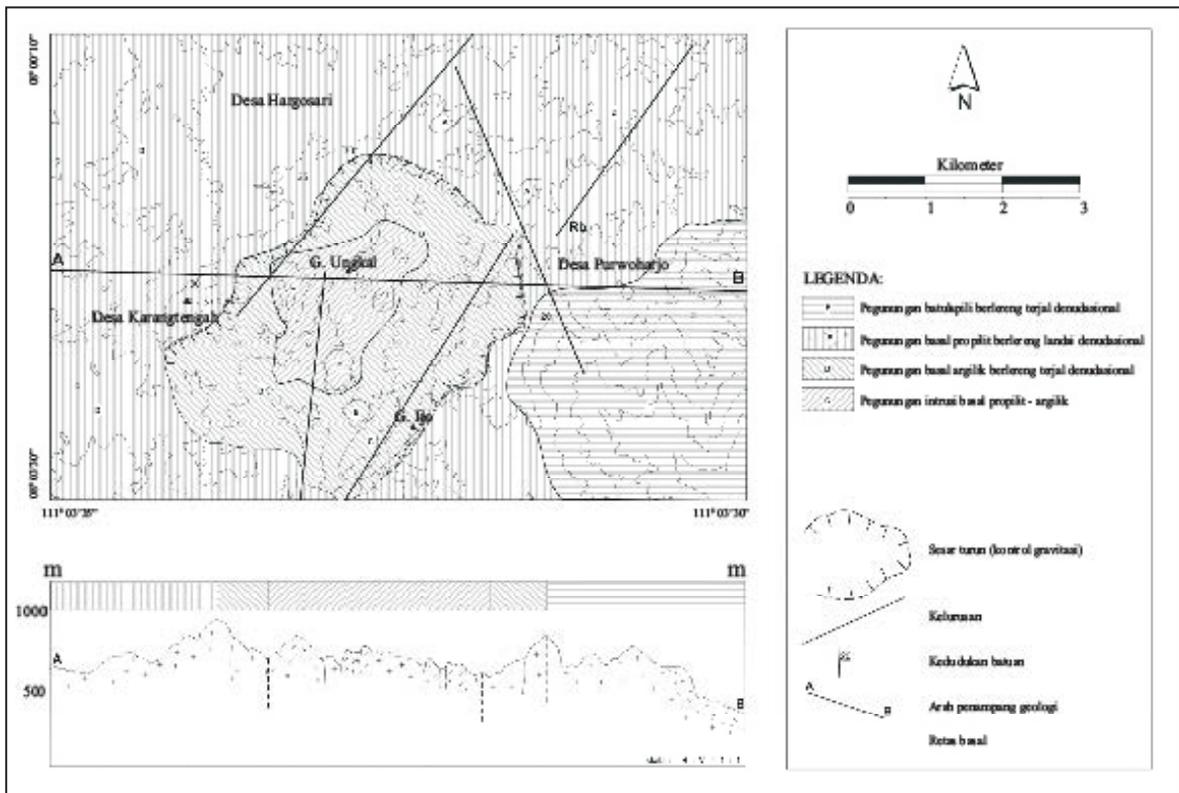
Pegunungan basal propilit berlereng landai denudasional tersusun oleh batuan beku basal yang sudah berubah menjadi propilit, dan proses eksogen yang bekerja adalah pelapukan dan erosi yang juga dikenal sebagai proses penelanjangan atau denudasi. Satuan bentang alam ini menempati sebagian besar daerah penelitian dan melingkupi satuan pegunungan basal argilik berlereng terjal denudasional. Satuan pegunungan basal propilit ini mempunyai kisaran tinggi maksimum 700 - 1000 m dpl., beda tinggi antara 150 - 180 m, dan sudut lereng 10 - 20 % (landai - terjal). Meskipun mempunyai relief kasar, penampakan citra satelit dan peta rupa bumi serta pengamatan langsung di lapangan terhadap satuan bentang alam ini masih dikenali berpola punggungan pegunungan memancar dan melandai atau menurun menjauhi satuan geomorfologi kedua dan ketiga. Penampang geomorfologi (Gambar 4) menunjukkan bahwa bentang alam pegunungan basal propilit berlereng landai denudasional melandai menjauhi satuan pegunungan basal argilik berlereng terjal denudasional. Titik-titik tertinggi pada batas dengan satuan pegunungan basal argilik berlereng terjal denudasional mencapai 1000 m dpl., kemudian ke arah barat, utara, dan timur melandai hingga ketinggian 600 - 700 m dpl. Dari sayatan geomorfologi

terlihat jelas bahwa sudut lereng β (30 - 60°) selalu lebih besar sudut lereng δ (\approx 20°). Berdasarkan klasifikasi Desaunettes (1977) satuan bentang alam ini termasuk *volcanic middle slope* atau lereng tengah suatu kerucut gunung api.

Satuan pegunungan basal argilik berlereng terjal denudasional ini membentuk suatu gawir melengkung seperti sepatu tapal kuda (*a horse shoe-shaped depression*) yang membuka ke arah selatan-barat daya, dan di dalamnya terdapat satuan pegunungan intrusi basal propilit - argilik (Gambar 5). Puncak-puncak tinggian di atas gawir dimulai dari Gunung Rohtawu (+1004 m), Gunung Gowak, Gunung Selogajah (+981 m), Gunung Ajaran (+1016 m), Gunung Pandan (+767 m), dan Gunung Ijo (+815 m). Satuan ini mempunyai kisaran tinggi maksimum 900 - 1000 m, beda tinggi antara 150 - 250 m, dan sudut lereng 20 - 30° (terjal - sangat terjal). Keterjalan gawir tapal kuda itu ditunjukkan oleh besarnya sudut lereng β (Gambar 4). Diameter cekungan tapal kuda mencapai 3,5 km dan pada kaki gawir ditemukan banyak runtuhuan bongkah batu. Satuan bentang alam kedua ini tersusun oleh batuan beku basal yang sudah berubah menjadi argilik dan sedang mengalami proses denudasi. Berdasarkan klasifikasi Desaunettes (1977) satuan bentang alam ini termasuk *crater/volcano upper slope*, artinya daerah kawah gunung api atau lereng atas suatu kerucut gunung api.

Tabel 2. Nama dan Parameter Dasar Penamaan Satuan Geomorfologi di Daerah Penelitian

Nama Satuan Geomorfologi	Ciri Bentang Alam				Proses Eksogen	Litologi Penyusun
	Puncak Ketinggian (m)	Beda Tinggi (m)	Sudut Lereng (°)	Relief		
Pegunungan basal propilit berlereng terjal denudasional	700 - 1000	150 - 180	10 - 20 (landai-terjal)	Kasar	Pelapukan, denudasi, erosi	Lava basal propilit
Pegunungan basal argilik berlereng terjal denudasional	900 - 1000	150 - 250	20 - 30 (terjal-sangat terjal)	Sangat kasar	Denudasi-erosi	Lava basal argilik
Pegunungan intrusi basal propilit-argilik	700 - 800	50 - 100	\pm 20 (terjal)	Kasar	Pelapukan-erosi	Intrusi basal propilit-argilik
Pegunungan batulapili berlereng terjal denudasional	700 - 800	50 - 200	15 - 25 (landai - terjal)	Kasar	Pelapukan, denudasi, erosi	Batulapili



Gambar 4. Peta geomorfologi daerah penelitian.

Satuan geomorfologi ketiga, yakni pegunungan intrusi basal propilit - argilik, tersusun oleh kerucut - kerucut tubuh batuan beku terobosan berkomposisi basal yang sebagian besar berubah menjadi propilit - argilik. Kerucut tinggian itu antara lain Gunung Ungkal, Gunung Bledek, dan Gunung Kukusan. Satuan ini mempunyai kisaran tinggi maksimum 700 - 800 m dpl., beda tinggi antara 50 - 100 m, dan sudut lereng sekitar 20° (terjal). Berdasarkan klasifikasi Desaunettes (1977) satuan bentang alam ini termasuk *dike and boss*. *Dike* atau retas dan bos merupakan tubuh batuan beku terobosan, yang umum dijumpai di dalam fasies sentral gunung api, atau di dalam kawah/kaldera gunung api.

Satuan geomorfologi keempat, pegunungan batulapili berlereng terjal denudasional, menempati daerah penelitian bagian tenggara, tersusun oleh bahan piroklastika berupa batulapili. Berhubung daerah ini termasuk tempat tertinggi dan ke arah tenggara mengalami penurunan, maka satuan geomorfologi ini juga mengalami pelapukan dan sekaligus pengerosian sangat intensif sehingga

terbentuk lembah sungai berbentuk huruf V dan berlereng terjal. Namun demikian, dari penampang geomorfologi masih tampak adanya penurunan lereng menjauhi bentang alam cekungan tapal kuda (Gambar 4). Satuan ini mempunyai kisaran tinggi maksimum 700 - 800 m dpl., beda tinggi antara 50 - 200 m dpl., dan sudut lereng 15 - 25° (landai - sangat terjal). Berdasarkan klasifikasi Desaunettes (1977), satuan bentang alam ini masih termasuk *volcanic middle slope*. Sekalipun merupakan lereng tengah suatu kerucut gunung api, kelerengannya lebih terjal dibanding pegunungan basal propilit berlereng landai denudasional. Hal itu terutama disebabkan oleh faktor litologi penyusun. Satuan geomorfologi pertama tersusun oleh basal propilit, yang bertekstur masif, berkomposisi homogen dan lebih resisten terhadap erosi dibanding dengan batulapili. Sebaliknya di dalam satuan pegunungan batulapili berlereng terjal denudasional, litologi penyusun bertekstur klastika, komposisi relatif heterogen karena tersusun oleh butiran kristal, fragmen batuan, dan gelas. Kondisi itu menyebabkan ikatan antarbutir kurang

padu dibanding dengan batuan beku basal masif dan homogen, sehingga memudahkan untuk tersayat kuat oleh proses erosi, dan menghasilkan bentang alam yang lebih terjal dan berelief lebih kasar.

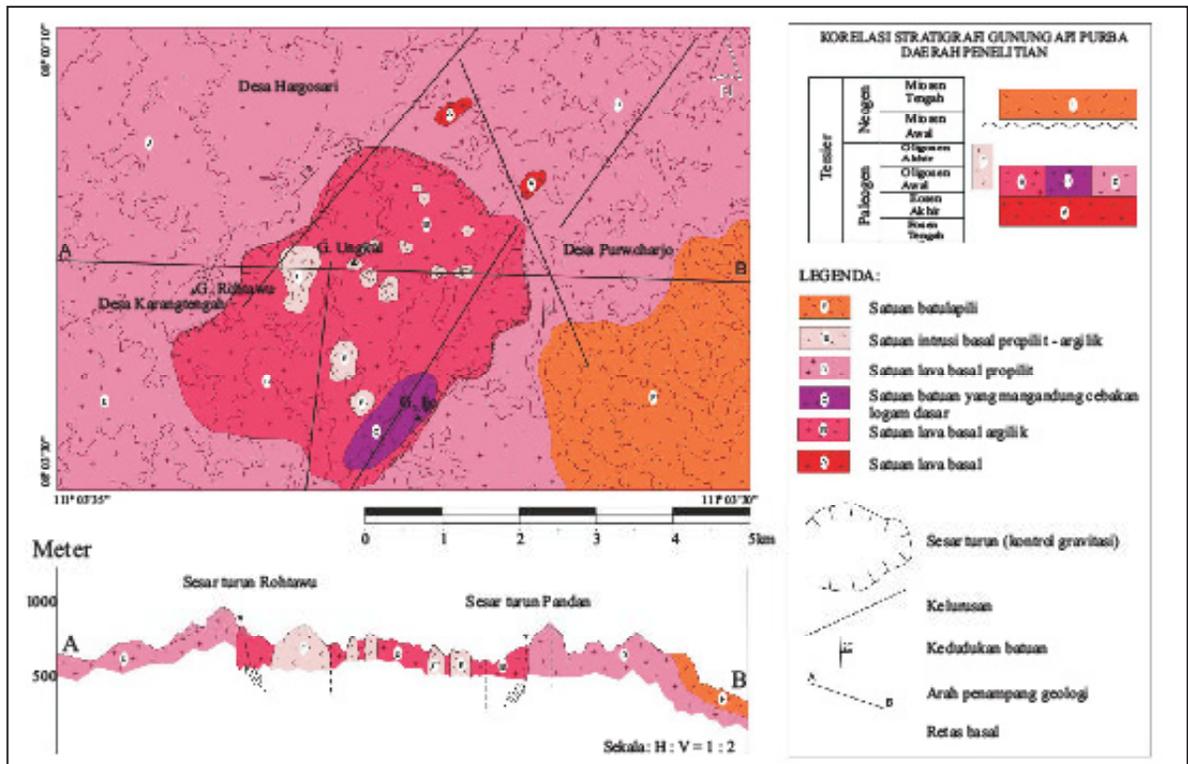
Aliran sungai yang berair hanya pada musim hujan terdapat di dalam cekungan tapal kuda dan satuan pegunungan batulapili berlereng terjal denudasional. Bagian hulu sungai tersebut hanya berupa alur-alur yang kering sepanjang tahun. Secara umum, aliran sungai membentuk pola semidendritik mengalir ke arah selatan dan tenggara.

Stratigrafi Gunung Api

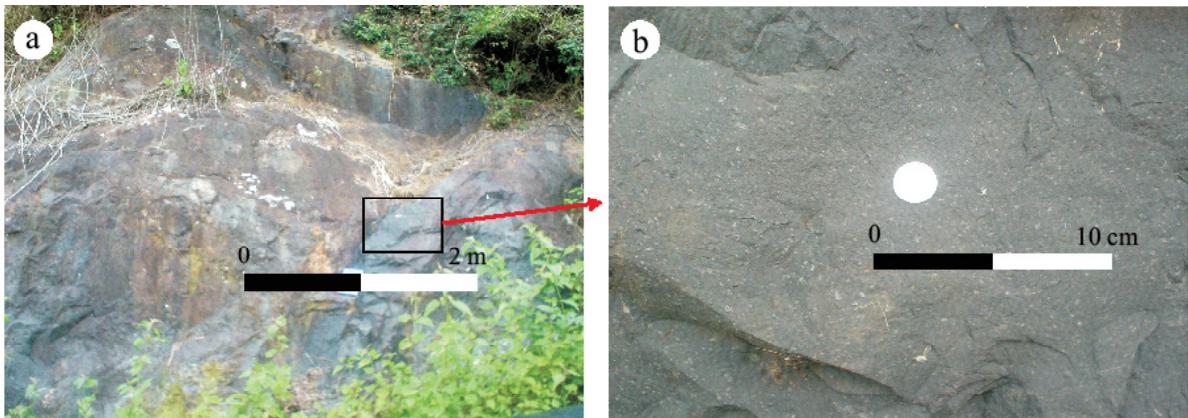
Seluruh daerah penelitian tersusun oleh batuan gunung api, yang dibagi menjadi beberapa satuan batuan berdasarkan ciri litologi dan dapat dipetakan pada skala 1:25.000. Ciri litologi itu tidak semata-mata sebagai batuan primer, tetapi juga sebagai batuan ubahan atau bahkan termineralisasi. Hal tersebut dengan pertimbangan bahwa pada batuan ubahan lanjut sudah tidak dikenali batuan asalnya, dan sebarannya dapat dipetakan dalam skala 1:25.000. Mengacu kepada hal tersebut, batuan gunung api di daerah penelitian

dikelompokkan menjadi enam satuan batuan, yaitu: satuan lava basal, satuan lava basal argilik, satuan batuan ubahan mengandung cebakan logam dasar, satuan lava basal propilit, satuan intrusi basal propilit - argilik, dan satuan batulapili (Gambar 5).

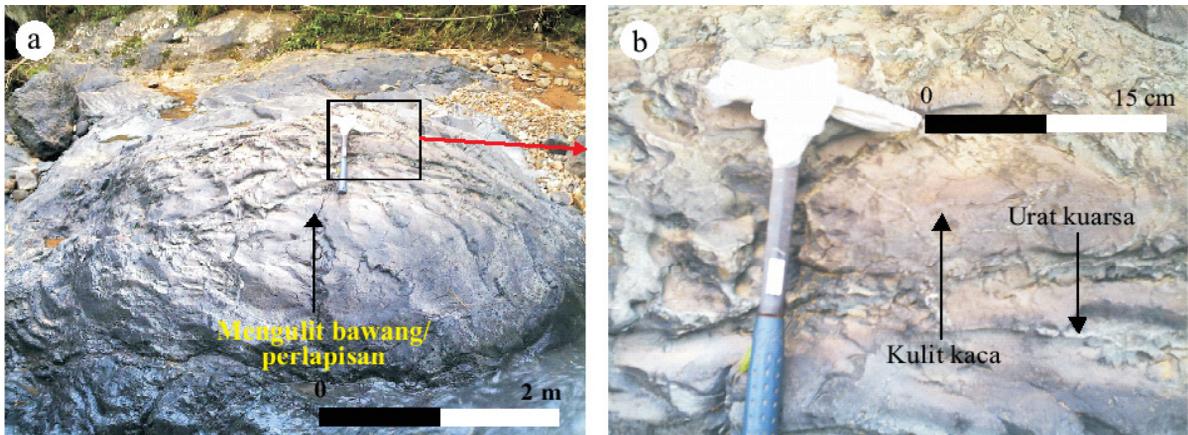
Satuan lava basal merupakan satuan batuan yang mengalami ubahan hidrotermal paling lemah, sehingga ciri-ciri litologi sebagai batuan beku masih sangat jelas (Gambar 6). Satuan batuan ini berupa batuan beku basal, kadang membentuk struktur bantal dan breksi otoklastika, terpetakan secara lokal di beberapa tempat saja. Lava basal ini berwarna hitam kehijauan, bertekstur afanit sampai porfiri. Bagian tubuh batuan yang membentuk breksi otoklastika mempunyai tekstur klastika - fragmental kasar, sedangkan bagian yang masif membentuk struktur aliran dan bantal. Batuan beku basal berstruktur bantal di Ngumbul ($8^{\circ}1'17''\text{LS}$ dan $111^{\circ}7'32''\text{BT}$; Gambar 7) memperlihatkan pola aliran lava berarah $U340^{\circ}T/20^{\circ}$, atau menjauhi cekungan tapal kuda di sebelah barat dayanya. Di dalam tekstur porfiri, fenokris berbutir halus terdiri atas plagioklas dan piroksen, yang



Gambar 5. Peta geologi, alterasi, dan mineralisasi daerah penelitian.



Gambar 6. a. Singkapan batuan beku basal, dan b. Foto jarak dekat lava basal, di Dusun Saren, bagian utara daerah penelitian ($8^{\circ} 0' 30''$ LS dan $111^{\circ} 6' 54''$ BT).



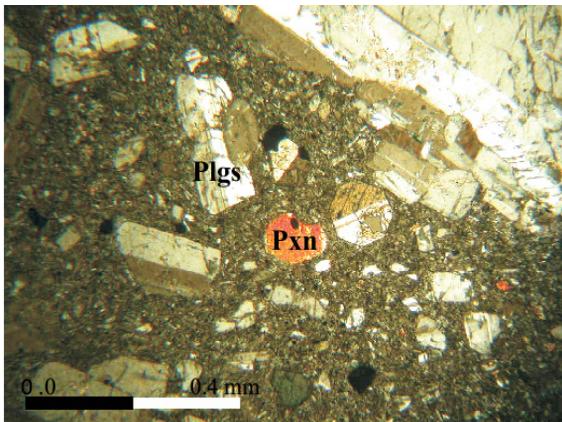
Gambar 7. a. Singkapan batuan beku basal berstruktur bantal di Ngumbul ($8^{\circ} 1' 17''$ LS dan $111^{\circ} 7' 32''$ BT) yang memperlihatkan struktur mengulit bawang (struktur konsentris), dan b. Foto jarak dekat, permukaan tubuh lava tersusun oleh kulit kaca (*glassy skin*) dan di dalamnya terdapat urat kuarsa.

tertanam di dalam massa dasar gelas gunung api, felspar, piroksen, dan mineral *opaque* (Gambar 8). Mineral sekunder yang hadir berupa kuarsa, kalsit, barit, klorit, dan lempung. Batuan ini berubah secara berangsur menjadi basal propilit.

Sebagian besar satuan lava basal argilik telah berubah menjadi mineral lempung putih-putih keabuan (argilik), yang di dalamnya terdapat urat kuarsa dan mineral logam dasar. Sebagian batuan mudah hancur, tetapi mengalami silisifikasi dan termineralisasi menjadi batuan sangat keras. Mineral logam dasar juga membentuk urat-urat halus yang mempunyai ketebalan beragam antara 0,1 – 1,2 cm, tersebar di tepi lembah tapal kuda. Hasil analisis XRD menun-

jukkan batuan ubahan ini tersusun oleh kuarsa, albit, montmorilonit, ilit, dan kaolin.

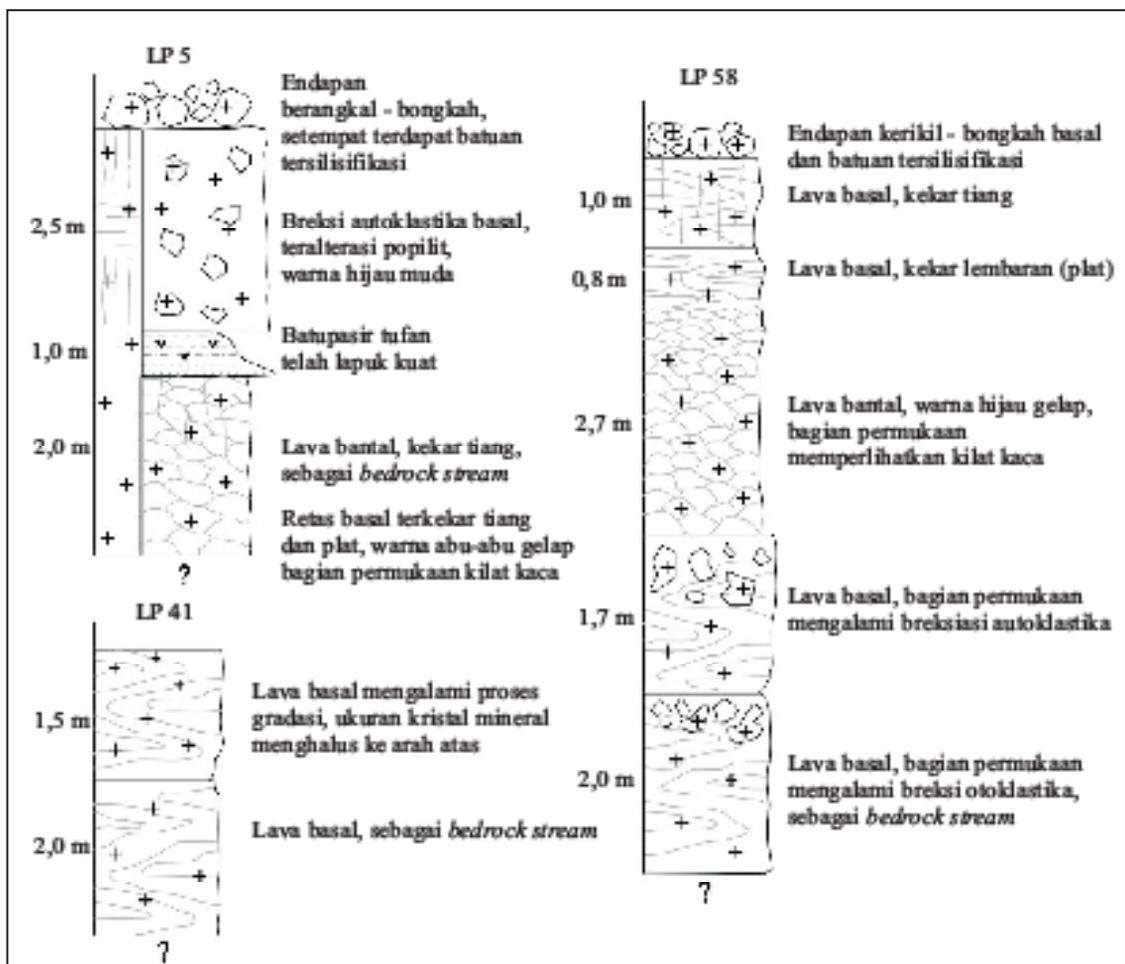
Berdasarkan ciri litologi di lapangan dan sebarannya yang terpetakan, cebakan logam dasar tidak dapat dipisahkan dari batuan induknya yang sudah mengalami ubahan hidrotermal lanjut dan tidak dapat dikenali asal batuanannya (basal argilik?), sehingga menjadi satuan batuan tersendiri. Satuan ini tersingkap di kaki Gunung Ijo ($8^{\circ} 3' 6''$ LS dan $111^{\circ} 6' 22''$ BT) yang terletak di bagian selatan daerah penelitian, di dalam bentang alam cekungan berbentuk tapal kuda (*horse shoe-shaped depression*). Cebakan logam ini berwarna hitam kelam, kilap logam, sebagian lapuk teroksidasi berwarna merah



Gambar 8. Mikrofoto sayatan tipis batuan beku basal (nikol bersilang) memperlihatkan tekstur hipokristalin porfiri, fenokris plagioklas (Plgs), dan piroksen (Pxn).

coklat, membentuk kerak sangat keras seperti *gossan*. Dari analisis XRD terdeteksi bahwa cebakan mengandung hematit, dan dari analisis AAS diketahui bahwa dalam cebakan logam itu terdeteksi Fe (41,2 %) serta logam dasar yang terdiri atas Cu (166,7 ppm), Zn (66,7 ppm), dan Pb (35,0 ppm).

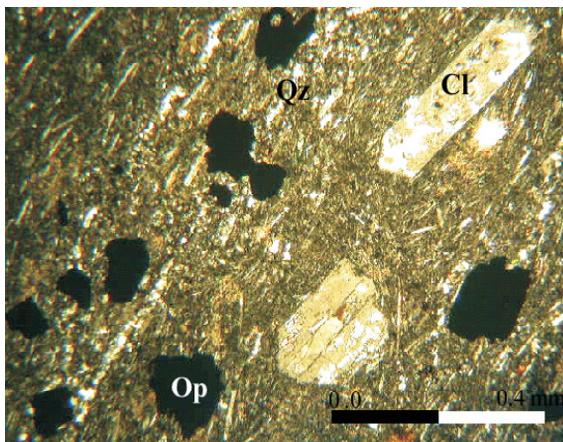
Satuan lava basal propilit terdiri atas lava basal berstruktur bantal, breksi otoklastika, dan retas basal yang mempunyai sebaran paling luas di daerah penelitian. Lava basal propilit yang tersingkap di sungai kecil (8°1'32"LS dan 111°6'34"BT) memiliki kedudukan struktur aliran purba U254°T/10° atau mengarah ke utara, menjauhi cekungan tapal kuda di sebelah selatannya. Di antara aliran lava basal propilit ini terdapat sisipan batupasir tuf (Gambar 9) yang telah lapuk kuat, berwarna coklat muda,



Gambar 9. Kolom litologi di LP5, LP41, dan LP58 yang menunjukkan beberapa perlapisan aliran lava basal sebagian berstruktur bantal. Pada LP5 juga terdapat sisipan batupasir tufan dan retas basal.

tetapi pelamparannya sangat sempit. Basal propilit ini berwarna hijau cerah, komposisi mineral primer yang masih teramati yaitu plagioklas dan piroksen, sedangkan mineral hasil alterasi hidrotermal berupa klorit, kalsit, mineral *opaque* serta mineral lempung. Di tepi jalan Karangtengah - Purwoharjo ($8^{\circ}0'58''\text{LS}$ dan $111^{\circ}6'50''\text{BT}$) lava basal propilit ini mengandung banyak pirit berbentuk euhedral berukuran 0,5 - 3,0 mm. Di bawah mikroskop kristal pirit terlihat sebagai mineral *opaque* berbutir kasar (Gambar 10).

Satuan intrusi basal propilit-argilik merupakan batuan beku terobosan dangkal yang berada di dalam bentang alam cekungan tapal kuda. Batuan intrusi ini berupa retas, *sill*, dan leher gunung api. Secara bentang alam, singkapan batuan ini berupa tonjolan batuan yang melampar di bagian tengah lokasi penelitian. Singkapan batuan pada bagian permukaannya telah teralterasi dan berubah menjadi batuan beku basal propilit-argilik. Beberapa singkapan batuan tampak lebih resistan daripada batuan di sekitarnya yang telah berubah lanjut menjadi basal argilik. Di Gunung Ungkal ($8^{\circ}1'58''\text{LS}$ dan $111^{\circ}5'37''\text{BT}$) intrusi basal membentuk kekar tiang. Warna batuan bervariasi dari putih, abu-abu, abu-abu kehijauan, struktur masif, tekstur porfiri, komposisi mineral primer telah berubah menjadi mineral sekunder. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa mineral sekunder itu terdiri atas kuarsa, albit, montmorilonit, dan illit.



Gambar 10. Mikrofoto sayatan tipis basal propilit (nikol bersilang) memperlihatkan tekstur hipokristalin porfiri dengan fenokris plagioklas. Mineral *opaque* (Op) adalah pirit. Plagioklas telah berubah menjadi mineral kalsit (Cl) dan kuarsa (05RUS45P2(1)). Urat-urat halus kuarsa (Qz) terdapat di dalam massa dasar bersama dengan mineral *opaque* halus.

Satuan batulapili melampar di bagian timur - tenggara daerah penelitian, terdiri atas tuf lapili dan batulapili. Tuf lapili berwarna abu-abu kehijauan, mudah hancur, telah berubah dan lapuk kuat. Penyusun batuan ini yaitu pumis (butiran gelas gunung api berserat) yang tertanam di dalam matriks abu gunung api, yang di dalamnya terdapat kuarsa, mineral *opaque*, dan gelas gunung api. Sebagian material telah lapuk menjadi mineral lempung dan klorit, masing-masing berwarna abu-abu kecoklatan dan hijau cerah.

Batulapili tersingkap di tepi jalan menuju ke arah pemandian sumber air panas Pacitan, ke arah barat daya lokasi penelitian. Singkapan batuan ini berwarna coklat keabuan, terdiri atas batulapili, berukuran butir 2 - 8 cm, yang tertanam di dalam matriks tuf, serta memperlihatkan penampakan bulatan-bulatan lapili tumbuhan atau lapili terakresi (*accretionary lapilli*). Secara dominan, batulapili tersusun oleh fragmen pumis berserat, yang tertanam dalam matriks tuf berkomposisi gelas gunung api. Munculnya lapili tumbuhan tersebut menjadi penciri bahwa pengendapan satuan batulapili ini di lingkungan darat kering. Mengingat batulapili ini tersusun secara dominan oleh pumis sebagai hasil erupsi eksplosif suatu gunung api yang bersifat asam dan sebarannya terbatas di bagian tenggara, serta diendapkan di lingkungan darat kering, maka diperkirakan batulapili itu mempunyai sumber berbeda dan umur jauh lebih muda dibanding dengan lava-lava basal di daerah penelitian. Lava basal Karangtengah mungkin seumur dengan lava basal di Pacitan ($42,73 \pm 9,78 - 28,00 \pm 1,53$ jt; Soeria-Atmadja drr., 1994), sedangkan batulapili termasuk Formasi Arjosari atau Semilir yang berumur $10,64 \pm 0,34$ jt (Akmaluddin drr., 2005).

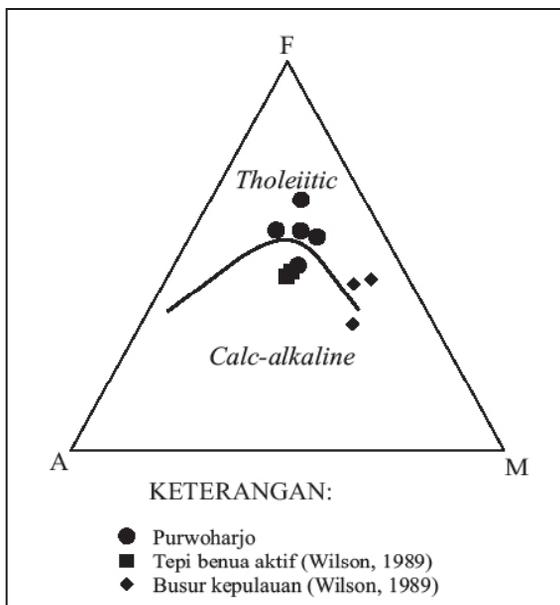
Struktur Geologi

Struktur kelurusan berarah barat laut - tenggara dan timur laut - barat daya, yang didapat dari analisis indraja data sekunder geologi regional sangat sulit dibuktikan di lapangan. Hal yang lebih menarik adalah pola jurus perlapisan aliran lava basal propilit yang cenderung konsentris dan kemiringannya menjauhi gawir cekungan tapal kuda (Gambar 5). Di kaki Gunung Rahtawu yang terletak di tepi barat gawir tapal kuda, ditemukan struktur kekar plat pada aliran lava dengan kedudukan $U185^{\circ}T/30^{\circ}$. Sementara itu, permukaan aliran lava di lereng utara Gunung Selogajah, yang terletak di tepi utara gawir tapal kuda, mempunyai kedudukan batuan $U265^{\circ}T/30^{\circ}$.

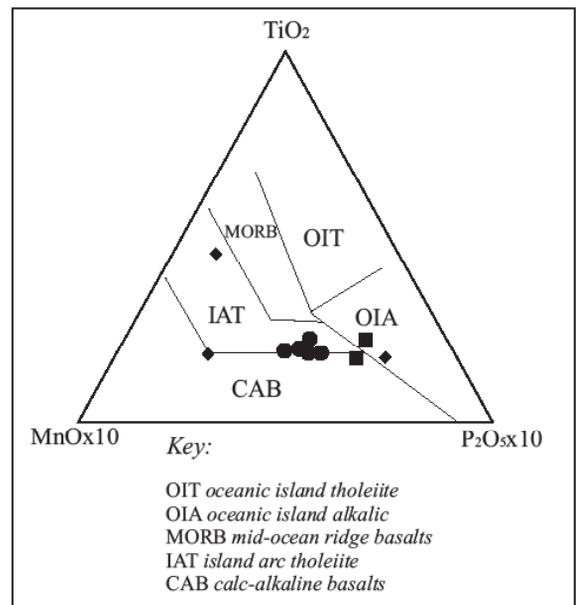
Struktur geologi yang terbentuk merupakan pengaruh gravitasi seperti yang terlihat pada peta geologi, yaitu berupa blok-blok sesar turun pada tebing lembah tapal kuda yang berbentuk bulan sabit (*rim structure*). Struktur ini masih teramati dengan baik di lereng selatan Gunung Selogajah.

Kimia Batuan

Analisis kimia batuan dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi, Bandung terhadap percontoh batuan yang paling sedikit berubah, yaitu dua dari satuan lava basal (05RUS120 dan 05RUS121) dan tiga dari satuan lava basal propilit (05RUS3, 05RUS34, 05RUS45; Tabel 5). Sekalipun jumlahnya mendekati 100 %, unsur habis dibakar mencapai 2,69 – 4,08 % berat. Ini berarti batuan sudah berubah dan sesuai hasil pemerian secara petrografis telah terbentuk mineral sekunder. Secara umum, basal dari dua satuan batuan tersebut mempunyai pola kimia yang sama. Tingginya persentase kandungan oksida silika, besi, kalsium, dan kalium, diperkirakan sebagai hasil ubahan hidrotermal. Berdasarkan diagram AFM (Gambar 11) basal dari daerah penelitian mempunyai afinitas toleit-kalk-alkali tepi benua aktif (Wilson, 1989). Sementara itu, pengeplotan di dalam diagram Ti-Mn-P (Gambar 12) batuan terletak pada area transisi antara toleit busur kepulauan dengan

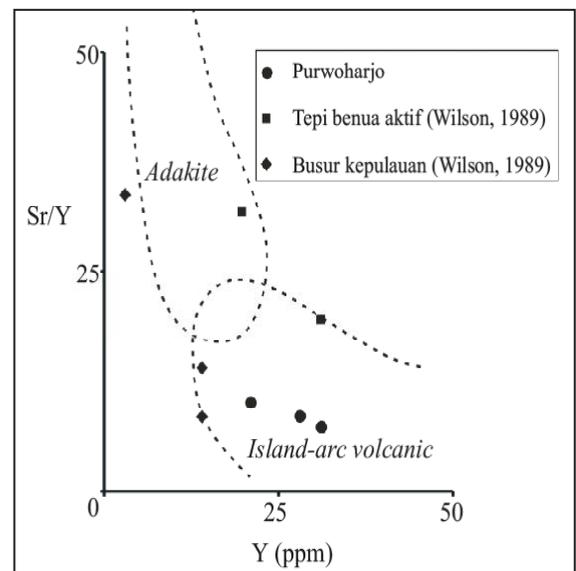


Gambar 11. Klasifikasi seri magma AFM yang dibandingkan dengan data sekunder.



Gambar 12. Diagram segitiga $TiO_2 - MnO \times 10 - P_2O_5 \times 10$ percontoh batuan gunung api Purwoharjo (Wilson, 1989).

basal kalk-alkali. Dari rasio unsur jarang Sr dan Y (Gambar 13) batuan berasal dari daerah busur kepulauan gunung api.



Gambar 13. Penentuan posisi tektonika batuan gunung api purba (*tectomagmatic*) berdasarkan grafik Sr/Y versus Y pada daerah penelitian dan dibandingkan dengan data sekunder dalam Wilson, 1989 (Defand dan Drumond, 1993 dalam Setijadji drr., 2004).

PEMBAHASAN

Untuk mengidentifikasi keberadaan fosil gunung api di daerah penelitian, maka di bawah ini dibahas aspek bentang alam, struktur geologi, fasies gunung api dan aliran lava, serta alterasi dan mineralisasi. Satuan bentang alam pegunungan basal argilik berlereng terjal denudasional membentuk gawir tapal kuda membuka ke arah selatan barat daya berdiameter lebih kurang 4 km (Gambar 3). Gawir tapal kuda itu melingkupi cekungan yang ditempati oleh pegunungan intrusi basal propilit argilik. Dari puncak gawir ke arah pegunungan basal propilit berlereng landai dan pegunungan batulapili berlereng terjal denudasional, bentang alam membentuk lereng melandai menjauhi gawir dan cekungan tapal kuda tersebut di atas. Melandainya lereng tersebut juga paralel dengan jurus perlapisan batuan, yang mempunyai pola kemiringan konsentris melingkari gawir dan cekungan tapal kuda. Di kaki Gunung Rahtawu yang terletak di tepi barat gawir tapal kuda, struktur kekar plat aliran lava mempunyai kedudukan $U185^{\circ}T/30^{\circ}$. Sementara itu, permukaan aliran lava di lereng utara Gunung Selogajah, yang terletak di tepi utara gawir tapal kuda, mempunyai kedudukan batuan $U265^{\circ}T/30^{\circ}$. Dengan demikian, dari geomorfologi dan struktur geologi dapat direkonstruksi bentang alam gunung api purba. Bentang alam gawir dan cekungan tapal kuda merupakan daerah puncak gunung api, sedangkan bentang alam lereng melandai menjauhi gawir merupakan lereng gunung api purba.

Dari aspek litologi, bentang alam cekungan tapal kuda tersusun oleh intrusi basal propilit - argilik dan endapan logam dasar selain ada juga lava basal. Namun, untuk bentang alam gawir dan pegunungan basal propilit seluruhnya tersusun oleh aliran lava basal, yang mempunyai struktur aliran menjauhi cekungan tapal kuda. Struktur aliran lava bantal di sebelah timur laut (Ngumbul; $8^{\circ}1'17''LS$ dan $111^{\circ}7'32''BT$) memperlihatkan pola aliran lava berarah $U340^{\circ}T/20^{\circ}$, atau menjauhi cekungan tapal kuda di sebelah barat dayanya. Lava basal propilit yang tersingkap di sungai kecil (sebelah utara; $8^{\circ}1'32''LS$ dan $111^{\circ}6'34''BT$) memiliki kedudukan struktur aliran purba $U254^{\circ}T/10^{\circ}$, juga mempunyai arah aliran menjauhi cekungan tapal kuda di sebelah selatannya. Intrusi basal hanya dijumpai di dalam cekungan tapal kuda itu sebagai manifestasi keluarnya magma dari

dalam bumi ke permukaan. Dari aspek alterasi juga terjadi peningkatan mulai dari propilitisasi di bagian luar (basal-basal propilit), secara berangsur berubah menjadi propilit-argilik pada dinding gawir, dan akhirnya menjadi argilik di dalam cekungan tapal kuda. Mineralisasi, baik berupa hematit, tembaga, timbal, dan seng juga terbentuk di dalam cekungan tapal kuda tersebut. Mineralisasi ini tidak menyebar di seluruh cekungan, tetapi hanya setempat di bagian selatan tenggara, mungkin secara lokal cebakannya dikontrol oleh struktur geologi setempat.

Keterdapatannya endapan logam di dalam bekas kawah atau fasies pusat gunung api ini sesuai dengan model mineralisasi di bawah gunung api seperti yang dikemukakan oleh Corbett dan Leach (1996) dan Hedenquist dr. (1996). Sebelumnya, Easton dan Johns (1986) juga melaporkan bahwa endapan sulfida masif di Pertambangan Millenvach dan Corbet, Quebec, juga terdapat di dalam fasies pusat gunung api. Model mineralisasi di dalam cekungan dasar laut yang terdapat di gunung api bawah laut dan sekitarnya (Gifkins dr., 2005) tidak dapat sepenuhnya diterapkan, karena mineralisasi tidak hanya terdapat pada tubuh gunung api, tetapi juga di luar tubuh gunung api yang dikontrol oleh struktur sesar (tektonik) dan proses sedimentasi. Model itu juga melibatkan dapur magma sangat besar, yang berhubungan dengan kaldera gunung api bawah laut, dan setelah membeku menjadi pluton batolit. Sebaliknya, model mineralisasi di Karangtengah hanya berhubungan dengan kerucut gunung api bawah laut yang relatif kecil (berdiameter kurang dari 10 km) dan mineralisasinya terdapat di dalam bekas konduit atau di dalam fasies sentral gunung api tersebut. Bisa saja gunung api itu ada di dalam sistem kaldera gunung api bawah laut yang lebih besar seperti model Gifkins dr. (2005), tetapi itu memerlukan penelitian yang lebih luas di luar lingkup makalah ini.

Bentang alam cekungan tapal kuda sebagai bekas kawah/kaldera gunung api dapat dibedakan dengan cekungan tapal kuda akibat longsor gerakan tanah, yaitu:

- Di dalam cekungan terdapat tubuh batuan beku intrusi dangkal (*subvolcanic intrusions*) yang berkomposisi sama dengan aliran lava (batuan beku luar) yang terdapat pada dinding gawir dan sekitarnya (Bronto, 2003). Di daerah penelitian, keduanya berkomposisi basal. Batuan terobosan

itu mungkin sisa erosi leher gunung api (*volcanic necks*) yang ke atasnya menjadi kubah lava. Gunung api Tersier yang berada di dalam cekungan tapal kuda berupa tubuh-tubuh intrusi, antara lain Gunung Api Menoreh (Gunung Gandul) di sebelah barat Candi Borobudur, Magelang, dan Gunung Api Gajahmungkur (Gunung Jendi) di Wonogiri, Jawa Tengah. Pada struktur tapal kuda akibat longsoran gerakan tanah tidak dijumpai tubuh batuan beku terobosan di dalamnya. Gunung api berikut lehernya dapat muncul di tepi kaldera (*caldera rim*), tetapi bisa juga di tengah-tengah dasar kaldera, bergantung pada lokasi mana yang lebih memudahkan magma naik ke permukaan. Hal ini biasanya dikontrol oleh struktur sesar bukaan (*extensional faults*), sistem rekahan sangat intensif, serta batuan penutup yang sudah rapuh karena mengalami ubahan hidrotermal lanjut.

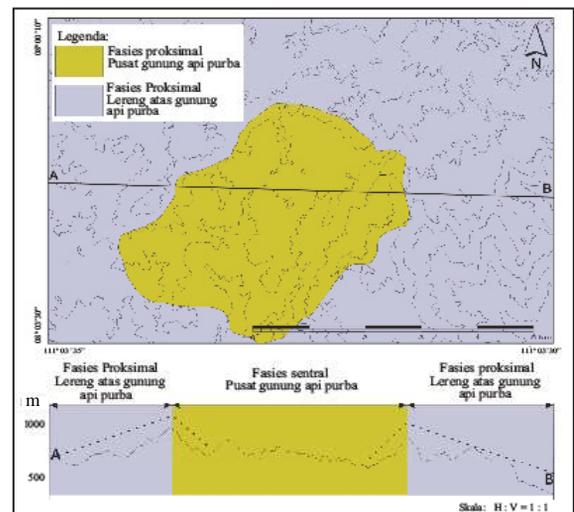
- Kelerengan bentang alam secara umum menurun dan pada jarak cukup jauh melandai menjauhi cekungan tapal kuda, karena cekungan itu merupakan kawah/kaldera di puncak gunung api. Sekalipun daerah penelitian sudah tersayat kuat akibat proses erosi, bentang alam lereng yang menurun menjauhi cekungan tapal kuda masih dapat dikenali dari penampang geomorfologi dan geologi (Gambar 4 dan 5). Sementara longsoran gerakan tanah hanya terdapat pada lereng tinggian perbukitan/pegunungan yang bisa terjadi selain di kawasan gunung api.
- Secara struktur geologi, jurus perlapisan berpola semikonsentris mengelilingi cekungan tapal kuda kaldera/kawah gunung api dan kemiringannya melandai menjauhi cekungan tapal kuda tersebut (Bronto drr., 2004). Pada longsoran gerakan tanah jurus perlapisan batuan tidak berpola konsentris, dan kemiringannya juga tidak melandai menjauhi cekungan tapal kuda.

Interaksi antara komponen magma (gas HCl, H₂S, H₂O, dan unsur logam) dengan air tanah menghasilkan batuan ubahan hidrotermal (alterasi) dan mineralisasi di bawah kawah gunung api (Hedenquist drr., 1996). Hal ini terjadi tidak hanya di Gunung Api Purba Karangtengah, tetapi terjadi pula di fasies sentral gunung api Tersier yang lain, dengan potensi cebakan mineralnya saja yang berbeda-beda; di antaranya mineralisasi di Gunung Gajahmungkur Wonogiri, piritisasi di Gunung Menoreh, dan hampir

semua daerah termineralisasi di Jawa Barat.

Kaldera/kawah gunung api berbentuk tapal kuda, sangat banyak di gunung api masa kini, antara lain di Gunung Api Galunggung, Tasikmalaya, Gunung Api Raung, Jember (Bronto, 2001), *Mount St. Helens*, Amerika Serikat (yang meletus pada tahun 1980; Voight drr., 1981), dan Bandai-san, Jepang (Sekiguchi drr., 1997). Mekanisme pembentukannya tidak melalui proses depresi yang menghasilkan runtuhnya, tetapi lereng gunung api mengalami penggembungan (*bulging*) karena didorong secara miring oleh magma dari dalam yang diikuti kemudian oleh longsornya tubuh gunung api secara sektoral (*sector failure*).

Seluruh data tersebut menunjukkan bahwa daerah penelitian merupakan bekas gunung api, sesuai dengan konsep fasies gunung api (Bronto, 2006). Cekungan tapal kuda yang mengandung intrusi basal dan endapan logam merupakan fasies pusat gunung api, atau tempat keluarnya magma pada saat terjadi erupsi (Gambar 14). Dinding gawir adalah bekas dinding kawah gunung api, sedangkan lereng luar gawir merupakan fasies proksimal gunung api purba di daerah itu. Secara petrogenesis batuan gunung api di daerah penelitian berafinitas toleit sampai

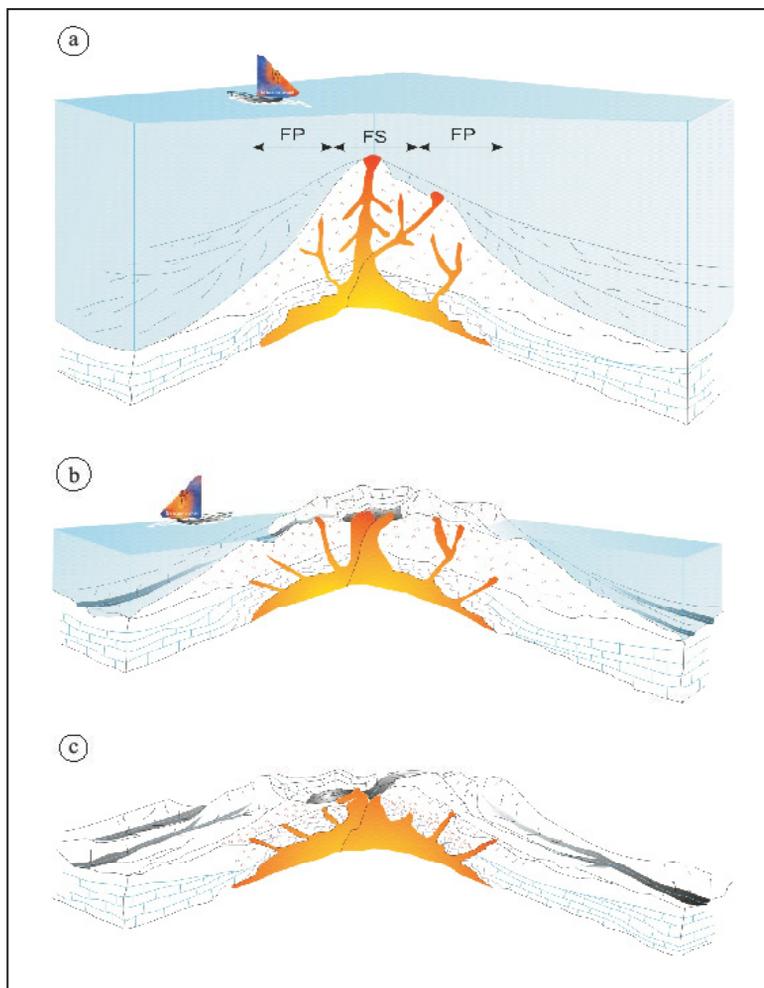


Gambar 14. Pembagian fasies Gunung Api Purba Karangtengah berdasarkan data geomorfologi, litologi, dan struktur geologi. Gambar atas memperlihatkan peta sebaran fasies sentral dan fasies proksimal, sedangkan gambar bawah menunjukkan penampang A-B. Garis putus-putus menggambarkan lereng tubuh gunung api purba sebelum mengalami erosi lanjut.

kalk-alkali busur kepulauan gunung api. Diduga awal vulkanisme di daerah penelitian membentuk busur kepulauan gunung api berafinitas toleit, namun sejalan dengan pergerakan lempeng kerak Samudra Hindia ke utara yang bertumbukan dengan lempeng kerak Benua Eurasia, maka kegiatan gunung api berkembang di tepi benua aktif dan berafinitas kalk-alkali.

Gambar 15 memperlihatkan model gunung api purba Karangtengah, diawali dengan erupsi gunung api bawah laut dalam (*deep submarine volcano*) yang menghasilkan aliran lava basal, sebagian berstruktur bantal (Gambar 15.a). Sementara itu, di fasies pusat terjadi intrusi basal berbentuk retas,

sill, dan leher gunung api. Interaksi antara magma dengan air bawah permukaan menyebabkan terjadinya alterasi dan mineralisasi di dalam fasies pusat gunung api tersebut. Hal ini berlangsung terus hingga magma benar-benar mendingin dan membentuk batuan beku terobosan. Akibat gerak-gerak tektonika, gunung api bawah laut itu mulai terangkat dan muncul di atas permukaan air laut. Sejak saat itu berlangsung proses eksogen berupa denudasi, pelapukan, dan erosi (Gambar 15.b). Gerak tektonika pengangkatan dan proses eksogen berlangsung terus, sehingga pada saat ini menghasilkan bentang alam gunung api purba berrelief kasar - sangat kasar (Gambar 15.c).



Gambar 15. Model rekonstruksi sederhana gunung api purba di daerah penelitian; a. Kondisi awal gunung api purba masih memperlihatkan penampakan morfologi gunung api yang masih utuh dan ideal dan terbentuk di lingkungan laut dalam; b. Kondisi gunung api purba pada stadia dewasa ketika aktivitas gunung api mulai berkurang dan kerucut gunung api mulai hilang karena tererosi, dan c. Kondisi gunung api purba yang teramat sekarang, stadia erosi lanjut/tua.

KESIMPULAN

Daerah penelitian merupakan bekas gunung api purba yang fasies pusatnya terletak di dalam cekungan berbentuk tapal kuda, membentuk pegunungan intrusi basal propilit-argilik dan di dalamnya terdapat cebakan mineral logam Fe, Cu, Pb, dan Zn. Fasies proksimal berupa pegunungan basal propilit, tersusun oleh perlapisan aliran lava basal, yang sebagian membentuk struktur bantal. Konsep gunung api purba ini dapat digunakan untuk mengetahui keterkaitan potensi sumber daya mineral logam dengan fasies pusat gunung api tersebut.

Ucapan Terima Kasih—Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi, yang telah membantu dalam pembiayaan dan penyediaan fasilitas analisis laboratorium untuk pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Ketua Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, yang telah mengizinkan para staf pengajar dan mahasiswa untuk melakukan penelitian bersama.

Acuan

- Akmaluddin, D.L., Setijadji, Watanabe K., dan Itaya T., 2005. New interpretation on magmatic belts evolution during the Neogene-Quaternary periods as revealed from newly collected K-Ar ages from Central - East Java – Indonesia. *Joint Convention. IAGI-HAGI-PERHAPI*, Nov. 28-30, 2005, Surabaya.
- Bronto, S., 2001. Volcanic debris avalanches in Indonesia, *Proceedings, The 3rd Asian Symposium on Engineering Geology and the Environment (ASEGE)*, Yogyakarta, September 3-6, 2001, h 449-462.
- Bronto, S., 2003. Gunung Api Tersier Jawa Barat: Identifikasi dan Implikasinya. *Majalah Geologi Indonesia*, 18 (2), h. 111-135.
- Bronto, S., 2006. Fasies Gunung Api dan aplikasinya. *Jurnal Geologi Indonesia*, 2 (1), h. 59-71.
- Bronto, S., Budiadi Ev., dan Hartono H.G., 2004. Permasalahan Geologi Gunung Api di Indonesia. *Majalah Geologi Indonesia*, 19 (2), h. 91-105.
- Bronto, S. dan Hartono U., 2003. Strategi Penelitian Emas Berdasar Konsep Pusat Gunung Api. *Proceedings Kolum ESDM 2002*, h. 172-189.
- Corbett, G.J. dan Leach T.M., 1996. *Southwest Pacific Rim Gold/Copper System: Structure, Alteration and Mineralization*. A workshop presented for the Society Exploration Geochemist, Townsville, 185 h.
- Desaunettes, J.R., 1977. *Catalogue of landforms for Indonesia; examples of a physiographic approach to land evaluation for agriculture development*. Prepared for the Land Capability Appraisal Project at the Soil Research Institute, Bogor, Indonesia, h.48, 68-69,97-99.
- Easton, R.M. dan Johns, G.W., 1986. Chapter 1 – Volcanology and Mineral Exploration: The Application of Physical Volcanology and Facies Studies. In: Wood, J. and Wallace, H., (Eds.), *Volcanology and Mineral Deposits*, Ontario Geological Survey, Ministry of Northern Development and Mines, Ontario, Miscellaneous Paper 129, h.183.
- Gifkins, C., Hermann, W., dan Large, R., 2005. *Altered volcanic rocks; A guide to description and interpretation*, University of Tasmania, Centre for Ore Deposit Research, Australia, 3h.
- Hedenquist, J.W., Izawa, E., Arribas, A., Jr., dan White, N.C., 1996. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration. *Resource Geology, Special Publication*.
- Samodra, H., Gafoer, S., dan Tjokrosapetro, S., 1992. *Geologi Lembar Pacitan, Jawa, Skala 1:100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sekiguchi, T., Haraguchi, K., dan Iwahashi, J., 1997. Topographical Configuration Resulting from the 1888 Eruption of Bandai Volcano. In: *Bandai Volcano. Recent Progress on Hazard Prevention*, Research Group for the Origin of Debris Avalanche, Science and Technology Agency, Japan, h.155-166.
- Setijadji, L.D., Kajino, S., Imai, A., dan Watanabe, K., 2006. Cenozoic Island Arc Magmatism in Java Island (Sunda Arc, Indonesia): Clues on Relationships between Geodynamics of Volcanic Centers and Ore Mineralization. *Resource Geology*, 56 (3), h.267-292.
- Soeria-Atmadja, R., Maury R.C., Bellon H., Pringgoprawiro H., dan Priadi B., 1994. Tertiary magmatic belts in Java. *Journal of SE Asian Earth Science*, 9, h. 13-12.
- Van Bemmelen, R. W., 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes, Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands, 732.h.
- Voight, B., Glicken, H., Janda, R.J., dan Douglass, P.M., 1981. Catastrophic rockslide avalanche of May 18, 1980. In: Lipman P.W. and Mullineaux D.R. (Eds.), *The eruption of Mount. St. Helens, Washington*, U.S. Geological Survey Paper, 98, h.347-377.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis*. 1st publ., Unwin Hyman, London, 485h.