

AKTIVITAS VULKANISME EKSPLOSIF PENGHASIL FORMASI SEMILIR BAGIAN BAWAH DI DAERAH JETIS IMOIRI

S. Mulyaningsih¹, Y.T. Husadani², P.A. Umboro³, S. Sanyoto⁴, dan D.I. Purnamawati⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Geologi Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 3 April 2011, revisi masuk : 2 Desember 2010, diterima: 24 Januari 2011

ABSTRACT

The widely exposed of volcanic rocks within western part of Central Java-DIY Southern Mountain areas, indicates that volcanic activities had influenced geology of this area. Volcanic-stratigraphic study finds pumiceous rocks, tuff and co-ignimbrite breccias that can be described as primary volcanic rocks at study areas. Those volcanic rocks were erupted explosively followed by collapsing strato cone and forming new caldera. The associate of volcanic rocks with co-ignimbrite breccias, indicates that the central eruption was not far from the outcrops. Shallow intrusive rocks of andesites bearing hornblendes that exposed at the highest cone shape geomorphology of Gunung Gede, south to southwest Sudimoro, might be as the central eruptions.

Keywords: *stratigraphy, pumice rocks, volcanism, explosive.*

INTISARI

Kemunculan batuan gunung api secara melimpah di bagian barat Pegunungan Selatan Jawa Tengah-DIY mengindikasikan bahwa aktivitas vulkanisme telah berlangsung di daerah ini. Studi stratigrafi batuan gunung api di daerah penelitian menjumpai singkapan breksi pumis, tuf dan breksi koignimbrit yang dapat diperikan sebagai batuan vulkanik primer. Batuan vulkanik tersebut dirupsikan secara eksplosif disertai dengan penghancuran tubuh kerucutnya, hingga membentuk kaldera baru. Asosiasi batuan vulkanik tersebut dengan breksi koignimbrit, mengindikasikan bahwa pusat erupsinya tidak terlalu jauh dari lokasi singkapan. Intrusi batuan beku dangkal, berupa andesit horenbende yang tersingkap di Gunung Gede pada morfologi dengan bentuk kerucut tertinggi, yang terletak di sebelah selatan-baratdaya Sudimoro, mungkin sebagai pusat erupsi batuan gunung api tersebut.

Kata kunci: *startigrafi, breksi pumis, vulkanisme, eksplosif*

PENDAHULUAN

Gempabumi DIY-Jateng yang berlangsung pada tanggal 27 Mei 2006 lalu, telah menyingkapkan data geologi di permukaan yang signifikan. Gempabumi telah menimbulkan banyak berbagai kejadian gerakan massa, seperti longoran, jatuhnya batuan dan rayapan, dan telah mengelupaskan beberapa geomorfologi Pegunungan Selatan bagian barat, di wilayah provinsi Daerah Istimewa Jogjakarta (Kabupaten Bantul dan Sleman). Batuan penyusun tersebut sebelumnya tertutup oleh vegetasi dan budaya; kini, sangat baik tersingkap di permukaan. Di antara singkapan-singkapan batuan tersebut adalah batuan gunung api berumur Tersier, yang terdiri atas perselingan

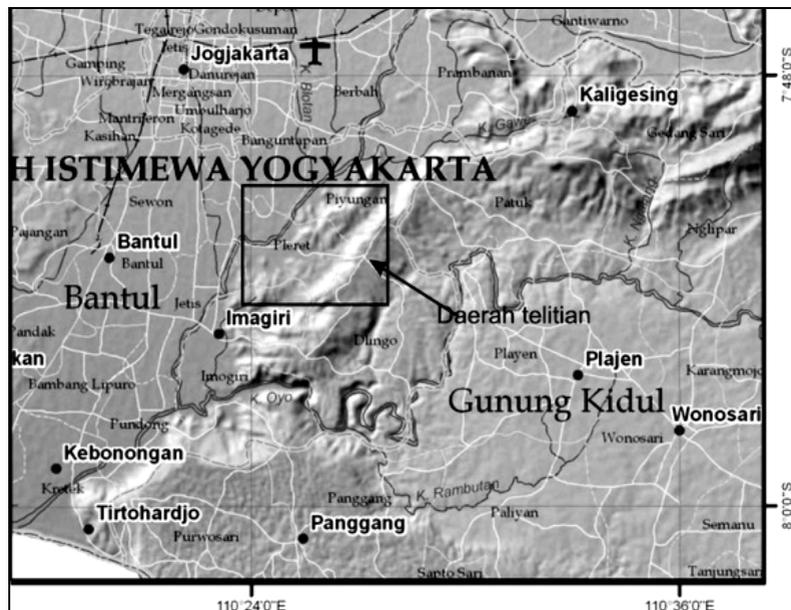
breksi pumis dan tuf kasar, breksi dan lava basal andesitis, lava basal berstruktur bantal dan beberapa batuan beku intrusi dangkal. Secara fisik, singkapan-singkapan batuan tersebut lebih menyerupai anggota Formasi Kebo-Butak dari pada Formasi Semilir. Namun, mengacu pada peta geologi lembar Yogyakarta (Rahardjo dkk., 1977), kelompok batuan gunung api tersebut dimasukkan ke dalam kelompok Formasi Semilir.

Pada awalnya, karena minimnya data geologi di permukaan dan masih lemahnya pemahaman terhadap batuan gunung api, banyak ahli geologi berbeda pendapat terhadap genesis batuan yang menyusun Pegunungan Selatan tersebut. Kebanyakan ahli menganggap bahwa

¹sri_m@akprind.ac.id

perselingan breksi pumis dan tuf adalah batuan sedimen yang diendapkan oleh arus turbid dalam lingkungan laut dalam. Para ahli geotektonik, struktur geologi dan geomorfologi beranggapan bahwa, geomorfologi gawir dengan litologi penyusun batuan gunung api di sepanjang Pegunungan Selatan tersebut, terbentuk oleh proses pengangkatan (*uplifting*), yang mengangkat dasar laut dalam menjadi pegunungan, yang berlangsung pada Plio-Pleistosen.

Penelitian ini dilakukan dengan didasarkan pada pemahaman stratigrafi, melalui konsep vulkanologi. Pemetaan geologi dengan didukung pengukuran data stratigrafi dan struktur geologi, serta pengamatan petrologi (mikro dan makro) telah dilakukan, dengan lokasi penelitian terletak di daerah Gunung Gede dan sekitarnya, Desa Trimulyo, Kec. Jetis dan Kec. Imogiri, Kab. Bantul, koordinat 110° 23-27' BT dan 7°54-55' LS diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta situasi dan lokasi daerah penelitian (sumber peta: Unosat, 2006).

METODE

Konsep geologi yang digunakan dalam menyusun makalah ini adalah *"the present is the key to the past"*, yang diajukan oleh James Hutton pada abad ke 18, melalui pemahaman tentang *"uniformitarianism"*nya. Konsep dasar ini diaplikasikan untuk merekonstruksi aktivitas dari gunung api pada masa lampau, dengan didasarkan pada aktivitas gunung api masa kini.

Ada beberapa tipe gunung api berdasarkan geomorfologi, material yang dihasilkannya, dan tatanan tektonik yang membentuknya dan tipe aktivitasnya. Salah satunya adalah tipe gunung api yang terbentuk oleh aktivitas magmatisme pada busur magmatik (*vulkanik*). Tipe gunung api ini menghasilkan bentukan

geomorfologi kerucut dengan tipe strato (komposit) dan aktivitasnya berlangsung secara berulang-ulang (*poligenetik*). Aktivasinya tersebut kadang-kadang secara efusif dan pada waktu yang lain secara eksplosif. Itulah sebabnya, setiap aktivitasnya dapat menghasilkan material yang berbentuk fragmental, lava koheren dan intrusi dangkal. Ke semua material gunung api hasil erupsinya tersebut menyusun tubuhnya hingga berbentuk kerucut.

Erupsi eksplosif dapat berlangsung dengan intensitas yang besar hingga sangat besar, yang diikuti dengan penghancuran tubuh kerucutnya, dan dapat pula berintensitas lebih kecil yang hanya menghancurkan sebagian tubuh kerucutnya. Untuk mengenali tipe erupsi-

nya, dapat diketahui dari sifat fisik dan kimia materialnya. Erupsi gunung api yang bersifat sangat eksplosif memfragmentasi materialnya dengan tingkat fragmentasi yang sangat tinggi, menghasilkan pumis dan tuf. Umumnya, tipe magmatiknya adalah asam, yaitu dasitik hingga riolitik dengan kandungan silika $\geq 55\%$. Sebaliknya, erupsi yang bersifat efusif memiliki tipe magma lebih basa, yaitu *basaltik-andesitik* dengan kandungan silika $\leq 55\%$.

Litologi yang menyusun daerah penelitian adalah material klastika gunung api, berupa breksi pumis dan tuf (*Formasi Semilir*) dan breksi dan lava andesit dan basalt (*Formasi Nglanggeran*). Keberadaan batuan dari gunung api ini dan tersebut di beberapa tempat sering berasosiasi dengan batuan karbonat, berupa napal, batupasir gampingan dan batu-gamping (Husadani, 2008; Irawan, 2008). Itulah sebabnya, para ahli geologi terdahulu menentukan batuan gunung api tersebut sebagai material turbidit laut dalam (seperti Suyoto, 1997; dan Nugraheni, 1998).

Menurut Surono (1989), Surono dkk. (1992), Rahardjo dkk. (1977/1995) dan Suyoto (1992), dalam penelitiannya menentukan hubungan stratigrafi antara formasi Semilir dan Formasi Nglanggeran adalah menjari. Di atas ke dua formasi tersebut baru ditentukan secara tegas selaras dengan batuan karbonat Formasi Sambipitu. Secara tidak selaras di atas Formasi Sambipitu adalah Formasi Oyo, yang tersusun atas napal, tuf gampingan dan batugamping klastik. Kemudian semua ahli sepakat bahwa, di atas Formasi Oyo adalah Formasi Wonosari yang menandai berubahnya lingkungan laut dalam menjadi lingkungan laut dangkal dengan mengendapkan batugamping terumbu hingga Plistosen. Tabel 1 adalah hubungan stratigrafi regional masing-masing formasi batuan tersebut terhadap daerah penelitian menurut beberapa peneliti terdahulu.

Secara konseptual, dengan didasarkan pada pemahaman kegunungapian, fasa konstruksi dan fasa destruksi gunung api dapat saja berlangsung secara berulang. Pada masa kini, kondisi tersebut dapat dijumpai di Gunung Krakatau

(Sutawijaya, 2006) dan Gunung Batur (Sutawijaya, 1990), yang berlangsung sejak Pleistosen sampai sekarang. Secara stratigrafi, litologi Gunung Krakatau.

Pada fasies proksimal dan sentral, yang tersingkap di sisi depan *hogback* Gunung Rakata tersusun atas material ignimbrit fragmental kasar, fragmental sedang sampai halus yang juga berasosiasi dengan lava yang bersifat koheren (Sutawijaya, 2006) begitu pula yang dijumpai di Gunung Batur, yaitu sekitar Danau Kintamani (Sutawidjaja, 1990). Jadi, pada fasa konstruksi, aktivitas dari gunung api semacam Gunung Krakatau, menghasilkan lava koheren dan breksi yang bersusunan basalt andesit, namun pada fasa destruksi aktivitasnya menghasilkan fragmental ignimbrit.

Menurut Cas & Wright (1987), material ignimbrit yang dihasilkan oleh erupsi eksplosif gunung api, dapat tersusun atas batuan hasil penghancuran tubuh kerucutnya (*accidental*), material magmatik (juvenil) dan batuan dasar (asesoris). Lebih jauh lagi, Cas & Wright (1987) membaginya ke dalam dua kelompok, berdasarkan komposisinya, yaitu ignimbrit (rempah gunung api) dan koignimbrit dari (material penyerta ignimbrit). Material koignimbrit tersusun atas fragmen batuan magmatik, asesoris dan *accidental*, yang dihasilkan dari erupsi eksplosif yang bersifat destruktif, sedangkan material gunung api asal magmatik, seperti perselingan lava dan breksi (umumnya dengan fragmen andesit) berasal dari erupsi gunungapi yang bersifat konstruktif. Kedua material gunung api tersebut dapat hadir bersama-sama menyusun stratigrafi kompleks gunung api secara berselingan dari yang bertipe konstruktif ke tipe destruktif (letusan kaldera). Tipe konstruktif biasanya mengawali pembangunan kerucutnya. Saat tubuh kerucutnya telah sempurna, pipa kepundan dapat saja tertutup oleh hasil pembekuan magma yang tidak mampu mengalir hingga ke permukaan. Akibatnya, tubuh magma tertahan dalam dapur magma, hingga terjadi perlapisan magma. Magma yang berdensitas tinggi berada pada lapisan paling bawah, magma yang lebih asam di atasnya dan

lapisan paling atas berupa busa magma dengan kandungan gas yang sangat tinggi (Gambar 2). Tekanan gas yang sangat tinggi, serta suplai magma yang terus-menerus, menyebabkan dinding dapur magma mengalami inflasi (pembengkakan). Saat inflasi magma tidak mampu ditahan lagi oleh dinding dapur magma, terjadilah ledakan sehingga tubuh kerucut gunung api ikut hancur. Ledakan akibat erupsi gunung api tersebut yang disebut dengan fasa destruktif gunung api.

Secara umum, mekanisme pengendapan material klastika (*fragmental*) hasil erupsi gunung api dapat terjadi secara aliran, hembusan dan jatuhan. Secara deskriptif petrologi dan sedimentologi, batuan gunung api dapat berupa batuan beku, breksi, konglomerat, batupasir dan batulanau-batulempung.

Namun karena komposisi dan mekanisme dari pembentukannya tidak mengikuti kaidah sedimentologi, maka pemerriannya harus dilakukan secara deskriptif mengikuti kaidah vulkanologi. Penamaan berdasarkan deskripsi vulkanologi yaitu batuan beku intrusi/lava, breksi, aglomerat, batulapili dan tuf; tergantung dari komponen penyusunnya, yaitu dengan fragmen blok (breksi), fragmen bom (aglomerat), fragmen lapili (batulapili: pumis atau skoria) dan tuf (abu gunung api yang terbatukan). Sedangkan secara genesis, yaitu intrusi, lava, ignimbrit atau piroklastika (aliran, serukan dan jatuhan) dan aglomerat. Dengan demikian, nama batuan pun berupa lava andesit, breksi pumis, breksi ko-ignimbrit, aglomerat, tuf dan lain-lain.

Secara umum, material fragmental gunung api diendapkan dengan media gas bersuhu tinggi, yang kadang-kadang miskin partikel, sehingga sering berstruktur massif, gradasi, *antidune* dan *ripple – convolute*, dan berlapis. Tekstur pengendapan batuan gunung api dicirikan oleh sortasi buruk (aliran piroklastika berdensitas) hingga baik (piroklastika jatuhan), kemas terbuka hingga tertutup, bentuk butir sangat menyudut (blok) hingga sangat membulat (bom), dan berdiameter butir dari mikrometer hingga beberapa meter. Komposisi batuan gunung api dapat sangat bervariasi mem-

bentuk batuan polimik (aneka bahan), yang terdiri atas batuan magmatik, asesoris dan *accidental*. Makin jauh dari sumber erupsinya, makin sedikit kandungan fragmen batuan asesoris dan *accidental*, komposisinya berupa pumis dan/tuf murni. Susunan stratigrafi batuan gunung api fasa destruktif didominasi oleh material hasil erupsi eksplosif piroklistikal, yang secara lateral berupa *co-ignimbrite breccia* sebagai endapan jatuhan tipe plini; *ignimbrite flow units* (sebagai endapan *ground surge*); *very pumice rich distal flow units* sebagai endapan abu cendawan; dan *laterally very extensive co-ignimbrite ash fall deposits* dari endapan abu halus fasies distal dari erupsi tipe Plini diperlihatkan pada Gambar 5. Bentang alam breksi pumis dan tuf di gunung Plencing (G. Gede) dan tuf di daerah Sindet (Kec. Jetis). Breksi ko-ignimbrit tersusun atas endapan kaya litik yang berukuran kasar, dan dibentuk oleh runtuhnya kolom erupsi (Gambar 2). Material fragmental tersebut biasanya berkembang secara menerus di dekat runtuhannya kolom erupsi, dan penyusun utamanya adalah piroklastika yang terlalu berat dan terlalu besar untuk dapat ditransportasikan oleh kolom erupsi; disebut "lag fall" karena merupakan akumulasi fragmen litik yang tertinggal oleh aliran pumis dari kolom erupsi tersebut.

Sebagian besar peneliti terdahulu (Bothe, 1929; van Bemmelen, 1949; Sumarso & Ismoyowati, 1975; Surono, 1992; dan Samodra, 1997) menyebutkan bahwa urutan batuan di Pegunungan Selatan Jawa Timur dari tua ke muda adalah batuan metamorf (PraTersier); batugamping, batulempung dan napal Formasi Gamping-Wungkal (Eosen); perselingan batupasir dan lava basalt Formasi Kebo-Butak (Oligosen); tuf dan breksi pumis Formasi Semilir (Miosen Awal-Atas); breksi andesit, aglomerat dan lava andesit Formasi Nglanggeran (Miosen Tengah-Atas); breksi, batupasir dan konglomerat

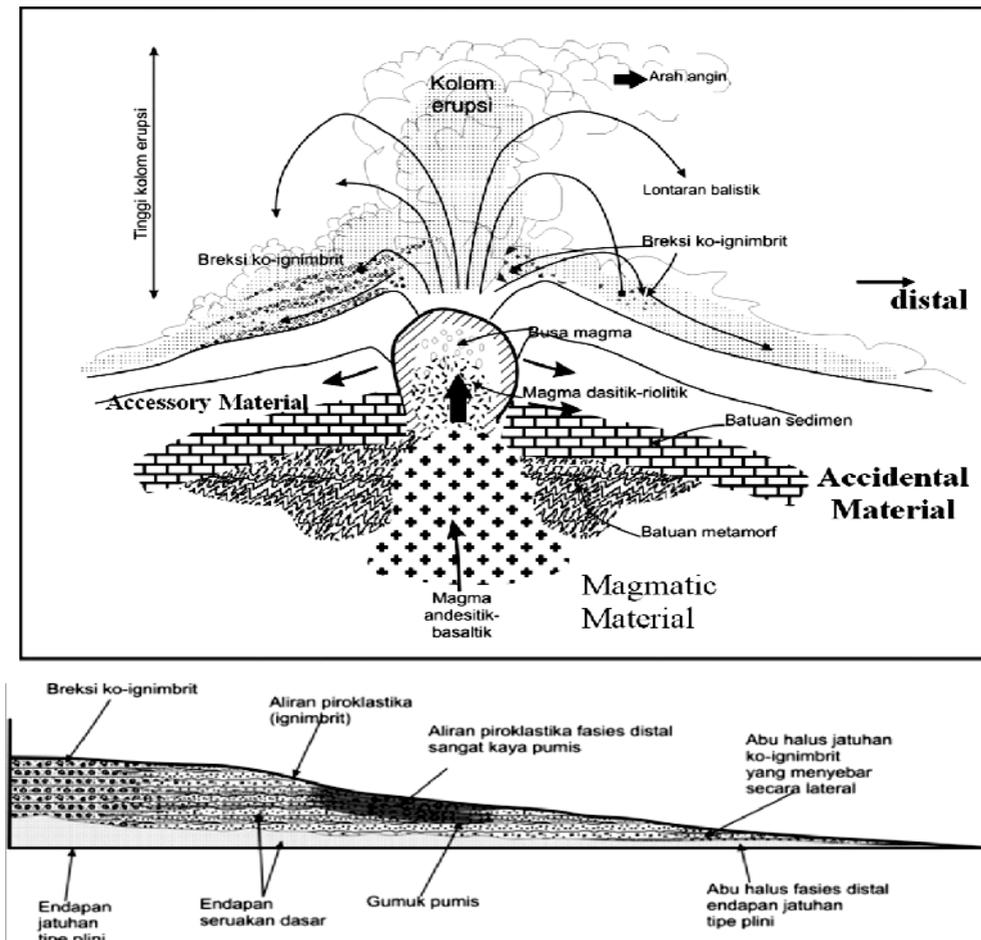
Formasi Sambipitu (Miosen Tengah-Atas); tuf dan napal Formasi Oyo (Miosen Atas-Pliosen) dan batugamping Formasi Wonosari (Miosen Tengah-Pliosen), seperti pada Tabel 1.

Formasi Semilir menindih secara selaras di atas Formasi Kebo-Butak (Rahardjo dkk., 1997), namun secara lokal tidak selaras (van Bemmelen, 1949, dan menjari dengan Formasi Nglanggeran dan Sambipitu (Surono dkk., 1992). Pada umumnya Formasi Semilir tidak bersifat karbonatan dan miskin fosil. Menurut Surono dkk. (1992), Formasi Semilir terdiri atas Semilir bawah (breksi pumis) dan Semilir atas (tuf halus).

Komposisi tuf dan pumis Formasi Semilir bervariasi dari andesit hingga dasit, dengan total ketebalan lebih dari 460 m (Surono dkk., 1992). Berdasarkan penemuan fosil foraminifera kecil di dalamnya, Sumarso dan Ismoyowati (1975) menentukan umur Formasi Semilir awal Miosen Bawah sampai awal Miosen Tengah (N5-N9), dengan lingkungan peng-

endapan laut dangkal di bagian bawah sampai tengah dan laut dalam di bagian atas. Sebaran lateral Formasi Semilir ini sangat luas dan memanjang dari ujung barat Pegunungan Selatan, yaitu dari Pleret-Imogiri Kab. Bantul, Pegunungan Baturagung, dan ke arah timur hingga Gunung Panggung dan Gajahmungkur di Kab. Wonogiri (Surono, dkk., 1992; Rahardjo dkk., 1995; dan Suyoto, 2007).

Dengan melimpahnya tuf dan batuapung pada Formasi Semilir, secara vulkanologi Bronto dkk. (2009) menentukan batuan ini di Parangjoho (Wonogiri) dihasilkan oleh letusan gunung api yang sangat eksplosif, yang menurut Cas dan Wright (1987), dapat berasosiasi dengan pembentukan kaldera.



Gambar 2. Model erupsi eksplosif gunung api (atas) yang menghasilkan material fragmental dengan penyebaran dari fasies proksimal breksi koignimbrit, fasies medial endapan piroklastika kaya pumis dan fasies distal abu gunung api fraksi halus (bawah).

Tabel 1. Kompilasi data stratigrafi daerah pegunungan selatan menurut Bothe (1929), Van Bemmelen (1949), Sumarso dan Ismoyowati (1975), Surono (1992), Samodro (1997) dan Suyoto (2007).

		BOTHE (1929)	VAN BEMMELEN (1949)	Sumarso-Tuti Ismoyowati (1975)	SURONO (1989)	SAMODRO (1990)	SUYOTO (1992)	
Pliocene	Q			Young Volcanics and Alluviums		Kalipucung	F. Kepek	
	Tgh							
	LATE	Kepek		Wonosari	Wonosari Beds	Kepek	Wonosari	F. Wonosari
		Wonosari		Sambipitu Beds	Wonosari	Oyo	Oyo	
		Oyo		Nglanggran Beds	Oyo	Nampol	Nampol	
	MIDDLE	Wonosari		Samilir Beds	Samilir Beds		Wuni	F. Oyo
		Oyo		Kebo-Butak Beds	Kebo Butak	Arjosari	Arjosari	
		Sambipitu			Sambipitu			
	EARLY	Nglanggran					Mandalika	F. Nglanggran
		Semilir						
Kebo Butak								
MIOCENE	Tcd						F. Semilir	
	Tcb							
	Gamping Wungkal							
	Wungkal Beds							
EOCENE							F. Kebo-Butak	

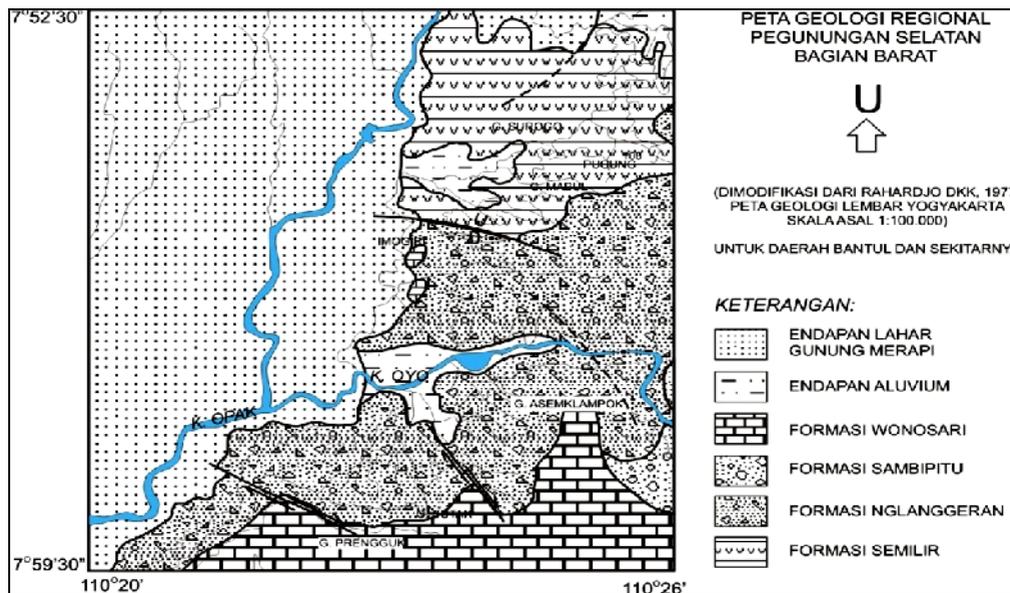
Di atas formasi Semilir adalah formasi Nglanggran; yang tersusun atas breksi, aglomerat dan lava andesit basalt-andesit, berstruktur masif. Batuan ini tersebar luas dan memanjang dari Parangtritis di sebelah barat hingga G. Panggung di sebelah timur (Surono, dkk., 1992; Rahardjo dkk., 1995; dan Suyoto, 2007). Secara stratigrafi, formasi pada Nglanggran menjemari dengan formasi Semilir dan Sambipitu (Rahardjo dkk., 1995). Meskipun jarang, di beberapa tempat sering dijumpai fragmen koral dalam breksi. Secara lokal dan tidak menerus, breksi ini bersisipan dengan tuf kasar dan tuf halus berwarna coklat susu yang dijumpai berlapis dengan lava. Formasi Nglanggran juga miskin fosil; kandungan fosil foraminifera pada sisipan batupasir dan batulempung yang berbatasan dengan formasi Semilir (di bawahnya) diketahui berumur N5-N9 atau Miosen awal sampai Miosen tengah bagian bawah (Husadani, 2008). Analisis umur K/Ar pada batuan beku di Parangtritis memberikan umur $26,55 \pm 1,07$ jtl (retas) dan $26,40 \pm 0,83$ jtl (retas) atau Oligosen Akhir (Soeria-Atmadja dkk., 1994); serta lava di kali Ngalang berumur $58,58 \pm 3,24$ jtl atau Paleosen akhir (Hartono, 2000).

Di atas formasi Nglanggran adalah Formasi Sambipitu. Sebaran lateral formasi Sambipitu sejajar di sebelah selatan formasi Nglanggran, di kaki selatan gunung Baturagung, yang menyempit dan menghilang di sebelah timur. Ketebalan formasi Sambipitu mencapai 230 m di utara Nglipar dan menipis ke timur (Surono dkk., 1992). litologi penyusunnya di bagian bawah adalah batupasir kasar yang makin ke atas berangsur akan menghalus berselingan dengan serpih, lanau dan batulempung; di bagian bawah tidak karbonatan dan makin ke atas bersifat karbonatan. Formasi Sambipitu berkedudukan menjari di atas formasi Nglanggran. Secara lokal dalam formasi Sambipitu terdapat lensa-lensa breksi andesit, batulempung dan fragmen karbon. Struktur dari sedimen berupa perlapisan sangat baik dengan tebal bervariasi dari 5-30 cm. Struktur sedimen perlapisan bersusun, ukuran butir lempung sampai pasir, diendapkan dalam arus laminer dan gelembur gelombang dengan fosil jejak ditemukan di bagian atas. Kandungan dari fosil foraminifera kecil, formasi Sambipitu berumur Miosen bawah sampai awal Miosen tengah (N7-N9); dan dari fosil

bentos diketahui adanya percampuran antara endapan laut dangkal dan laut dalam. Sisipan batupasir tuf dan bahan karbonatan dalam Formasi Sambipitu, menunjukkan kemungkinan telah terjadi fase penurunan kegiatan gunung api.

Struktur geologi di Pegunungan Selatan berupa lipatan dan sesar. Lipatan terdiri atas antiklin dan sinklin dengan arah umum timurlaut-baratdaya dan

beberapa baratlaut-tenggara, dan berasosiasi dengan sesar naik diperlihatkan pada Gambar 3. Sesar yang berkembang umumnya berupa sesar turun dengan arah utama timur-laut-baratdaya dan baratlaut-tenggara, dan sesar mendatar, yang membentuk morfologi melingkar (tapal kuda; Rahardjo dkk., 1977).



Gambar 3. Peta geologi daerah Siluk-Imogiri-Pleret mengacu pada peta geologi regional lembar Jogjakarta (Rahardjo dkk., 1977).

PEMBAHASAN

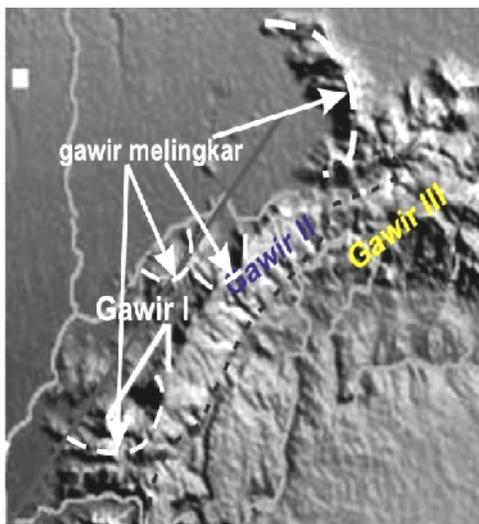
Hasil pengamatan geomorfologi dari citra SRTM, menjumpai morfologi dengan tiga gawir terpisah yang letaknya satu sama lain berundak. Gawir-gawir tersebut memanjang berarah baratdaya-timurlaut sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4. Maka para ahli geologi secara informal sering menyebutnya sebagai *step fault* (sesar berundak). Sedangkan dari pengamatan dari pola pengaliran menunjukkan bahwa pada gawir-gawir tersebut terlihat terpisah satu sama lain. Di sebelah barat gawir paling bawah terlihat gundukan bukit-bukit kecil terisolir yang terlihat lebih muda dari gawir yang melingkupinya diperlihatkan Gambar 4.

Gawir berundak ini memanjang yang berarah baratdaya-timurlaut tersebut dari barat ke timur adalah gawir Sindet-Bawuran (paling barat dan paling ba-

wah), gawir Cegokan-Senthong (tengah) dan gawir Semilir-Nglangeran (paling timur dan paling atas) (Gambar 4). Rahardjo dkk. (1977) mendeskripsi bahwa gawir-gawir tersebut sebagai sesar-sesar mendatar berarah barat daya-timurlaut untuk (di bagian selatan), sesar mendatar barat-timur (tengah) dan sesar normal berarah barat-timur sampai barat laut-tenggara (di bagian utara). Gambar 3. Melalui analisis geologi struktur secara menyeluruh dengan didukung oleh data geologi bawah permukaan dan stratigrafi, dapat diinterpretasi secara lebih detail ketiga gawir tersebut.

Daerah penelitian terletak pada morfologi gawir Sindet-Bawuran. Dari pengamatan citra SRTM, juga dapat diinterpretasi adanya 4 bentukan gawir melingkar dan setengah melingkar yang membuka ke arah baratdaya hingga ba-

rat-baratlaut. Didasarkan atas morfologinya yang lebih cenderung berbentuk lingkaran tersebut, dapat diinterpretasi bahwa pembangunannya lebih mengindikasikan tidak berhubungan dengan tektonik aktif yang dapat mengangkat Pegunungan Selatan pada Plio-Pleistosen. Sebab Pembentukan geomorfologi setengah lingkaran (tapal kuda) akibat adanya aktivitas vulkanisme pada masa lampau. Sedangkan kemunculannya di darat, serta gawir memanjang berarah baratdaya-timurlaut dapat diinterpretasikan dapat terbentuk akibat pengangkatan Pegunungan Selatan yang berlangsung secara bertahap. Menginterpretasi pengangkatan tersebut berlangsung sejak Miosen akhir hingga Pleistosen, bahkan hingga saat ini. Hal itu ditunjukkan oleh masih sering dijumpai gempa bumi bersekala besar sebagaimana yang terjadi pada 27 Mei 2006 yang lalu. Kerusakan terbesar dari gempa bumi tersebut terletak di kecamatan Jetis, Imogiri dan Pleret .



Gambar 4. Hasil analisis citra srtm di daerah pegunungan selatan bagian barat Parangtritis-Prambanan menjumpai tiga gawir terpisah dan empat gawir bentukan melingkar yang diinterpretasi sebagai pusat erupsi gunung api masa lalu

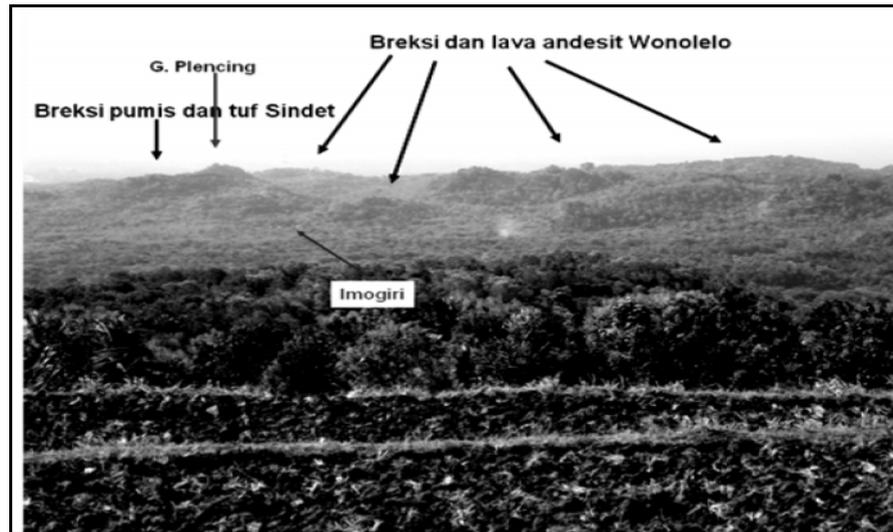
Hasil pengamatan di lapangan juga menjumpai bahwa, gawir terbawah berbentuk tapal kuda tersebut terlihat terpisah dari morfologi di sebelah timur-

nya diperlihatkan pada Gambar 5. Hal itu menjadi dasar bahwa bagian dalam dari gawir tersebut sebagai pusat erupsi dari beberapa fasa aktivitas gunung api pada masa lampau. Hal itu juga didukung oleh susunan litologinya, yang didominasi oleh material gunung api. Bahkan di daerah Sindet dan Gunung Gede, menjumpai litologi asal gunung api berupa batuan beku intrusi dangkal dan breksi koignimbrit. Sedang di daerah Pucung ke utara hingga pada Segoroyoso dijumpai beberapa runtunan material gunung api berupa lava basal, lava andesit, breksi piroklastika (dengan fragmen andesit dan basal) dan tuf/pumis. Secara umum, litologi ini yang menyusun daerah penelitian adalah perlapisan breksi pumis dan tuf yang sifatnya non gampingan. Batuan tersebut dijumpai di daerah Sindet-Jetis, Sentong-Pagergunung dan Banyakan-Bawuran.

Ketebalan dari kelompok batuan tersebut bervariasi; di beberapa lokasi dapat mencapai beberapa ratus meter seperti yang tersingkap di Tlukan dan Bawuran, dan di beberapa daerah yang lain hanya belasan meter, seperti di Dengkeng dan Sentong. Batuan tersebut menumpang secara selaras di atas perlapisan batupasir dan batulempung yang sebagian bersifat gampingan. Gambar 6. Namun, di beberapa lokasi yang lain, seperti di daerah Pagergunung, batuan tersebut juga menumpang secara selaras di atas breksi basal dan perlapisan lava basal dan batupasir hitam-kecoklatan.

Kebanyakan peneliti terdahulu memasukkan litologi ini yang menyusun daerah penelitian ke dalam formasi Semilir bagian bawah (Surono dkk., 1992 dan Rahardjo dkk,1977). Secara fisik, ada yang membedakan antara penyusun bagian bawah Formasi Semilir dengan bagian atasnya. Batuan penyusun formasi Semilir bagian atas tersingkap di bagian timur daerah penelitian. Menjumpai bagian atas Formasi Semilir tersebut lebih dicirikan oleh komposisinya yang relatif dasitik dan berwarna lebih terang (abu-abu agak kekuningan). Sedangkan litologi yang menyusun daerah-daerah penelitian berkomposisi basaltik-andesitik.

dengan warna abu-abu gelap agak kehijauan.



Gambar 5. Bentang alam breksi pumis dan tuf di gunung Plencing (G. Gede) dan tuf di daerah Sindet (Kec. Jetis) dan posisi breksi dan lava andesit di daerah Wonolelo (Kec. Pleret) dilihat dari arah selatan (utara Goa Cerme Kec. Imogiri)

Bawuran, dan di beberapa daerah yang lain hanya belasan meter, seperti di Dengkeng dan Sentong. Batuan tersebut menumpang secara selaras di atas perlapisan batupasir dan batulempung yang sebagian bersifat gampingan lihat seperti pada Gambar 6. Namun, di beberapa lokasi yang lain, seperti di daerah Pagergunung, batuan tersebut juga menumpang secara selaras di atas breksi basal dan perlapisan lava basal dan batupasir hitam-kecoklatan.

Kebanyakan peneliti terdahulu memasukkan litologi yang menyusun daerah penelitian ke dalam Formasi Semilir bagian bawah (Surono dkk., 1992 dan Rahardjo dkk., 1977). Secara fisik dapat dilihat ada yang membedakan antara penyusun bagian bawah Formasi Semilir dengan bagian atasnya. Batuan penyusun Formasi Semilir bagian atas tersingkap di bagian timur daerah penelitian. Menjumpai bagian atas Formasi Semilir tersebut lebih dicirikan oleh komposisi-sinya yang relatif dasitik dan berwarna lebih terang (abu-abu agak kekuningan). Sedangkan litologi yang menyusun daerah-daerah penelitian berkomporsi basa-tik-andesitik dengan warna abu-abu gelap agak kehijauan.

Detail dari litologi yang menyusun daerah penelitian dapat dibagi ke

dalam 3 zona berdasarkan ciri fisiknya, yaitu zona pusat (selatan), zona tengah-timur dan zona utara-timurlaut. Zona pusat (selatan) meliputi daerah Pucung, Plencing dan Gunung Gede. Zona tengah-timur meliputi daerah Segoroyoso-Dengkeng. Zona utara-timurlaut meliputi daerah Sindet-Trimulyo ke arah timur hingga Karangduwet-Dahromo.

Di bagian pusat (selatan), yaitu di daerah Plencing, dijumpai singkapan breksi vulkanik setebal lebih dari 5m. Batuan tersebut dicirikan oleh struktur massif, sortasi jelek sampai sedang, kemas terbuka dan yang mengandung fragmen blok berdiameter 50-450cm dan pumis padat berdiameter 20-60cm, serta beberapa fragmen basaltik berwarna abu-abu kehijauan pada Gambar 7.

Karena dalam breksi tersebut mengandung berbagai jenis fragmen, maka secara deskriptif dapat ditentukan sebagai breksi polimik. Namun, karena secara keseluruhan batuan tersebut secara genetis berasal aktivitas vulkanisme, maka disebut breksi koignimbrit. Breksi koignimbrit tersebut makin ke utara semakin menghilang dan beberapa fragmen lapilli andesit berbentuk butir menyudut masih dijumpai dalam breksi pumis di daerah Tlukan (sekitar 3km ke arah timurlaut dari Plencing).



Gambar 6. Singkapan perselingan breksi pumis massif dan tuf berlapis yang bersifat nongampingan dan perlapisan batupasir dan batulempung, yang sebagian bersifat gampingan di daerah Dahromo.

Breksi koignimbrit ini tersingkap hingga sejauh 1-2km dari Plencing, maka hal ini dapat diinterpretasi bahwa batuan tersebut dihasilkan oleh aktivitas gunung api secara eksplosif dengan pusat erupsi yang tidak jauh dari daerah Plencing.

Sekitar 500m ke arah selatan dari singkapan breksi koignimbrit tersebut di Plencing, dijumpai Gunung Gede dengan morfologi tertinggi dan berbentuk kerucut. Litologi yang menyusun Gunung Gede adalah batuan beku intrusi dangkal andesit horenblande berwarna abu-abu terang agak kehijauan. Keberadaan Gunung Gede tersebut diinterpretasi sebagai leher vulkanik yang muncul setelah aktivitas eksplosif berlangsung.

Di bagian tengah dari daerah penelitian tersingkap batuan beku lava andesit dan basal berstruktur bantal di Dengkeng (400m ke utara dari Pucung). Kelompok batuan tersebut secara positional berada di atas kelompok batuan tuf dan breksi pumis. Namun, secara stratigrafi dengan pendekatan kegunung-apian, litologi tersebut diurupsikan lebih dahulu dari satuan tuf dan breksi pumis.

Hal itu didukung dengan adanya singkapan breksi pumis yang mengan-

ung fragmen pumis basaltik yang tersingkap di Dahromo-Tlukan.

Artinya, lava basaltik tersebut telah membentuk tubuh kerucut gunung api, ketika terjadi erupsi eksplosif, basalt ikut terlontarkan bersama-sama dengan material erupsi yang lain dan diendapkan sebagai breksi pumis di Dahromo dan sekitarnya.



Gambar 7. Singkapan breksi koignimbrit mengandung fragmen blok bongkah andesit dan pumis berdiameter besar, yang tersingkap di daerah Plencing, 1,5Km ke selatan Sindet.

Di daerah Sindet ke utara hingga Dahromo dan ke arah timur di Srumbung dan Dengkeng, tersingkap perlapisan breksi pumis dan tuf dengan fragmen lempung/abu yang pada waktu proses pengendapan breksi pumis belum mengalami pematangan.

Ketebalan singkapan breksi pumis ini mencapai lebih dari 15 m dengan lebar singkapan yang sangat luas lebih dari 25km². Breksi pumis dicirikan oleh warna abu-abu gelap, struktur dari berlapis, dune/antidune, slump, tekstur sortasi jelek, kemas terbuka, bentuk butir menyudut dan terkomposisi oleh fragmen pumis, litik dan gelas basalt, yang tertanam dalam matriks abu diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Singkapan pada breksi pumis dengan fragmen lempung abu-abu gelap dan pumis di Sindet-Trimulyo (Kec. Jetis).

Urut-urutan stratigrafi batuan gunung api di daerah Sindet dan sekitarnya, di daerah Plencing tersusun atas breksi koignimbrit yang diintrusi oleh batuan beku andesit horenlende di Gunung Gede. Ke arah utara, breksi koignimbrit secara gradual makin berubah menjadi breksi pumis yang berselingan dengan tuf. Tebal keseluruhan breksi koignimbrit ini adalah lebih dari 5m. Di perbatasan antara Dengkeng dan Plencing tersusun atas dari breksi koignimbrit yang secara gradual ke atas berubah menjadi breksi pumis dengan fragmen litik dan gelas basalt, dan beberapa fragmen batulempung. Batuan tersebut selanjutnya ditumpangi oleh lava basalt berstruktur bantal dan beberapa ditumpangi breksi andesit dengan sedikit fragmen koral.

Di daerah Sindet ini, dari bawah ke atas litologinya tersusun atas breksi pumis massif setebal lebih dari 8m, perselingan antara breksi pumis tebal 40-60cm dan tuf tebal 10-20cm, dan lamina-s slump tuf dengan fragmen arang serta beberapa lapisan dengan komposisi tuf yang bercampur dengan arang warna abu-abu bintik hitam sampai hitam tebal 10-20cm. Di atas perlapisan tersebut, ke arah barat ditumpangi oleh perselingan breksi dan lava andesit dengan tingkat oksidasi tinggi. Secara setempat, di dalam breksi andesit tersebut juga kadang-kadang diselengi dengan adanya breksi pumis sedimenter dengan bentuk fragmen agak membulat. Kontak antara satuan breksi pumis dengan batuan di atasnya, di daerah Pucung berupa bidang erosi dan bidang sesar, sedangkan di daerah Sindet berupa bidang kemenerusan. Di daerah Srumbung dan Dengkeng, di atas breksi pumis adalah perlapisan batupasir warna coklat, dengan hubungan gradasional. Di kedua daerah tersebut, kontak ini jelasnya juga dijumpai berupa sesar oblik. Di daerah Watu Kelir, breksi pumis dan batuan di atasnya berupa breksi andesit berhubungan gradual ini berupa perlapisan breksi dengan fragmen pumis dan kerikil (litik) yang makin ke atas pumisnya makin menghilang. Bentuk fragmen pumisnya agak membulat dan litiknya sangat meruncing. Di daerah Pucung, litologinya tersusun atas perselingan tuf dan breksi pumis berukuran butir lebih halus.

Jadi, bagian atas satuan tuf dan breksi pumis adalah batupasir hitam dan batulempung hitam tebal 40cm dan breksi andesit yang mengandung fragmen koral, yang tersingkap di daerah Pucung lihat Gambar 9, di sebelah baratdaya Sindet berupa perselingan tuf pumis dan breksi andesit, serta di Watukelir berupa gradasional tuf-pumis epiklastika dan batupasir coklat. Hasil analisis fosil foram yang terkandung dalam batulempung di Pucung diketahui berumur N 5-6 (Miosen Awal). Batuan tersebut membatasi dengan bagian di atasnya, yaitu runtunan satuan batuan vulkanik lava dan breksi andesit. Batuan karbonatan tersebut diinterpretasi meng-

akhiri runtunan batuan vulkanik hasil erupsi eksplosif di daerah penelitian, dan sebagai jeda waktu pengendapan dengan batuan fasa konstruksi gunung api di atasnya. Jadi, aktivitas gunung api eksplosif di daerah penelitian, yang menghasilkan tuf dan breksi pumis Formasi Semilir bagian bawah, berlangsung sebelum Miosen Awal. Sedangkan setelahnya dilanjutkan dengan adanya pembangunan gunung api menghasilkan runtunan breksi dan lava andesitis bagian dari Formasi Nglangeran.

Gambar 10 adalah hasil korelasi stratigrafi daerah penelitian dari zona pusat hingga zona terluar (bagian utara). Dari hasil korelasi pada stratigrafi dapat diketahui bahwa ada kemenerusan antara batuan breksi koignimbrit dan breksi pumis, yang makin ke utara dan makin ke timur makin berukuran halus. Di daerah Dengkeng, justru litologinya lebih didominasi oleh tuf epiklastika yang berselingan dengan breksi pumis dan tuf piroklastika. Hal itu mengindikasikan bahwa sumber erupsi berada di sekitar bagian baratdaya daerah penelitian. Jika dikompilasikan dengan bentukan morfologi tapal kuda, terlihat bahwa adanya batuan gunung api kaya pumis dan tuf di daerah penelitian, mengindikasikan pernah berlangsung aktivitas eksplosif gunung api di wilayah ini. Breksi koignimbrit dengan fragmen blok andesit berukuran maksimum 4,5m di Plencing, menunjukkan bahwa daerah ini sangat dekat dengan pusat erupsinya. Hal itu dengan alasan bahwa material dengan berat jenis dan berat massa yang besar tidak dapat terbawa oleh angin maupun lontaran balistik dalam jangkauan yang sangat jauh (puluhan kilometer). sebaran tuf/pumis lebih dominan mengarah ke baratlaut–utara.

Sedangkan material yang berukuran lebih halus, seperti pumis dan tuf dapat terbawa angin, sehingga dapat tertransport sangat jauh, dalam radius puluhan kilometer. Gunung Gede yang memiliki morfologi kerucut dengan relief tertinggi dengan litologi paling resisten diinterpretasi sebagai pusat kerucut gunung api pasca erupsi eksplosif. Gunung Gede yang dilingkupi oleh perkampungan Plencing yang secara umum membentuk morfologi tapal kuda telah meng-

hasilkan material aktivitas gunung api baru, berupa breksi andesit dan lava yang selanjutnya diikuti pula dengan pembentukan pipa-pipa kepundan baru yang lain, seperti di selatan Dengkeng, Watukelir dan sebelah utara Pucung.



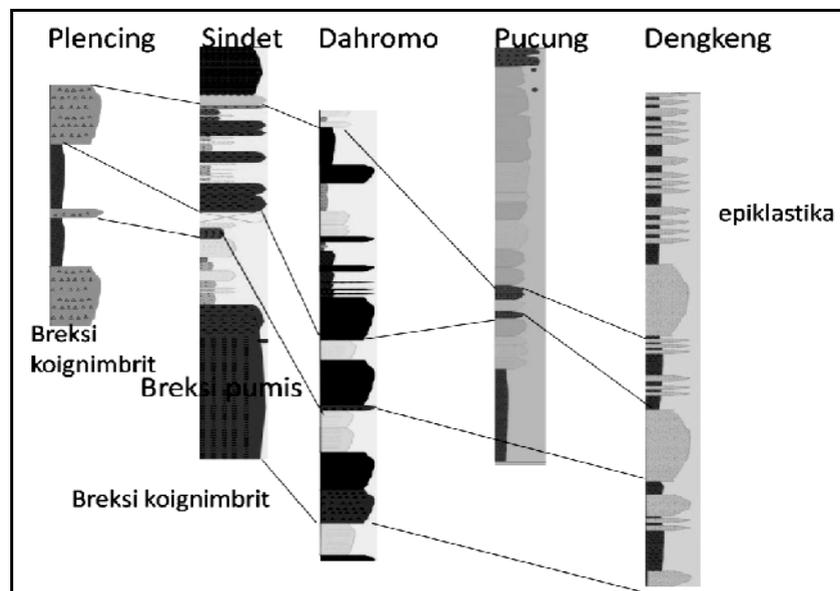
Gambar 9. Singkapan bagian atas litologi daerah penelitian di Pucung, yang membatasinya dengan batuan di atasnya (breksi andesit).

Hasil korelasi stratigrafi di daerah penelitian menunjukkan bahwa makin ke arah utara ukuran butir breksi koignimbrit makin kecil dengan fragmen litik yang bercampur dengan fragmen pumis dengan diameter 4-6cm. Fragmen litik tersebut makin ke utara (Muntuk-Tangkil) berselingan dengan breksi pumis. Ke arah utara-baratlaut, fragmen litik telah menghilang sepenuhnya dan didominasi oleh fragmen pumis dengan diameter yang cukup besar yaitu 4-6cm dan gelas basalt, sehingga warnanya menjadi gelap. Di daerah Kedungpring, breksi pumis tersebut juga mengandung fragmen batulempung dengan diameter 5-15cm, yang bentuk butirnya memipih. Hal itu mengindikasikan bahwa, saat sedimentasi berlangsung, lempung tersebut belum terlitifikasi dan langsung

terseret oleh material aliran gunung api yang masuk ke dalam air. Warna abu-abu gelap dalam breksi pumis dan tuf, dengan kandungan serbuk dan fragmen arang di dalamnya, serta strukturnya yang massif, mengindikasikan bahwa energi alirannya sangat besar. Hal itu memperkuat dugaan bahwa material gunung api tersebut adalah endapan aliran piroklastika. Persebaran breksi pumis dan batupasir warna kecoklatan di Dahromo adalah indikasi bahwa ada proses settling yang memisahkan antara material kaya lumpur (saat

sedimentasi) dengan pumis; hal itu hanya dapat terjadi di dalam air.

Makin ke arah timur, yaitu di daerah Dengkung, aktivitas epiklastika yang berselingan dengan aktivitas piroklastika berlangsung. Material-material yang diendapkan dalam waktu yang tidak terlalu lama, yang belum mengalami pembatuan, tererosi dan tertransportasi kembali oleh bahan aliran dan serukan piroklastika. Itulah sebabnya, struktur sedimen yang berkembang di dalamnya adalah *slump* hingga *ripple*.



Gambar 10. Korelasi stratigrafi batuan gunung api di daerah Sindet dan sekitarnya

Pasca aktivitas eksplosif berlangsung, yaitu pada Miosen Awal, di daerah Dengkung ke selatan hingga Pucung berlangsung aktivitas laut dangkal. Aktivasinya ini mengendapkan batupasir dan batulempung/napal warna hitam yang mengandung fosil foram plangtonik. Di lokasi lain, aktivitas vulkanisme yang menghasilkan batuan-batuan lava koheren dan breksi andesit/basaltic berlangsung. Namun, secara local aktivitas laut juga berlangsung mengendapkan batu gamping koral pada kaki-kaki dan lereng gunung api. Hal itu ditunjukkan oleh singkapan breksi andesit dengan fragmen koral di Pucung dan Siluk. Selama aktivitas gunung api berlangsung pada fasies pusat, aktivitas pengendapan sedimen-ter

dan berlangsung di daerah fasies medialdistal telah menghasilkan perlapisan batupasir coklat. Itulah sebabnya, di atas satuan breksi pumis Sindet langsung ditumpangi oleh satuan batupasir warna coklat di daerah Dengkung; sedangkan di daerah Pucung langsung ditumpangi oleh breksi dan lava.

KESIMPULAN

Breksi aneka bahan yang tersingkap di daerah Plencing adalah breksi *coignimbrite*. Proses pembentukan satuan batuan tersebut berasosiasi dengan erupsi eksplosif gunung api tipe Plini pada fasies gunung api, yang dihasilkan oleh runtuhnya kolom erupsi, diduga diinterpretasi sangat dekat deng-

an sumbernya. Walaupun kenampakan fisiknya mirip dengan anggota formasi Nglanggeran, namun secara stratigrafi merupakan bagian dari satuan breksi pumis formasi Semilir bagian bawah, dan berhubungan menjari dengan breksi batupung dan tuf. Pusat erupsi berada di daerah Plencing (Gunung Gede). Letusan eksplosif tersebut diawali dengan fasa pembentukan kerucut gunung api, yang menghasilkan basalt berstruktur bantal, yang singkapannya tidak jauh dari breksi koignimbit. Penelitian lebih lanjut, yang bertujuan untuk mengetahui pusat erupsi yang merupakan volcanic conduit fasa komposit gunung api ini perlu dilakukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada DP2M Dikti yang telah menyediakan dana penelitian melalui penelitian fundamental dan Institut Sains & Teknologi AKPRIND Jogjakarta, sehingga penulis mendapatkan kesempatan untuk mendapatkan dana penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Asikin, (1947) "*Evolusi Geologi Jateng dan Sekitarnya Ditinjau dari Segi Tektonik Dunia yang Baru*", Desertasi ITB, Bandung. Tidak Dipublikasi
- Asikin, S., Kartanegara, L., & Uniputty, H., (1987), *Tatanan Stratigrafi dan Posisi Tektonik Cekungan Jawa Tengah Utara Selama Jaman Tersier*, PIT IAGI ke XVI, Bandung.
- Bothe, A. Ch. D., 1929, Djiwo Hills and Southern Ranges, *Excursion Guide, 4th Pacific Sci. Cong.*, Bandung, 23 p.
- Bronto, S., 1983, The Nature of the Krakatau Ash Flow Deposits, *Symp. 100th Krakatau 1883-1983*, Jakarta, 23-27 August, 1983.
- Bronto, S., Hartono, G., dan Purwanto, D, 1998, Batuan longsor gunung api Tersier di Pegunungan Selatan, studi kasus di Kali Ngalang, Kali Putat, dan Jentir, Kab. Gunungkidul, Jogjakarta, *Pros. PIT 27 IAGI*, 8-9 Des., Jogjakarta, 3.44 – 3.49.
- Bronto, S. dan Mulyaningsih, S., Fosil gunung api Watuadeg, di wilayah kecamatan Berbah, kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Jogjakarta (*in press*)
- Bronto, S. dan Mulyaningsih, S., 2001, Volcanostratigraphic development from Tertiary to Quaternary: A case study at Opak River, Watuadeg-Berbah, Jogjakarta, *Abstr., 30th Ann. Conv. IAGI & 10th Geosea Reg. Cong.*, Sept. 10-12 Jogjakarta, 158.
- Bronto, S., Hartono, G., dan Astuti, B., 2004, Hubungan genesis antra batuan beku intrusi dan batuan beku ekstrusi di Perbukitan Jwo, Kec. Bayat, Klaten Jawa Tengah, *Majalah Geologi Indonesia*, v. 19, no. 3, Des. 2004, 147-163.
- Husadani, Y.T., 2008, *Geologi dan stratigrafi batuan gunung api Derah Sindet Kec. Imogiri, Kab. Bantul, Daerah Istimewa Jogjakarta*, Skripsi S1 di Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Jogjakarta, 130 hal, tidak dipublikasikan.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan H.M. Rosidi, 1977, Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000, *Dir. Geologi*, Bandung.
- Samodra, H. dan Sutisna, 1997, Peta geologi lembar Klaten, Jawa Tengah, skala 1:50.000, *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C. Bellon, H., Pringgoprawiro, H., dan Priadi, B., 1994, Tertiary magmatic belts in Java, *Journ. SE Asian Earth Sci.*, 9.
- Srijono dan Husein, S., 2007, Tinjauan geomorfologi Pegunungan Selatan DIY/Jateng: Telaah peran faktor endogenik dan eksogenik dalam proses pembentukan pegunungan, Abstrak, Seminar dan Workshop: "*Potensi Geologi Pegunungan Selatan dalam Pengembangan Wilayah*", Jogjakarta, 27-29 November.
- Sumarso & T. Ismoyowati, 1975, A contribution to the stratigraphy of the

- Jiwo and their southern surroundings, *IVth IPA conv.*, Jakarta.
- Surono, B. Toha dan I. Sudarno, 1992, Peta geologi lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, skala 1:100.000, *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Sutawidjaja, I.S., 1990, Evolution of Batur Caldera, Bali, Indonesia. *A thesis of MSc.*, Victoria Univ. of Wellington, New Zealand.
- Sutawidjaja, I.S., 2006, Proses terjadinya Gunung api Krakatau dan rencana mitigasinya, PVMBG, Bandung, 11 h, laporan tidak terbit.
- Suyoto, 2007, Status Cekungan Wonosari dalam kerangka tektonik Indonesia Barat, abstrak, Seminar dan Workshop “Potensi Geologi Pegunungan Selatan dalam Pengembangan Wilayah”, Jogjakarta, 27-29 Nov. 2007.
- Umboro, P.A., 2009, Geologi dan analisis geokimia batuan vulkanik Daerah Pucung dan sekitarnya, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul
- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, Martinus Nijhoff, the Hague, 732 p.