

HUBUNGAN GENESA ANTARA BATUAN BEKU INTRUSI DAN EKSTRUSI DI PERBUKITAN JIWO, KECAMATAN BAYAT, KLATEN JAWA TENGAH

Oleh:

S. Bronto ^{*)}, G. Hartono ^{**)} dan B. Astuti^{**)}

SARI

Sejauh ini hubungan genesis antara batuan beku terobosan G. Pendul di Perbukitan Jiwo dengan aliran lava di dekatnya yang termasuk di dalam Formasi Kebo-Butak belum diketahui. Hasil penelitian dengan pendekatan stratigrafi, petrologi-geokimia dan vulkanologi menunjukkan bahwa batuan intrusi dan ekstrusi itu mempunyai hubungan sangat erat. Keduanya berumur lk. 30 jtl, terletak di atas Formasi Gamping-Wungkal dan berkomposisi basa (49 -52,8 % SiO₂). Batuan intrusi itu adalah gabro, umumnya berbutir sedang sampai halus, sedangkan batuan ekstrusinya termasuk basal berbutir halus. Sebagai mineral penyusun utama keduanya adalah plagioklas dan piroksen klino sedang tambahannya mineral opak. Gelas dan mikrolit dijumpai sedikit di dalam batuan intrusi, tetapi kehadirannya semakin melimpah di dalam batuan ekstrusi. Secara vulkanologi, gabro itu dipandang sebagai tubuh intrusi semi gunungapi yang berbentuk kubah bawah permukaan. Sedangkan aliran lava basal yang terletak paling dekat, yakni di Kalinampu dan Nampurejo, yang berasosiasi dengan tuf hitam, merupakan produk ekstrusinya. Sementara itu aliran lava basal G. Sepikul dan Kali Cermo diperkirakan sebagai hasil erupsi gunungapi parasit di daerah Bayat.

Kata kunci: ekstrusi, gunungapi parasit, intrusi, Jiwo, kubah bawah permukaan.

ABSTRACT

So far, the genetic relationship between an intrusive igneous rock of Mt. Pendul at Jiwo Hills and lava flows nearby as a part of Kebo-Butak Formation has not been known yet. Following the approach of stratigraphy, petrology-geochemistry and volcanology, it is confirmed that the intrusive and extrusive rocks have very close relationship. Both have an age about 30 Ma, stratigraphically they lie on the Gamping-Wungkal Formation, and are basic in composition (49-52.8 % SiO₂). The intrusive rock is gabro, generally medium to fine grain, while the extrusive rocks are fine grain basalt. Their essential minerals are plagioclase and clinopyroxene with opaque mineral as an accessory constituent. Volcanic glass and microlites are minor in the fine grain intrusive rock, but become abundant in the extrusive ones. Based on volcanological view, the gabro is considered as a subvolcanic intrusion of a cryptodome. Whereas, basaltic lavas nearby, at Kalinampu and Nampurejo which are associated with a black tuff are products of extrusive activities. In the meantime, basaltic lavas of Mt. Sepikul and Cermo River are results of parasitic volcanism in the Bayat area.

Keywords: exstrusion, parasitic volcano, intrusion, Jiwo, cryptodome.

PENDAHULUAN

Perbukitan Jiwo terletak di wilayah Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten Propinsi Jawa Tengah. Daerah ini sudah sangat dikenal oleh para ahli geologi Indonesia karena merupakan salah satu lokasi di Pulau Jawa dimana tersingkap ragam batuan berumur Pra-Tersier sampai Tersier dan menjadi tempat kuliah lapangan bagi mahasiswa yang sedang menjalani

pendidikan geologi khususnya dan ilmu kebumihan pada umumnya. Di antara ragam batuan itu terdapat batuan beku intrusi (*intrusive igneous rocks* atau batuan beku terobosan/dalam) dan batuan beku ekstrusi (*extrusive igneous rocks* atau batuan beku luar/lelehan). Batuan beku intrusi sangat erat kaitannya dengan dinamika magmatisme pembentuknya, sedangkan batuan beku ekstrusi selalu dihubungkan dengan kegiatan vulkanisme. Proses magmatisme dapat

^{*)} Puslitbang Geologi, Jl. Diponegoro 57, Bandung 40112 E-mail: sbronto@grdc.esdm.go.id

^{**)} STTNas Yogyakarta, Jl. Babarsari, Depok Sleman Yogyakarta 55281 E-mail: hillgendoet@sttnas.ac.id

berdiri sendiri atau berhubungan dengan volkanisme, tetapi proses volkanisme selalu berhubungan dengan magmatisme.

Sejauh ini, hasil penelitian geologi di daerah Bayat belum ada yang menjelaskan hubungan kejadian (genesa) antara batuan beku intrusi dengan batuan beku ekstrusi di wilayah itu. Berdasarkan tata nama satuan litostratigrafi (Martodjojo & Djuhaeni, 1996) batuan beku intrusi dikelompokkan menjadi satuan Diorit Pendul, sedangkan batuan beku ekstrusi dipandang sebagai anggota atau sisipan di dalam Formasi Kebo-Butak (Suroso dkk., 1992; Samodra & Sutisna, 1997). Mengacu pada tata nama satuan litodemik, Soesilo (2003) mengusulkan penamaan batuan beku intrusi di Bayat menjadi Litodem Gabro Bayat, sedangkan batuan ekstrusi dinamakan satuan Litodem Basal Bayat. Namun demikian, para peneliti terdahulu itu tidak menjelaskan lebih lanjut bagaimana hubungan kejadian di antaranya, pada lokasi yang berdekatan mengapa terdapat batuan beku intrusi sekaligus juga batuan beku ekstrusi.

Dengan memperhatikan permasalahan tersebut maka tulisan ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya hubungan secara genesa antara batuan beku intrusi dengan batuan beku ekstrusi yang tersingkap di daerah Bayat dan sekitarnya. Mungkinkah keduanya bersumber dari aktivitas magmatisme yang sama atau tidak. Untuk mencapai tujuan itu maka tulisan ini mencoba untuk menjawab masalah tersebut dengan metoda pendekatan secara stratigrafi, analisis petrologi-geokimia dan volkanologi.

PROSEDUR ANALISIS

Penelitian mencakup penelitian petrologi megaskopik terhadap singkapan batuan beku ekstrusi dan intrusi di lapangan serta pengukuran stratigrafi. Penelitian batuan beku intrusi diutamakan di G. Pendul dan sekitarnya, Perbukitan Jiwo, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten. Pengamatan batuan beku ekstrusi dilakukan di sebelah selatan Perbukitan Jiwo dan kaki utara gawir Pegunungan Baturagung, yang termasuk wilayah Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten dan Kecamatan Ngawen serta Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul. Pembuatan penampang stratigrafi yang berhubungan dengan batuan beku ekstrusi dilakukan di 3 lokasi, yakni di Dusun Kalinampu

(lokasi 1), G. Sepikul (lokasi 3) dan Kali Tegalrejo (lokasi 5). Penampang stratigrafi terkait dengan batuan beku intrusi G. Pendul dilakukan di dusun Giriharjo (lokasi 6, 7 & 8), serta Watuprau (lokasi 12). Untuk analisis petrografi batuan beku intrusi telah dibuat 9 sayatan tipis, sedangkan untuk batuan beku ekstrusi dibuat 8 sayatan tipis. Pembuatan sayatan tipis dan analisis petrografi dilaksanakan di Laboratorium Petrografi, Puslitbang Geologi. Analisa kimia oksida mayor untuk batuan beku intrusi berjumlah 8 contoh, sedangkan untuk batuan ekstrusi berjumlah 5 contoh. Analisis kimia batuan dilaksanakan di Laboratorium Geokimia Puslitbang Geologi, Bandung dan sebagian lagi di Laboratorium Geokimia Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian, Yogyakarta.

LANDASAN TEORI

Stratigrafi dalam arti luas adalah ilmu yang membahas aturan, hubungan dan kejadian (genesa) macam-macam batuan di alam dalam ruang dan waktu, sedangkan dalam arti sempitnya ialah ilmu pemerian lapisan-lapisan batuan (Martodjojo & Djuhaeni, 1996). Pengertian itu mensiratkan bahwa pemahaman stratigrafi dalam arti sempit lebih ditekankan pada aspek pemerian (*descriptive objective aspects*). Sementara itu stratigrafi dalam arti luas memerlukan pemahaman terhadap genesa dan hubungan kejadian macam-macam batuan di alam dalam ruang dan waktu (*genetic interpretative aspects*); termasuk hubungan secara genesa antara batuan beku intrusi dan batuan beku ekstrusi.

Sebagai akibat dinamika bumi, magma dapat terbentuk di bawah permukaan oleh berbagai sebab. Berdasarkan tataan tektonikanya, di daerah penunjaman kerak bumi seperti halnya di Indonesia dan Jepang, pembentukan magma itu dihasilkan oleh peleburan sebagian dari selubung bumi bagian atas dan kerak bumi bagian bawah karena adanya penambahan H₂O dari sedimen dan basal teralterasi di dasar lautan (Tatsumi dkk., 1983). Cairan magma tersebut dapat membeku di dalam bumi tanpa mengalami diferensiasi sebelumnya sehingga membentuk tubuh batuan beku intrusi yang homogen, baik warna, tekstur, struktur maupun komposisi. Sebaliknya, jika sebelum membeku, magma mengalami diferensiasi maka

batuan beku intrusi yang terbentuk dapat berkomposisi heterogen. Dinamika magma di dalam bumi sampai dengan pembentukan batuan beku intrusi itu sering disebut sebagai proses magmatisme.

Apabila cairan magma mampu ke luar ke permukaan bumi, maka setelah membeku membentuk batuan beku luar atau batuan beku ekstrusi. Sebelum ke luar ke permukaan bumi cairan magma dapat juga mengalami diferensiasi, namun karena sangat cepat mendingin dan membeku maka cairan magma yang sudah mencapai di permukaan tidak dapat lagi mengalami diferensiasi. Proses keluarnya magma ke permukaan bumi ini merupakan bagian dari volkanisme. Di dalam proses volkanisme itu magma dapat ke luar secara meleleh sehingga menghasilkan batuan beku luar yang masif, atau secara meletus yang menghasilkan bahan piroklastika.

Tidak semua cairan magma mampu ke luar ke permukaan bumi, tetapi diyakini sebagian masih tertinggal dan membeku di dalam bumi; baik yang terletak jauh di dalam bumi maupun yang berada di dekat permukaan. Pembentukan magma yang terletak jauh di dalam bumi dipengaruhi oleh penurunan temperatur secara perlahan-lahan sehingga membentuk batuan beku intrusi bertekstur kristalin kasar. Sebaliknya, magma yang membeku di dekat permukaan, karena terjadi penurunan temperatur dan tekanan yang lebih cepat, batuan beku intrusi yang terbentuk mempunyai tekstur kristalin halus, porfiri atau bahkan hipokristalin. Batuan ini sering disebut sebagai batuan beku gang, korok atau *hypabyssal*. Lebih lanjut, magma yang membeku di permukaan, karena pendinginannya sangat cepat, batuan ekstrusi yang terbentuk bertekstur hipokristalin, vitrofir sampai dengan gelas (*glassy texture*). Apabila magmatisme menerus ke volkanisme maka tekstur batuan yang dihasilkannya akan berubah secara bertahap mulai dari kristalin berbutir kasar, kristalin berbutir halus, porfiritik, hipokristalin, vitrofir atau bahkan sampai dengan bertekstur gelas. Pada proses magmatisme yang menerus ke volkanisme, apalagi terjadi reaktivasi volkanisme, penerobosan magma di dalam bumi dapat terjadi berulang-ulang. Hal ini menyebabkan terbentuknya bermacam-macam batuan intrusi dan ekstrusi, di mana batuan intrusi tua dipotong oleh batuan intrusi yang lebih muda. Tidak menutup kemungkinan batuan beku

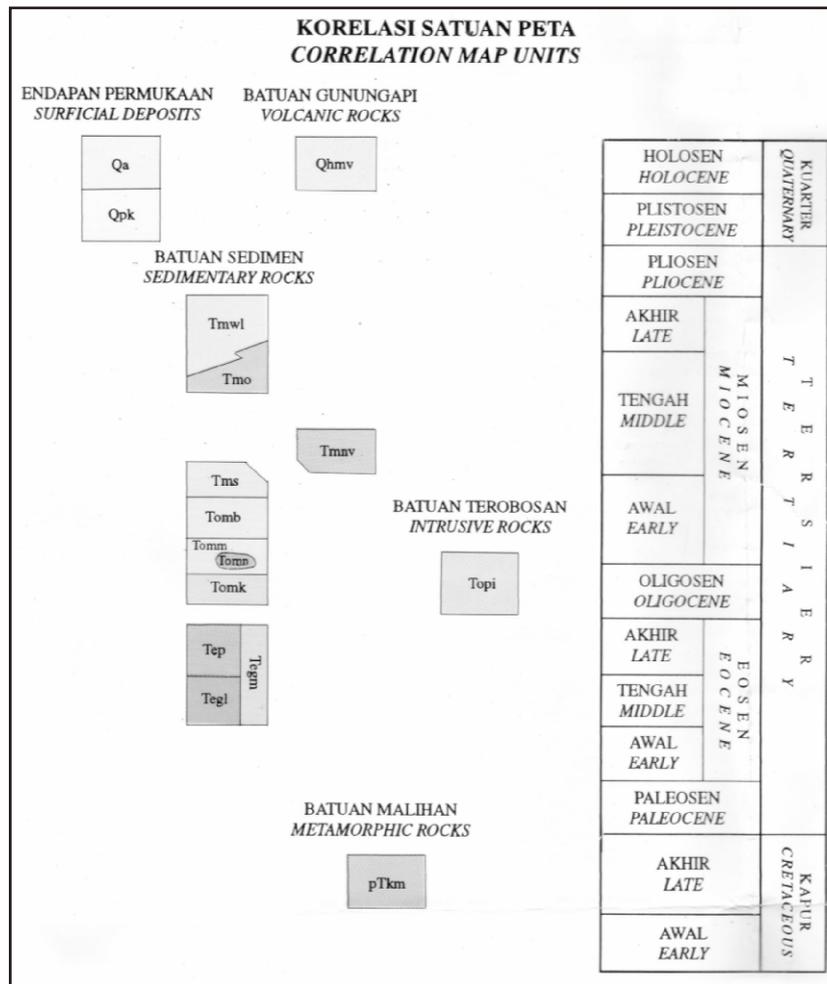
ekstrusi tua diterobos oleh batuan beku intrusi atau dipotong oleh batuan beku ekstrusi yang keduanya lebih muda. Untuk mengetahui apakah batuan beku intrusi dan ekstrusi tersebut berasal dari sumber magma yang sama atau *co-magmatic* dapat diuji berdasar letak/kedekatan sebarannya, umur pembentukan, serta ciri-ciri petrologi dan geokimia.

TATAAN STRATIGRAFI

Mengacu kepada peneliti terdahulu (misal: Surono dkk., 1992; Samodra & Sutisna, 1997) stratigrafi daerah Perbukitan Jiwo di Bayat dan Pegunungan Selatan, Yogyakarta dimulai dari satuan batuan metamorf yang berumur Pra-Tersier (KTm, Tabel 1). Satuan batuan ini terdiri dari sekis, marmer, filit dan batuan sedimen meta. Kumpulan batuan malihan tersebut secara tidak selaras ditutupi oleh Formasi Gamping-Wungkal (Tew) yang tersusun oleh perselingan batupasir dan batulanau dengan lensa-lensa batugamping. Formasi ini berumur Eosen Tengah dan diendapkan di dalam lingkungan laut dangkal.

Di atas Formasi Gamping-Wungkal diendapkan batuan asal gunungapi, yang dibagi menjadi 4 satuan batuan, yakni Formasi Kebo-Butak (Tomk), Formasi Semilir (Tms), Formasi Nglanggeran (Tmng) dan Formasi Sambipitu (Tmss). Formasi Kebo-Butak tersebar di selatan Perbukitan Jiwo dan terus ke selatan hingga gawir bagian bawah dari Pegunungan Baturagung. Menurut Samodra & Sutisna (1997) Formasi Kebo-Butak ini terdiri dari 3 anggota, yaitu Anggota Nampurejo (Tomn), Anggota Mangli (Tommm) dan Anggota Belang (Tomb). Anggota Nampurejo terutama tersusun oleh batuan beku ekstrusi yang dalam hal ini berupa aliran lava basal berstruktur bantal, sedangkan anggota yang lain kebanyakan terdiri dari batuan klastika gunungapi berukuran butir pasir lempung. Masih di desa Nampurejo ini Bronto dkk. (2002) melaporkan adanya batupasir hitam yang tersusun oleh gelas gunungapi dan berkomposisi basal, sama dengan komposisi lava bantal di dekatnya. Data tersebut menunjukkan bahwa batupasir itu adalah batuan piroklastika (tuf gelas hitam) yang bersama-sama dengan aliran lava bantal sebagai hasil erupsi gunungapi bawah laut di daerah itu. Formasi Kebo-Butak ini mempunyai ketebalan 650 m dan berdasarkan data paleontologi berumur Oligosen Miosen Awal (Sumarso & Ismoyowati, 1975). Soesilo

Tabel 1. Stratigrafi regional daerah Klaten (Samodra & Sutisna, 1997).



(2003) melaporkan data radiometri lava bantal berumur 33,15-31,29 jtl. Umur ini agaknya sebanding dengan salah satu hasil analisis umur terhadap batuan beku intrusi (retas) sebagai bagian dari satuan Diorit Pendul di Perbukitan Jiwo yang berumur $33,15 \pm 1,00$ jtl. (Soeria-Atmadja dkk., 1994). Dengan menggunakan metoda Ar-Ar yang diproses di Laboratorium Geochronologi, Universitas Alaska Fairbanks, Canada (I.W.S. Sumarinda, berdasar laporan tertulis dari Dr. Paul Layer kepada Dr. Tom Smith, 5 Maret 2002) batuan beku intrusi G. Pendul memberikan umur $29,7 \pm 0,5$ jtl. Sementara itu, lava basal berstruktur bantal di Kali Opak Watuadeg yang secara tidak selaras ditutupi oleh Formasi Semilir (Bronto & Mulyaningsih, 2001) dengan menggunakan metoda K-Ar memberikan umur $56,32 \pm 3,8$ jtl. (Bijaksana dkk., 2004).

Formasi Semilir (Tms) dicirikan oleh litologi batuan klastika gunungapi yang banyak mengandung batuapung, seperti breksi batuapung, lapili batuapung dan tuf batuapung dengan ketebalan mencapai lebih dari 460 m. Batuan penyusun Formasi Semilir membentuk gawir bagian atas dari Pegunungan Baturagung yang merupakan bagian utara dari Pegunungan Selatan, Yogyakarta. Kandungan fosil yang sangat jarang di dalam formasi ini memberikan umur Miosen Awal Tengah dan lingkungan pengendapan di laut dangkal sampai laut dalam.

Formasi Nglanggeran (Tmng) tersusun oleh breksi gunungapi, aglomerat, batulapili, tuf dan aliran lava berkomposisi andesit andesit basal, serta batuan epiklastika gunungapi lainnya dengan ketebalan mencapai 530 m. Data paleontologi yang juga sangat terbatas memberikan umur sama dengan Formasi Semilir. Namun demikian, analisis Kalium-Argon

terhadap retas andesit di daerah Parangtritis, Yogyakarta memberikan umur Oligosen Akhir (26 jtl., Soeria-Atmadja dkk., 1994). Berdasarkan data radiometri itu para penulis tersebut cenderung memasukkan batuan gunungapi yang terdiri dari breksi dan batuan beku korok berkomposisi andesit di daerah Parangtritis ke dalam Formasi Kebo-Butak. Pendapat ini agaknya sejalan dengan ditemukannya singkapan aliran lava dan breksi piroklastika berkomposisi andesit di bawah batuan klastika kaya batupung di dusun Candisari, Desa Wukirharjo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman Yogyakarta (Bronto & Pambudi, 2001). Data umur absolut 26 jtl. di Parangtritis itu cukup dekat dengan umur batuan beku di Perbukitan Jiwo yakni $24,25 \pm 0,65$ jtl. (Soeria-Atmadja dkk., 1994). Di lain pihak, Hartono (2001) melaporkan bahwa berdasarkan analisis K-Ar aliran lava andesit di Kali Ngalang, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul yang terletak di Pegunungan Selatan, di selatan Perbukitan Jiwo mempunyai umur $58,85 \pm 3,24$ jtl.

Formasi Sambipitu (Tmss) tersusun utamanya oleh batuan klastika gunungapi berukuran butir halus, seperti batupasir, batulanau dan batulempung. Hanya di bagian atas dari formasi ini mengandung material karbonat. Kandungan fosil jauh lebih banyak dibanding dengan dua formasi batuan gunungapi sebelumnya dan memberikan umur Miosen Awal-Tengah serta lingkungan pengendapan laut dangkal sampai dalam. Ketebalan Formasi Sambipitu ini lebih kurang 230 m. Di atas formasi-formasi batuan gunungapi ini batuan karbonat dibagi menjadi Formasi Oyo (Tmo) dan Formasi Wonosari (Tmw). Pada Zaman Kuartar, di atas batuan Tersier itu diendapkan aluvium (Qa) dan endapan asal G. Merapi (Qm).

Dari uraian di atas dapat digaris-bawahi bahwa aliran lava basal berstruktur bantal di dalam Formasi Kebo-Butak yang merupakan batuan beku ekstrusi dan satuan Diorit Pendul, sebagai batuan beku intrusi, keduanya menumpang di atas Formasi Gamping-Wungkal. Batuan beku intrusi tersebut berumur 33 jtl., 29 jtl. dan 24 jtl. Sementara itu Formasi Kebo-Butak berumur Oligosen-Miosen Awal dan aliran lava bantal di Bayat berumur 33,15 - 31,29 jtl. Dengan demikian di dalam Formasi Kebo-Butak atau formasi yang lebih muda kemungkinan juga terdapat aliran lava dan breksi gunungapi

berkomposisi andesit andesit basal yang berumur sekitar 24 - 26 jtl., seperti halnya di daerah Parangtritis Yogyakarta.

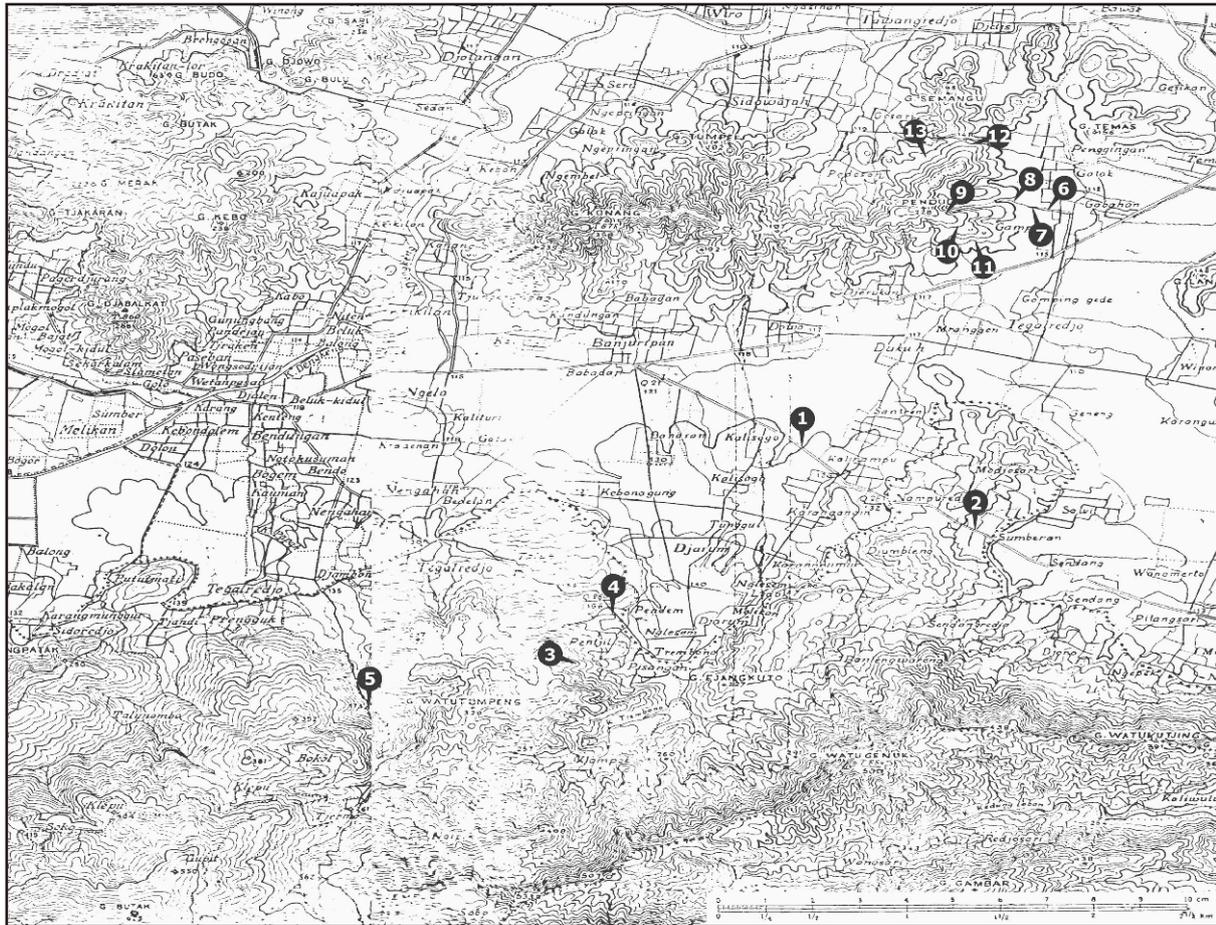
HASIL PENELITIAN STRATIGRAFI

Hasil penelitian diuraikan dalam dua bagian, yakni stratigrafi, petrografi dan geokimia. Batuan beku ekstrusi berupa aliran lava berkomposisi basal yang pada umumnya berstruktur bantal tersingkap di beberapa tempat, antara lain di dusun Kalinampu (lokasi 1, Gb. 1), Desa Nampurejo, Kecamatan Ngawen, Kabupaten Gunungkidul (lokasi 2), di barat Dusun Pisangan (lokasi 3), di G. Sepikul utara Dusun Talun (lokasi 3), dan di jeram Kali Cermo (lokasi 5) termasuk di jalan antara Desa Tegalrejo ke selatan menuju Dusun Cermo. Pengamatan singkapan batuan beku intrusi dilakukan di Dusun Giriharjo (lokasi 6 sampai 11), di Watuprau (lokasi 12) dan Dusun Padasan (lokasi 13). Pengukuran stratigrafi dilakukan di lokasi 1, 3, 5, 6 dan 9 (Gb. 2). Jarak mendatar dari singkapan batuan intrusi di lokasi 6 sampai dengan singkapan batuan ekstrusi di lokasi 1 sekitar 2 km, sedangkan sampai dengan Kali Tegalrejo (lokasi 5) kurang lebih berjarak 5 km.

Di Dusun Kalinampu (Gb. 2A), penampang bagian bawah tersusun oleh batupasir hitam, dibagian tengah berupa tuf hijau dan di bagian atas terdiri dari perlapisan aliran lava berstruktur bantal, batupasir lapuk berwarna coklat sampai coklat abu-abu. Batupasir hitam tersebut sebagian besar sudah lapuk teroksidasi berwarna coklat karat oksida besi, berstruktur kulit bawang di mana intinya merupakan bagian paling segar berwarna abu-abu gelap sampai hitam agak kehijauan, struktur berlapis tetapi batas perlapisannya kurang tegas. Batupasir hitam ini sudah diteliti oleh Bronto dkk. (2002) dan dinyatakan sebagai tuf hitam atau batuan piroklastika hasil letusan gunungapi bawah laut, yang bersama-sama dengan aliran lava bantal sebagai produk vulkanisme pada waktu itu. Di bagian tengah, tuf yang sebagian besar berbutir halus sudah mengalami ubahan kloritisasi sehingga secara dominan berwarna hijau. Di antara perlapisan tuf hijau itu terdapat sisipan tipis batuan karbonat berwarna putih dan berbutir halus.

Di bagian atas terdapat 3 lapisan lava bantal yang keadaannya di lapangan sudah lapuk berwarna coklat teroksidasi dan berstruktur kulit

Hubungan Genesa Antara Batuan Beku Intrusi dan Ekstrusi di Perbukitan Jiwo, Kecamatan Bayat, Klaten Jawa Tengah

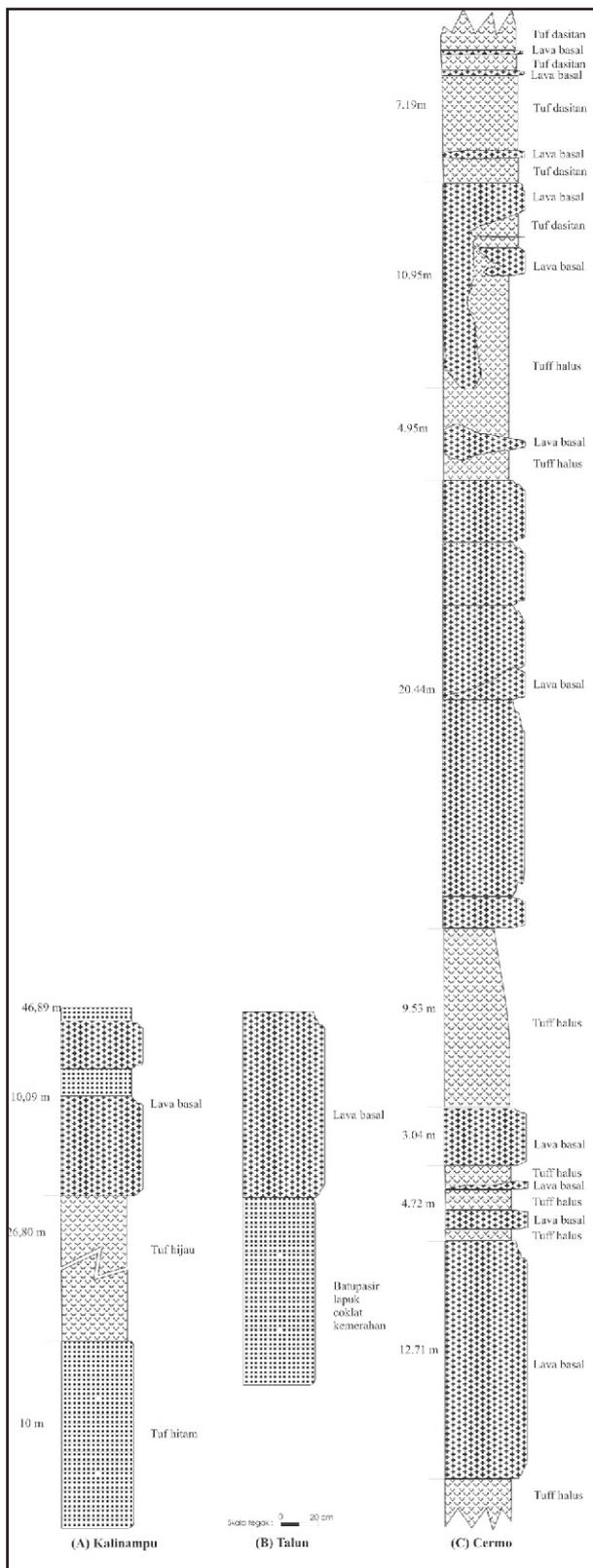


Gambar 1. Lokasi pengamatan batuan beku ekstrusi dan batuan beku intrusi di daerah Bayat, Kabupaten Klaten Jawa Tengah.

bawang. Namun demikian, tekstur dan struktur sebagai lava bantal masih teramati cukup jelas (Gb. 3A). Bagian paling segar dari lava ini terdapat pada inti struktur kulit bawang, yakni berwarna abu-abu gelap kehijauan, masif, bertekstur porfiri halus, fenokris terdiri dari plagioklas dan piroksen berukuran butir 0,5 - 1 mm, tersebar merata, sekitar 30 %, tertanam di dalam masa dasar afanit. Dari kenampakan megaskopis itu nama batuan beku luar itu adalah basal. Warna kehijauan menunjukkan bahwa batuan ini sudah mulai terpengaruh oleh proses ubahan kloritisasi. Di antara peralasan lava bantal dan batupasir lapuk juga terdapat sisipan tipis batuan karbonat berwarna putih dan berbutir halus. Hasil analisis paleontologi terhadap batuan karbonat ini telah dilaporkan oleh Bronto dkk. (2002) yang menunjukkan adanya kandungan fosil foraminifera plangton dan bentos berumur N5 dan lingkungan pengendapannya adalah neritik tengah.

Pada lokasi 2 lava bantal masih

menumpang di atas tuf hijau tetapi batas kontakannya tidak jelas karena tertutup oleh tanah pelapukan. Singkapan lava bantal di sini ditemukan setempat-setempat, sebagian besar sudah lapuk dan hubungan dengan batuan di sekitarnya tidak teramati. Beberapa bongkah lava bantal ditemukan di antara batuan karbonat berwarna putih, lunak dan berbutir halus. Lava bantal di sini diperkirakan sebagai pembentuk utama punggung bukit yang menjorok ke utara sebagai wilayah Desa Nampurejo, Kecamatan Ngawen, Kabupaten Gunungkidul. Pengukuran stratigrafi di lokasi 3 (Gb. 2B) menunjukkan bahwa aliran lava bantal menumpang di atas batupasir coklat sampai merah bata teroksidasi kuat. Batupasir ini mempunyai struktur berlapis sangat baik terutama di bagian bawah, namun tidak memperlihatkan struktur kulit bawang sebagaimana terdapat di lokasi 1. Kondisi lava bantal juga sudah lapuk berwarna abu-abu kecoklatan sampai coklat tanah, tetapi masih memperlihatkan resistensinya yaitu dengan



Gambar 2. Kolom litologi hasil pengukuran stratigrafi di Kalinampu (A; lokasi 1), G. Sepikul, Talun (B; lokasi 4) dan Kali Cermo (C; lokasi 5).

membentuk dua bukit kecil yang dikenal dengan nama G. Sepikul di sebelah utara dusun Talun, Desa Tegalrejo. Sebagian lava berupa bongkah besar berdiameter 1 - 1,5 m sangat keras. Pada lereng timur bukit sebelah utara struktur aliran ke timur dari lava bantal tersebut masih dapat diamati (Gb.3B). Hal ini mungkin mengindikasikan bahwa sumber erupsinya tidak jauh dari bukit tersebut. Bagian permukaan dari lava itu membentuk breksi autoklastika. Sementara itu di lereng timur tenggara bukit sebelah selatan yang dijadikan tempat makam oleh penduduk setempat ditemukan urat-urat barit di dalam tubuh batuan beku luar tersebut. Pada lokasi 4 lava bantal ditemukan sebagai bongkah-bongkah batuan di permukaan tetapi singkapan in situ nya tidak ditemukan.

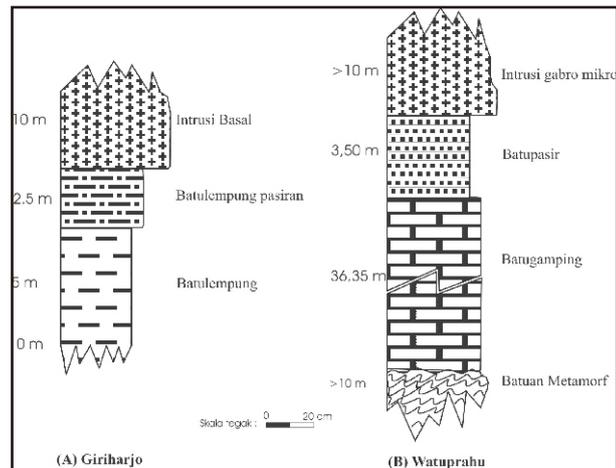
Pada lokasi 5 lava basal tersingkap sangat baik membentuk jeram di Kali Tegalrejo (Gb. 3C). Namun di bagian atas singkapan lebih memperlihatkan sebagai batuan beku intrusi baik berupa sill maupun retas (Gb. 4), yang apabila diikuti ke atas hingga jalan menuju ke dusun Cermo sudah lapuk mengulit bawang. Dari hasil pengukuran stratigrafi di lokasi ini diketahui adanya 6 lapisan aliran lava. Kontak antar lapisan lava ditandai oleh breksi autoklastika dengan kekar plat, sedangkan di bagian tengah tubuh batuan beku luar ini memperlihatkan struktur kekar tiang. Di bagian bawah penampang, batas aliran lava dengan batuan dasarnya juga sangat tegas, sedangkan di bagian atasnya terjadi perubahan ke batuan piroklastika berbutir pasir sebagai fase akhir kegiatan gunungapi (Gb. 2C). Struktur bantal tidak berkembang di dalam aliran lava ini.

Secara megaskopis batuan beku ekstrusi dan batuan intrusi berupa sill dan retas di Kali Tegalrejo itu berwarna abu-abu kehijauan. Pada bagian tepi atau lapisan lava tipis warna lebih gelap bertekstur gelas sedang ke bagian dalam secara berangsur warna agak lebih terang bertekstur porfiri dengan fenokris utama plagioklas halus, diameter 0,1-1 mm, sebaran sangat merata (lk. 40 %), sedangkan masa dasar bertekstur afanit. Berdasarkan pemerian di lapangan, baik batuan beku ekstrusi maupun batuan beku intrusi tersebut dinamakan basal.

Di Dusun Giriharjo, Watuprau dan Padasan (lokasi 6, 7, 8, 11, 12 dan 13) batuan beku intrusi tersingkap menumpang di atas batuan sedimen (Gb. 4 & Gb. 5). Secara regional batuan sedimen yang terdiri dari batulumpur dan



Gambar 3. Singkapan lava basal di Kalinampu (A), G. Sepikul, Talun (B) dan perlapisan lava di air terjun Kali Cermo (C).



Gambar 4. Kolom litologi hasil pengukuran stratigrafi di (A) Giriharjo, lokasi 6, dan (B) Watuprahu, lokasi 12. Batuan sedimen di bawah batuan beku intrusi termasuk di dalam Formasi Gamping-Wungkal (Surono, dkk., 1992).



Gambar 5. Kontak batuan sedimen Formasi Gamping-Wungkal dengan batuan beku intrusi Pendul di lokasi 6 (A) dan di lokasi 12 (B). Sekalipun sudah lapuk lanjut tubuh intrusi Pendul di gambar 5A masih memperlihatkan kekar lembar mengelopak yang dapat dibandingkan dengan *ramp structure* kubah riolit di selatan Lipari Italia seperti ditunjukkan pada gambar 8A. Pada gambar 5B batuan intrusi Pendul sudah mengalami pelapukan mengulit bawang.

batupasir lempungan itu termasuk Formasi Gamping-Wungkal (Surono dkk., 1992). Pada kontak antara batuan beku intrusi dengan batuan sedimen tersebut setempat-setempat terdapat lapisan tipis batuan karbonat, breksi dan di lokasi 8 dijumpai batulempung yang menyerpih cukup tebal. Lapisan karbonat itu berwarna putih, berbutir sangat halus, lunak dan tidak terdapat di dalam perlapisan batuan sedimen di bawahnya, kecuali fragmen *caliche* yang hanya mengisi di dalam rekahan. Breksi dengan fragmen batuan beku lapuk cenderung mengkasar ke atas dan secara berangsur berubah menjadi tubuh batuan beku masif. Sekalipun sudah lapuk, fragmen breksi tersebut masih menampilkan struktur pecahan radier atau rekahan gergaji (*jigsaw cracks*) yang sering juga disebut *prismatic jointings*.

Batuan beku intrusi di kawasan G. Pendul ini sebagian besar sudah lapuk kuat, berstruktur kulit bawang, namun masih teramati bahwa di bagian bawah atau samping berstruktur kekar plat (*platy jointings*) yang ke arah tengah mengesankan struktur kulit bawang besar (struktur kelopak atau *ramp structure*), seperti halnya terjadi pada kubah lava (Cash & Wright, 1987, fig. 4.26, p. 85). Dari data tersebut diperkirakan bahwa material karbonat merupakan hasil ubahan hidrotermal pada kontak antara batuan intrusi dengan batuan sedimen yang diterobos. Breksi batuan beku sebagai breksi autoklastika, bersama-sama dengan kekar plat mencerminkan struktur pendinginan di daerah kontak setelah magma menerobos batuan samping. Penerobosan batuan beku Pendul juga ditunjukkan oleh adanya xenolit batupasir dan serpih di dalam batuan intrusi tersebut yang dijumpai di sekitar lokasi 10 dan 12.

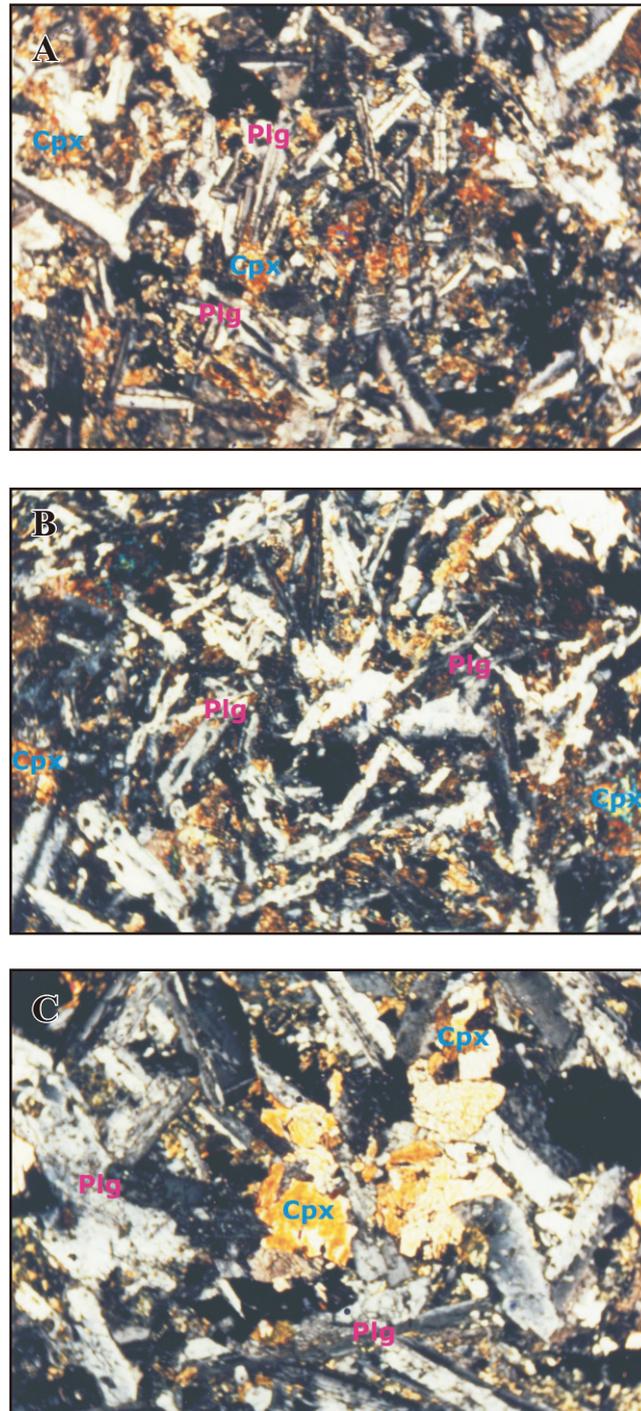
Batuan intrusi sebagai inti di dalam struktur kulit bawang mempunyai warna segar abu-abu gelap kehijauan, masif, berstruktur porfiri halus, fenokris terdiri dari plagioklas dan piroksen, berukuran butir 0,5 - 1 mm, tertanam di dalam masa dasar afanit. Dari kenampakan megaskopis itu maka batuan beku ini dinamakan basal. Akan tetapi semakin mendekati puncak G. Pendul (lokasi 9) butiran kristal plagioklas dan piroksen semakin kasar, berdiameter 2 - 5 mm dan tekstur batuan secara berangsur berubah menjadi holokristalin faneroporfiri sehingga dapat dinamakan sebagai gabro. Dengan demikian secara megaskopis bagian tepi tubuh batuan beku intrusi Pendul mempunyai

kemiripan dengan batuan beku ekstrusi yang berupa aliran lava basal, berwarna abu-abu gelap dan bertekstur porfiri halus - afanit sedangkan di bagian tubuh utama lebih bertekstur holokristalin. Warna kehijauan pada batuan beku tersebut mengindikasikan adanya ubahan kloritisasi pada batuan intrusi Pendul. Warna gelap dan tekstur afanit juga dijumpai pada batuan beku terobosan yang dijumpai di G. Merak dan G. Butak di Perbukitan Jiwo bagian barat. Sementara itu tekstur holokristalin faneroporfiri ditemukan di Desa Gedangan, juga di Perbukitan Jiwo Barat.

Pada lokasi 12, penampang stratigrafi terukur memperlihatkan bahwa di bawah batuan beku intrusi Pendul, tersingkap secara berturut-turut batuan metamorf, batugamping dan batupasir (Gb. 4B). Secara regional, batupasir dan batugamping itu termasuk Formasi Gamping-Wungkal (Surono dkk., 1992). Pada kontak antara batuan metamorf dengan batugamping dijumpai breksi alas yang tersusun oleh fragmen sekis dan kuarsa di dalam matriks karbonat. Data ini membuktikan bahwa telah terjadi ketidak-selarasan di antara batuan metamorf dengan Formasi gamping-Wungkal. Dari lokasi pengamatan di lereng selatan G. Pendul (Dusun Giriharjo, lokasi 6), di lereng timur G. Pendul (di selatan Watuprau atau lokasi 12) dan di lereng utara G. Pendul (Dusun Padasan, lokasi 13) nampak bahwa batuan beku intrusi Pendul menumpang di atas batuan yang lebih tua (Gb. 5A & B). Data ini menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut tubuh intrusi tidak memotong perlapisan batuan di bawahnya, tetapi diperkirakan hanya menyisip di antara batuan samping sekalipun bagian atasnya sudah hilang tererosi. Berdasarkan analisis tersebut maka batuan intrusi Pendul dapat digolongkan sebagai sill.

Petrografi

Secara mikroskopis, batuan ekstrusi bertekstur hipokristalin porfiri, fenokris berbentuk euhedral anhedral, berbutir halus sedang (0,3 - 1,5 mm), terdiri dari plagioklas, piroksen dan mineral opak yang tertanam di dalam masa dasar mikrolit dan gelas (Gb. 6A). Mikrolit tersusun oleh kristal-kristal sangat halus, terdiri dari felspar, piroksen dan mineral opak. Bentuk kristal plagioklas yang prismatik panjang dan di antaranya hadir piroksen klino



Gambar 6. Foto mikro lava basal Kali Nampu (A), intrusi gabro Pendul bertekstur halus (B) dan bertekstur sedang (C). Nikol bersilang, 40x.

serta mineral opak, membentuk struktur diabas mikro. Struktur lubang bekas keluarnya gas (*vesicles*) juga nampak jelas di bawah mikroskop. Plagioklas berbentuk euhedral subhedral, berukuran 0,5 - 1,5, maksimum 2 mm, berstruktur zoning normal, mengandung inklusi gelas dan tersebar melimpah (30 - 60 %). Sebagian mineral plagioklas dan inklusi gelas di dalamnya telah berubah menjadi klorit, dan sebagian kecil menjadi mineral opak, karbonat serta albit. Fenokris piroksen kuno berbutir halus (0,2 - 0,5 mm), berbentuk anhedral, mengisi di antara kristal plagioklas dengan sebaran cukup merata (15-20 %). Mineral ini sebagian besar telah berubah menjadi klorit dan mineral opak. Fenokris mineral opak berwarna hitam, berbentuk anhedral dan berbutir halus (lk. 0,1 mm) dengan sebaran kurang merata (3-5 %), umumnya hadir bersama dengan piroksen kuno. Masa dasar gelas tersebar meluas di bagian tepi tubuh batuan beku ekstrusi namun berkurang di bagian tengahnya. Sebagian besar gelas ini sudah berubah menjadi klorit dan kadang-kadang membentuk kristalisasi albit. Dengan memperhatikan pemerian warna, tekstur, struktur dan komposisi tersebut di atas maka batuan beku ekstrusi dan intrusi di Desa Tegalrejo itu dinamakan basal (Williams dkk., 1982).

Batuan intrusi di kawasan G. Pendul bertekstur holokristalin porfiri, berbutir halus-sedang (0,1 - 1,0 mm) terdiri dari plagioklas, piroksen kuno dan mineral opak, tertanam di dalam masa dasar kristal sangat halus (< 0,1 mm) yang juga berupa plagioklas, piroksen dan mineral opak (Gb. 6B & C). Kristal plagioklas berbentuk prisma panjang, di antaranya hadir kristal piroksen kuno dan mineral opak sehingga membentuk struktur diabas. Di lereng selatan G. Pendul, lokasi 6, dusun Giriharjo, batuan beku intrusi ini mengandung gelas sekalipun sebarannya tidak merata (< 10 %). Sementara di dekat puncak G. Pendul, batuan beku itu bertekstur holokristalin fanero porfiritik dimana fenokris plagioklas dan piroksen mempunyai ukuran sedang - kasar (2 - 4 mm). Kristal plagioklas berbentuk euhedral subhedral, berukuran rata-rata 0,3 - 1 mm, berstruktur normal zoning dan mengandung inklusi gelas, dengan sebaran melimpah (40 - 60 %). Sebagian mineral ini sudah berubah menjadi klorit, mineral opak dan sedikit albit. Piroksen kuno berbentuk anhedral, berukuran halus (0,1 - 0,3 mm), mengisi di antara kristal plagioklas, penyebaran

merata (10 - 30 %), sebagian berubah menjadi klorit dan mineral opak. Mineral opak berwarna hitam, berbentuk anhedral, berbutir halus sangat halus dengan sebaran rata-rata 3 - 5 %. Sebagai masadasar, kristal-kristal sangat halus dari plagioklas, piroksen dan mineral opak serta sedikit gelas sebagian besar sudah berubah menjadi klorit. Dari uraian petrografi tersebut maka batuan beku intrusi G. Pendul dinamakan gabro (Williams dkk., 1982) atau gabro mikro.

Geokimia

Tabel 2 menyajikan data oksida mayor kimia batuan intrusi dan ekstrusi, sedangkan gambar 7 memperlihatkan diagram variasi dari analisis kimia tersebut. Secara umum, tidak ada perbedaan yang mencolok antara batuan intrusi dengan batuan ekstrusi. Keduanya termasuk batuan beku basa mengandung 49 - 52,8 % SiO_2 . Terkait dengan teksturnya maka batuan intrusi dinamakan gabro sedang batuan ekstrusinya disebut basal. Mengacu klasifikasi Peccerillo dan Taylor (1976), keduanya cenderung berasal dari magma kapur alkali daripada toleit. Kandungan TiO_2 dan Al_2O_3 relatif tetap yang hal ini juga mendukung perkiraan bersumber dari magma kapur alkali.

Namun demikian secara lebih rinci, dari batuan intrusi ke batuan ekstrusi ada sedikit peningkatan kadar SiO_2 , Fe_2O_3^* (total besi sebagai Fe_2O_3), MnO dan P_2O_5 . Sebaliknya, kandungan MgO mengalami penurunan yang ini juga terlihat pada penurunan nilai Mg\# (nomor magnesium, dari 66 ke 51). Mengingat kandungan CaO di dalam batuan ekstrusi agak beragam maka naiknya rasio Ca ($\text{Ca}/\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Fe}$) juga dipengaruhi oleh penurunan kandungan MgO dan Mg\# . Variasi CaO juga diikuti oleh kandungan Na_2O dan rasio $\text{Ca}/\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}$, sedangkan K_2O cenderung agak tinggi di dalam batuan intrusi.

Penurunan MgO dan Mg\# tetapi terjadi kenaikan SiO_2 dari batuan intrusi ke batuan ekstrusi mencerminkan kondisi pada saat magma bergerak naik unsur berat Mg lebih banyak tertinggal di bagian bawah, sedangkan Si sebagai unsur ringan lebih banyak terbawa sampai di permukaan. Beragamnya kandungan CaO dan Na_2O yang juga nampak pada rasio $\text{Ca}/\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}$ mungkin terrefleksikan oleh struktur normal zoning di dalam kristal plagioklas, dimana bagian inti lebih banyak mengandung Ca sedang ke

Tabel 2. Komposisi kimia batuan beku intrusi dan batuan ekstrusi di daerah penelitian, setelah dinormalisir 100 %, bebas volatil. Sebagian analisis ini diambil dari Bronto dkk., (2002).

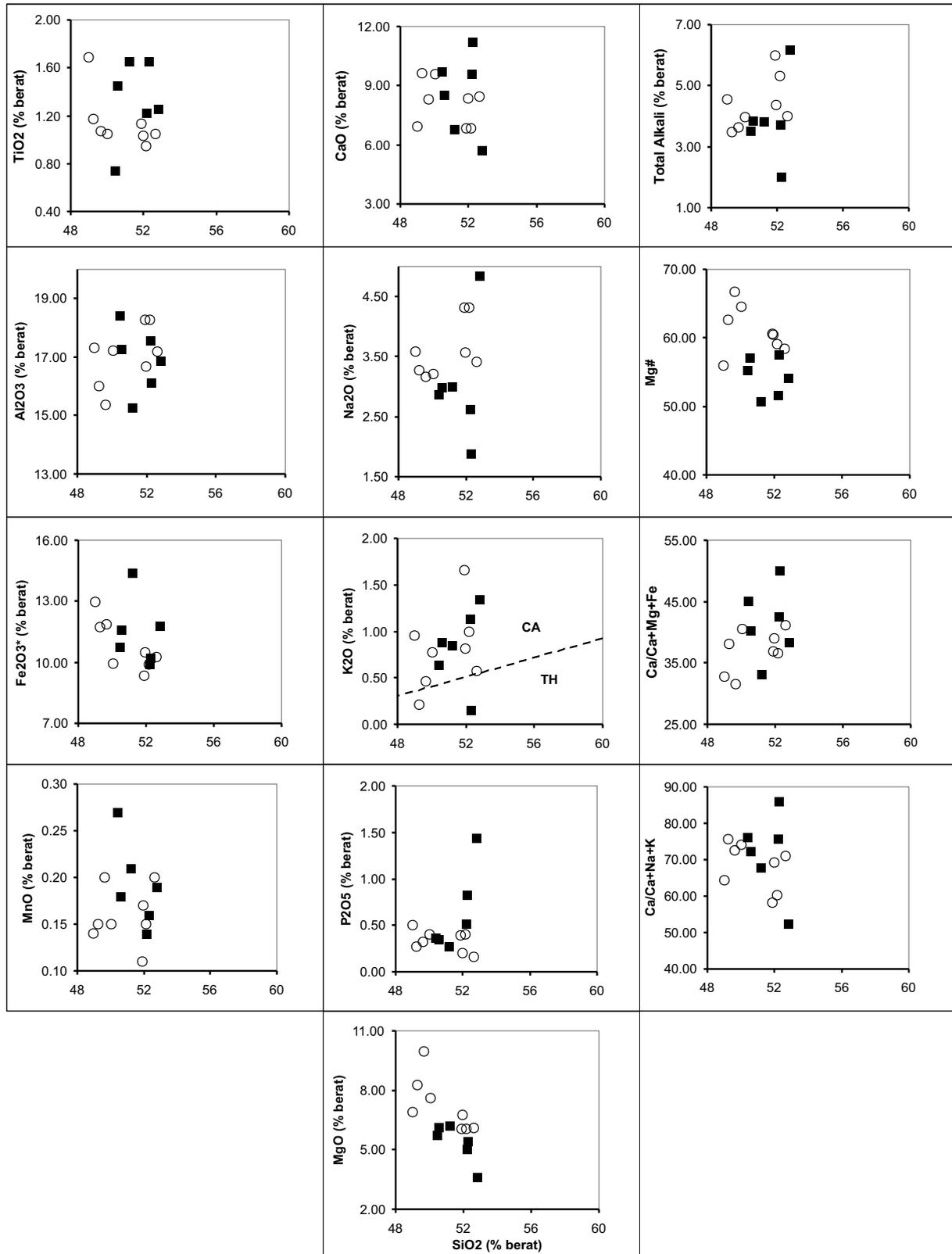
| Oksida utama | 2004 UR01 | 2004 UR02 | 2004 UR03 | 2004 UR04 | PDL-1 | PDL-2 | SB-MRK | SB-BTK |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|--------|--------|
| SiO ₂ | 49,64 | 48,99 | 50,04 | 49,25 | 51,89 | 52,16 | 52,63 | 51,97 |
| TiO ₂ | 1,07 | 1,69 | 1,05 | 1,17 | 1,13 | 0,95 | 1,05 | 1,03 |
| Al ₂ O ₃ | 15,36 | 17,33 | 17,21 | 16,01 | 18,26 | 18,26 | 17,19 | 16,67 |
| Fe ₂ O ₃ | 11,85 | 12,97 | 9,96 | 11,74 | 9,36 | 9,91 | 10,26 | 10,47 |
| MnO | 0,20 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,11 | 0,15 | 0,20 | 0,17 |
| MgO | 9,98 | 6,92 | 7,62 | 8,29 | 6,04 | 6,03 | 6,08 | 6,75 |
| CaO | 8,29 | 6,92 | 9,59 | 9,63 | 6,84 | 6,83 | 8,44 | 8,36 |
| Na ₂ O | 3,16 | 3,59 | 3,21 | 3,28 | 4,32 | 4,31 | 3,42 | 3,57 |
| K ₂ O | 0,46 | 0,95 | 0,77 | 0,21 | 1,66 | 1,00 | 0,57 | 0,81 |
| P ₂ O ₅ | 0,32 | 0,50 | 0,40 | 0,27 | 0,39 | 0,40 | 0,16 | 0,20 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Alk. tot | 3,62 | 4,54 | 3,98 | 3,49 | 5,98 | 5,31 | 3,99 | 4,38 |
| Mg# | 66,68 | 55,90 | 64,51 | 62,66 | 60,53 | 59,13 | 58,47 | 60,50 |
| Ca/Ca+Mg+Fe | 31,48 | 32,80 | 40,48 | 38,09 | 36,92 | 36,52 | 41,18 | 39,02 |
| Ca/Ca+Na+K | 72,56 | 64,47 | 74,03 | 75,71 | 58,29 | 60,33 | 71,06 | 69,25 |

| Oksida utama | PLB1 | BYT9A | BYT4 | GH051 | SB5.1 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 52,16 | 52,23 | 52,76 | 50,52 | 51,15 |
| TiO ₂ | 1,23 | 1,66 | 1,26 | 1,45 | 1,66 |
| Al ₂ O ₃ | 17,56 | 16,13 | 16,91 | 17,28 | 15,29 |
| Fe ₂ O ₃ | 9,96 | 10,24 | 11,80 | 11,65 | 14,44 |
| MnO | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,18 | 0,21 |
| MgO | 5,05 | 5,45 | 3,66 | 6,15 | 6,26 |
| CaO | 9,61 | 11,25 | 5,76 | 8,54 | 6,85 |
| Na ₂ O | 2,63 | 1,89 | 4,86 | 3,00 | 3,01 |
| K ₂ O | 1,14 | 0,16 | 1,35 | 0,88 | 0,85 |
| P ₂ O ₅ | 0,52 | 0,83 | 1,45 | 0,35 | 0,28 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Tot. alk | 3,77 | 2,05 | 6,21 | 3,88 | 3,86 |
| Mg# | 51,73 | 57,58 | 54,17 | 57,23 | 50,75 |
| Ca/Ca+Mg+Fe | 42,74 | 50,16 | 38,41 | 40,32 | 33,20 |
| Ca/Ca+Na+K | 75,87 | 86,17 | 52,56 | 72,52 | 67,95 |

Lokasi pengambilan contoh batuan:

1. 2004UR01: Intrusi di Desa Padasan, lereng selatan G. Pendul, 7° 46' 37,2" LS - 110° 39' 30,8" BT
2. 2004UR02: Intrusi di Desa Giriharjo, lereng utara G. Pendul, 7° 46' 20,0" LS - 110° 40' 21,8" BT
3. 2004UR03: Intrusi di lereng timurlaut G. Pendul, 7° 46' 05,3" LS - 110° 40' 14,9" BT
4. 2004UR04: Intrusi di Desa Sutojayan, 7° 45' 08,3" LS - 110° 38' 03,2" BT
5. PDL-1: Intrusi di lereng timur G. Pendul
6. PDL-2: Intrusi di lereng timur G. Pendul
7. SB-MRK: Intrusi di G. Merak
8. SB-BTK: Intrusi di G. Butak
9. PLB1 & BYT9A: Lava bantal Bayat, Dusun Kalinampu (lokasi 1)
10. BYT4: Tuf hitam berasosiasi dengan lava bantal Bayat di Kalinampu (lokasi 1)
11. GH051: Sill di selatan Desa Tegalrejo (jalan ke Dusun Cermo) (lokasi 5)
12. SB5.1: Aliran lava basal bagian bawah, air terjun K. Tegalrejo (lokasi 5)

Hubungan Genesa Antara Batuan Beku Intrusi dan Ekstrusi di Perbukitan Jiwo, Kecamatan Bayat, Klaten Jawa Tengah



Gambar 7. Diagram variasi batuan beku intrusi (○) dan batuan ekstrusi (◼) di daerah penelitian.

bagian tepi semakin kaya Na. Sementara itu peningkatan rasio $Ca/Ca+Mg+Fe$, karena penurunan MgO , menandakan bahwa piroksen klinto di dalam batuan intrusi lebih bersifat diopsidik, sedang di batuan ekstrusi lebih augitik. Kandungan K_2O relatif tinggi mungkin mengindikasikan bahwa sumber magma asal lebih condong ke kapur alkali daripada toleit. Hal ini sangat umum dijumpai di dalam batuan beku di lingkungan busur gunungapi seperti di Indonesia sekarang ini.

Analisis data geokimia tersebut menunjukkan telah terjadinya proses diferensiasi normal atau fraksionasi kristal dari magma yang menghasilkan batuan intrusi dan batuan ekstrusi di daerah penelitian.

PEMBAHASAN

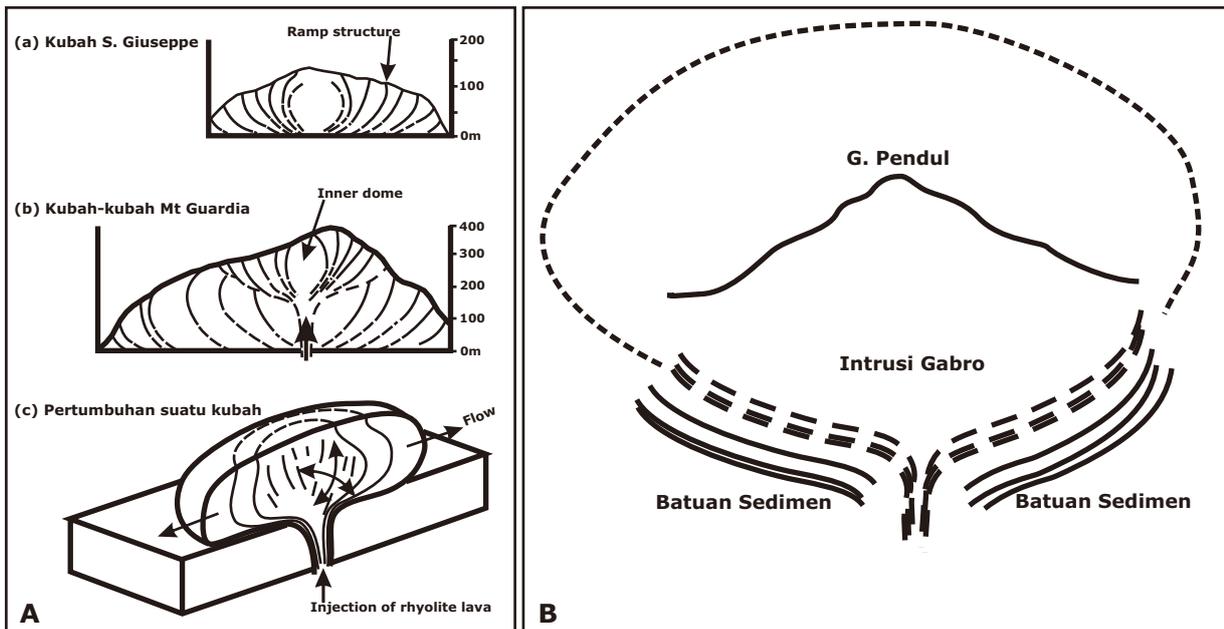
Secara petrografi batuan beku intrusi dan ekstrusi di daerah penelitian mempunyai komposisi mineral yang sama; komposisi utama adalah plagioklas dan piroksen klinto, komposisi tambahan ialah mineral opak. Perbedaan keduanya terletak pada kehadiran gelas gunungapi; batuan ekstrusi secara jelas mempunyai gelas gunungapi, sedangkan batuan intrusi tersusun semuanya berupa kristal. Sementara itu berdasar analisis kimia, keduanya berkomposisi basa ($SiO_2 < 53\%$). Dengan demikian penulis sependapat dengan Soesilo (2003) bahwa secara pemerian batuan intrusi G. Pendul adalah gabro, sedangkan batuan ekstrusinya disebut basal.

Dari kedudukan stratigrafi, batuan intrusi menerobos Formasi Gamping-Wungkal, sedangkan batuan ekstrusi merupakan bagian dari Formasi Kebo-Butak yang posisinya di atas Formasi Gamping-Wungkal (Surono dkk., 1992; Samodra & Sutisna, 1997). Secara radiometri umur batuan intrusi antara 33,15 - 29,7 jtl, tidak jauh berbeda dengan umur batuan ekstrusi (33-31,29 jtl.). Lebih dari itu, letak keduanya cukup berdekatan (2-5 km), tidak dibatasi oleh sesar besar yang memungkinkan keduanya berasal dari tempat dan kemudian tersesarkan untuk saling berdekatan. Umur agak lebih muda pada batuan intrusi (29,7 jtl.) dipandang sebagai umur kristalisasi di bawah permukaan pada tubuh intrusi bagian dalam yang lebih lambat dibanding dengan bagian tepi ataupun batuan beku luar. Kemungkinan lain, memang ada penerobosan magma baru di daerah ini tetapi masih dalam

periode magmatisme yang sama. Adapun didapatnya umur batuan intrusi Pendul yang jauh lebih muda lagi (24 jtl.; Soeria-Atmadja dkk., 1994) diperkirakan terjadi reaktivasi magma basa pada periode yang berbeda. Namun hal ini juga umum dijumpai di dalam busur magma gunungapi yang tumpang tindih (*super imposed volcanisms*).

Tekstur batuan intrusi bervariasi dari kasar, sedang hingga halus (holokristalin fanerik, porfiri sampai afanit). Kristal plagioklas berstruktur zoning normal, di dalamnya masih mengandung inklusi gelas disamping piroksen dan mineral opak. Sekalipun dalam jumlah sedikit di dalam batuan intrusi bertekstur halus masih terdapat gelas dan mikrolit plagioklas dan piroksen. Data tersebut menunjukkan bahwa gabro G. pendul termasuk batuan intrusi dangkal. Berhubung kontakannya selaras atau menumpang di atas batuan yang lebih tua (Gb. 5) maka batuan beku tersebut berbentuk sill. Karena sill itu mempunyai struktur kelopak (*ramp structure*) seperti kubah lava di Lipari, Italia (Gb. 8), maka secara vulkanologi batuan itu dapat dipandang sebagai kubah bawah permukaan (*cryptodome*). Selain kekar lembar yang mengelopak, batuan intrusi itu juga ditandai dengan adanya breksi autoklastika yang ditemukan pada lokasi 6 dan umum dijumpai di bagian tepi dari tubuh intrusi dekat permukaan. Material karbonat berwarna putih berbutir halus yang ditemukan pada kontak dengan batuan samping, tetapi tidak dijumpai di dalam batuan di bawahnya diduga sebagai hasil ubahan hidrotermal pada saat proses pendinginan dari magma intrusi dangkal tersebut.

Seperti dinyatakan di atas, baik secara petrologi megaskopis, petrografi maupun geokimia, antara batuan intrusi dengan batuan ekstrusi mempunyai banyak kesamaan. Komposisi mineral utama adalah plagioklas dan piroksen sedang tambahannya adalah mineral opak. Kedua batuan itu mempunyai struktur diabas. Butiran kristal di dalam batuan intrusi yang bertekstur sedang-halus relatif sama dengan fenokris di dalam batuan ekstrusi (Gb. 6). Sekalipun di dalam batuan intrusi hanya dijumpai sedikit gelas dan mikrolit, tetapi komponen tersebut semakin nyata di dalam batuan ekstrusi. Bahkan di dalam tuf hitam (Bronto dkk., 2002) gelas gunungapi menjadi bahan penyusun yang sangat dominan. Dari analisis kimia, seluruhnya termasuk batuan beku basa; hanya nama petrografinya yang berbeda, batuan intrusi



Gambar 8. A. Penampang kubah riolit di selatan Lipari Italia (a dan b) serta kenampakan tiga dimensi pertumbuhannya (c, Richardson, 1978 vide Cas & Wright, 1987, h85).

B. Model kubah bawah permukaan intrusi gabro G. Pendul dengan struktur kekar lembar mengelopak (*ramp structure*).

dinamakan gabro sedang batuan ekstrusi disebut basal. Berdasarkan hal tersebut, didukung dengan data umur yang sama, batuan intrusi sebagai magma dangkal serta letaknya dengan batuan ekstrusi saling berdekatan, maka diinterpretasikan bahwa antara batuan intrusi dengan batuan ekstrusi itu mempunyai hubungan yang sangat erat. Gabro G. Pendul sebagai batuan intrusi semi gunungapi (*subvolcanic intrusion*), sedangkan basal sebagai magma yang keluar ke permukaan bumi dari sumber yang sama.

Berhubung aliran lava basal berstruktur bantal di Dusun Kalinampu (lokasi 10 dan Desa Nampurejo (lokasi 2) terletak paling dekat dengan sebaran intrusi gabro G. Pendul, boleh jadi keduanya terkait langsung. Intrusi G. Pendul sebagai bekas dapur magma atau kantong magma suatu pusat gunungapi purba, sedangkan aliran lava basal bersama tuf hitam (Bronto dkk., 2002) merupakan produk ekstrusinya. Hal ini agak berbeda dengan aliran lava basal di G. Sepikul (lokasi 3) dan di Kali Cermo (lokasi 5). Pada kedua lokasi tersebut lava agaknya berasal dari titik erupsi insitu. Di G. Sepikul aliran lava basal berstruktur bantal mempunyai pola memusat ke puncak G. Sepikul bagian utara, sehingga tempat itulah kira-kira letak titik erupsinya. Di Kali Cermo, lava basal berasosiasi dengan batuan intrusi dangkal yang membentuk sill dan retas

dimana keduanya saling berhubungan. Dengan demikian dapat diperkirakan bahwa pada umur Tersier Bawah (sekitar 30 jtl.) di daerah Bayat ini terdapat gunungapi bawah laut yang berpusat di G. Pendul. Gunungapi purba ini mempunyai gunungapi parasit, antara lain di G. Sepikul dan K. Cermo. Pembentukan mineral ubahan yang sangat intensif di kawasan G. Pendul, G. Sepikul dan Kali Cermo, serta ditemukannya urat-urat barit di G. Sepikul (Bronto dkk., 2002) menunjukkan bahwa proses alterasi hidrotermal bawah laut itu terjadi di fasies pusat gunungapi. Dengan kata lain data alterasi hidrotermal ini juga mendukung bahwa daerah Perbukitan Jiwo dan sekitarnya merupakan bagian dari fasies pusat gunungapi.

KESIMPULAN

Batuan beku di G. Pendul, Perbukitan Jiwo adalah gabro yang merupakan tubuh intrusi dangkal berbentuk kubah lava bawah permukaan. Berdasarkan posisi stratigrafi dan petrologinya, batuan intrusi ini berhubungan erat dengan aliran lava basal dan tuf hitam di dekatnya yang termasuk Formasi Kebo-Butak. Batuan intrusi dangkal ini dipandang sebagai kantong magma gunungapi purba di daerah Bayat, sedangkan lava basal yang berasosiasi dengan tuf hitam di

Kalinampu dan Nampurejo merupakan produk ekstrusinya. Batuan intrusi G. Pendul termasuk fasies pusat gunungapi, sementara itu lava basal G. Sepikul dan Kali Cermo dihasilkan oleh erupsi parasitnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Bapak Ir. Djoko Subandrio, Kepala Sub Bidang Laboratorium, Bidang Pengembangan Laboratorium dan Sarana Survei Geologi, Puslitbang Geologi, yang telah membantu memfasilitasi pengolahan data di laboratorium Petrologi dan Geokimia berupa pembuatan sayatan tipis batuan dan analisis kimia batuan. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Sdr. Wahyu Dinor, mahasiswa Teknik Geologi STTNas Yogyakarta yang telah membantu selama bekerja di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bijaksana, S., dkk., 2004, Determining the Location of Pillow Lava Eruption in Berbah Yogyakarta, Lokakarya Stratigrafi Paleogen Jawa, tanggal 28 September 2004, UGM Yogyakarta.
- Bronto, S. & S. Mulyaningsih, 2001, Volcanostratigraphic Development from Tertiary to Quaternary: A Case Study at Opak River, Watuadeg-Berbah, Yogyakarta, Abstr., 30rd Ann. Conv. IAGI & 10th Geosea Reg. Cong., G67-P, Yogyakarta, 10-12 Sept. 2001, 158.
- Bronto, S. & S. Pambudi, 2001, Preliminary Study on Volcanic Stratigraphy in the Candisari Area, Wukirharjo Village, Prambanan Yogyakarta, Abstr., 30rd Ann. Conv. IAGI & 10th Geosea Reg. Cong., G67-P, Yogyakarta, 10-12 Sept. 2001, 159.
- Bronto, S., S. Pambudi & G. Hartono, 2002, The Genesis of Volcanic Sandstones Associated with Basaltic Pillow Lavas: A Case Study at the Djiwo Hills, Bayat Area (Klaten, Central Java), *J. Geol. Dan Sumber Daya Mineral*, v. XII, n. 131, 2-16.
- Cas, R.A.F. & J.V. Wright, 1987, *Volcanic Successions, Modern and Ancient*, Allen & Unwin, London, 528 p.
- Hartono, G., 2001, Studi Gunungapi Tersier: Sebaran Pusat Erupsi dan Petrologi di Pegunungan Selatan Yogyakarta, Tesis Magister, Program Pasca Sarjana ITB, Bandung, 168 (tak terbit).
- Martodjojo, S., & Djuhaeni, 1996, *Sandi Stratigrafi Indonesia*, Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, Ikatan Ahli Geologi Indonesia. Jakarta, 1-25.
- Peccerillo, A. & Taylor, S.R., 1976, Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey, *Contr. Min. Petrol.*, 58, 63-81.
- Samodra, H. & K. Sutisna, 1997, Peta Geologi Lembar Klaten Jawa Tengah, skala 1 : 50.000, *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Soeria-Atmadja, R., R.C. Bellon, H. Pringgoprawiro, M. Polve & B. Priadi, 1994, Tertiary magmatic belts in Java, *J. SE Sci.*, 9, n. 1-2, 13-27.
- Soesilo, D., 2003, Batuan kristalin dalam pandangan Sandi Stratigrafi Indonesia 1996 (Baru): Penerapannya di Bayat & Karangasambung Jawa Tengah, Lokakarya Stratigrafi Pulau Jawa, *Puslitbang Geologi*, Bandung, 20-21 Oktober 2003, 6.
- Sumarso & Ismoyowati, T., 1975, A Contribution to the Stratigraphy of the Jiwo and their Southern Surroundings, *Fourth IPA Convention*, Jakarta.
- Surono, B. Toha, I. Sudarno & S. Wirjosujono, 1992, Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa, skala 1 : 100.000, *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Tatsumi, Y., M. Sakuyama, H. Fukuyama & I. Kushiro, 1983, Generation of arc basalt magmas and geothermal structure of the mantle wedge in subduction zones, *J. Geophys. Res.*, 88, 859-879.
- Williams, H., F. J. Turner & C. M. Gilbert, 1982, *Petrography: An Introduction to the Study of rocks in thin sections (2nd ed.)*, W. H. Freeman & Co., San Francisco, USA.