

## STUDI BATUAN VOLKANIK DAN BATUAN UBAHAN PADA LAPANGAN PANASBUMI GEDONGSONGO KOMPLEKS GUNUNGAPI UNGARAN JAWA TENGAH

*Sri Indarto \*, Djedi S. Widarto\*, Eddy Gaffar Zulkarnain\*, dan Iwan Setiawan\**

Sri Indarto, Djedi S. Widarto, Eddy Gaffar Zulkarnain, dan Iwan Setiawan, Studi Batuan Vulkanik dan Batuan Ubahan Pada Lapangan Panasbumi Gedongsongo Kompleks Gunungapi Ungaran Jawa Tengah, *RISSET – Geologi dan Pertambangan Jilid 16 No.1 Tahun 2006*, hal. 30 -43 , 9 gambar , 1 tabel.

**Abstract:** Gedongsongo is located at the south flank of the Ungaran Mountain within the Ungaran Depression Volcanic Complex, Central Java. Geothermal activities are characterized by vapour dominated fumaroles, hot springs, and hydrothermally altered rocks. Geological data obtained from field and laboratory works, consist of : (i) interlayering laharic breccia with basaltic andesite fragments and lava flow, alteration rocks, and bombs (basaltic andesite in composition), (ii). The southwest-northeast normal fault along northern part of mountain which is triggered the pyroxene andesite intrusion, assumed as a heat source and have been controlled to the altered rock formation at the area, (iii). The north-south strike slip fault through the Item River triggered hot spring and hot vapour dominated fumaroles to the surface, (iv). Altered rocks, which are characterized by halloysite, kaolinite, amorphous silica, cristobalite, illite, marcasite, and pyrite. Those alteration mineral assemblages located close to the fumarole and hot spring along the Item River. The alteration mineral assemblages suggest that the temperature of reservoir rock beneath the Gedongsongo geothermal field ranges from 70°C - 200°C and acidic environment.

**Sari:** Gedongsongo terletak di bagian lereng selatan Gunungapi Ungaran, yang termasuk kawasan Kompleks Gunungapi Depresi Ungaran Jawa Tengah. Indikasi kegiatan panasbumi Gedongsongo dicirikan oleh adanya fumarola yang didominasi oleh uap, mataair panas, serta batuan ubahan. Data yang diperoleh dari lapangan dan laboratorium terdiri dari : (i). Selang-seling breksi laharik berfragmen andesit basaltik dengan aliran lava, intrusi andesit piroksen, batuan ubahan, dan bom (berkomposisi andesit-basaltik). (ii). Sesar normal yang berarah baratdaya – timurlaut di sepanjang tebing gunung bagian utara yang diduga berkaitan erat dengan munculnya intrusi andesit piroksen sebagai sumber panas bawah permukaan. (iii). Sesar geser yang mempunyai arah utara – selatan melalui sungai Item ditandai dengan munculnya mataair panas, uap panas dan fumarola ke permukaan. (iv). Batuan ubahan yang terbentuk ditunjukkan oleh munculnya mineral – mineral haloisit, kaolinit, silika amorf, kristobalit, ilit, markasit, dan pirit. Batuan ubahan tersebut terjadi dekat dengan sumber fumarola dan mataair panas di sepanjang sungai Item. Asosiasi kelompok mineral ubahan yang terbentuk, dapat menyarankan suhu batuan reservoir bawah permukaan lapangan panasbumi Gedongsongo berkisar dari 70°C - 200°C dan bersifat asam.

### PENDAHULUAN

Lapangan panasbumi Gedongsongo

terletak pada lereng bagian selatan, Kompleks Depresi Gunungapi Ungaran, Jawa Tengah, diindikasikan oleh manifestasi permukaan

\*Pusat Penelitian Geoteknologi - LIPI

Keywords: *Gedongsongo, geothermal, laharic breccia, lava flow, temperature, altered rock.*

ubahan. Manifestasi tersebut dikontrol oleh kondisi geologi terutama litologi dan struktur seperti mataair panas, fumarola dan batuan geologi, yang menghasilkan suatu produk alterasi, yang secara mineralogi mampu menjelaskan proses hidrotermal yang telah terjadi.

Metoda penelitian yang digunakan adalah melakukan pengamatan geologi yang meliputi morfologi (bentuk - bentuk bentang alam), litologi, struktur geologi, sumber mataair, pemetaan singkapan batuan dan mataair panas yang disertai pengambilan conto batuan dan air panas. Sejumlah conto batuan dianalisis di laboratorium fisika mineral (petrografi) terutama untuk batuan segar dan difraksi sinar-x (*x-ray diffraction*) untuk batuan ubahan. Sedangkan conto air panas dianalisis secara kimia untuk mengetahui kandungan unsur-unsur kimia di dalamnya.

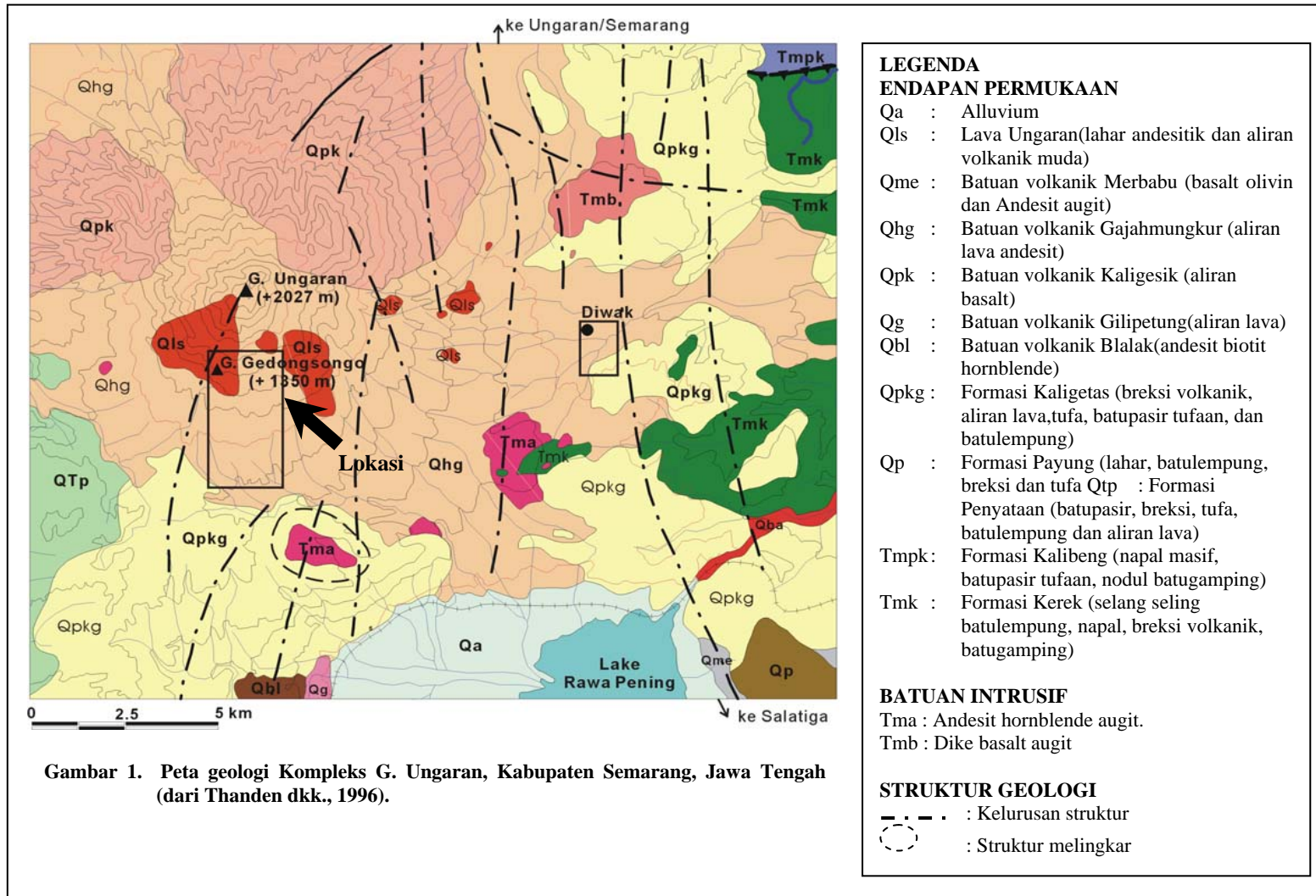
Hasil penelitian diharapkan dapat menjelaskan keadaan geologi dan terutama memperkirakan suhu bawah permukaan di lapangan panasbumi Gedongsongo berdasarkan dari alterasi batuan yang terjadi. Lapangan panasbumi di Gedongsongo sementara diinterpretasikan kejadiannya berkaitan erat dengan sisa-sisa kegiatan gunungapi Ungaran. Selain itu penelitian ini juga akan memberikan tambahan data dasar panasbumi untuk kawasan panasbumi Kompleks Depresi Ungaran

## **GEOLOGI KOMPLEKS UNGARAN**

Gunung Ungaran termasuk gunungapi tipe B, gunungapi ini tidak diketahui letusannya sejak tahun 1600 hingga sekarang. Secara umum dijelaskan oleh peneliti terdahulu tentang evolusi Gunung Ungaran yang dapat dibedakan menjadi tiga periode (Bemmelen, 1941, dan 1949; van Padang, 1951; Hadisantono dan Sumpena, 1993). Periode I Ungaran Tertua, ke II Ungaran Tua, dan ke III Ungaran Muda. Masing-masing periode dibedakan antara satu terhadap lainnya oleh proses runtuhnya akibat volkano-tektunik.

Periode I yaitu terbentuknya Gunung Ungaran Tertua pada Pleistosen Bawah, yang produknya terdiri dari aliran piroklastik, lava andesit basaltik dan tufa andesit augit hornblende, yang diendapkan sebagai Formasi Damar Tengah dan Damar Atas. Pada periode ke II terbentuk Gunung Ungaran Tua, produknya basalt andesit augit - olivin, dan aliran piroklastik yang diendapkan sebagai Formasi Notopuro, yang terletak tidak selaras di atas Formasi Damar. Berakhirnya periode ini bersamaan dengan sistem sesar volkano-tektunik ( Bemmelen, 1941 ). Akibat dari fase deformasi ini G. Ungaran Tua hancur dan tersisa tiga blok (bagian) yang dikelilingi oleh suatu sistem sesar cincin dimana Formasi Notopuro sedikit terlipat. Akibat sistem sesar cincin ini maka terjadi beberapa kerucut parasit seperti G. Turun, G. Mergi dan G. Kendalisodo (Bemmelen, 1941). Pada periode ke III, G. Ungaran Muda terbentuk melalui pusat letusan G. Ungaran Tua. Hadisantono dan Sumpena (1993), dari pengamatannya di lapangan menjelaskan bahwa G. Ungaran Muda banyak menghasilkan aliran lava yang berkomporsi berkisar basaltik hingga andesitik, dan aliran piroklastik. Aliran piroklastik ditemukan hampir di seluruh bagian lereng-lerengnya yang sebagian telah tertutup oleh endapan jatuhnya piroklastik muda. Endapan aliran piroklastik lebih tua diduga berasal dari G. Ungaran Tua, dapat ditemukan di lereng utara yaitu daerah Gunungsari. Sedangkan lahar tersingkap di lereng dan kaki barat laut, tenggara, barat daya. Data petrografi dari peneliti terdahulu menunjukkan bahwa komposisi batuan G. Ungaran Tua adalah andesit basaltik augit-olivin, dan G. Ungaran Muda adalah andesit augit-hornblende tanpa olivin. Gambar 1, menunjukkan sebaran satuan geologi permukaan G. Ungaran dan sekitarnya hasil pemetaan Thanden, dkk. (1996).

Yasuaki KOHNO, dkk., 2006 telah menentukan jenis batuan volkanik, umur dan posisi Gunungapi Ungaran terhadap lingkungan tektoniknya. Berdasarkan analisis geokimia conto batuan volkanik yang



ditunjukkan oleh kandungan ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) % Vs  $\text{SiO}_2$  (%), dan  $\text{K}_2\text{O}$  (%) Vs  $\text{SiO}_2$  (%) bahwa batuan vulkanik Ungaran adalah berkisar traksi andesit basaltik – traksi andesit. Umur batuan tersebut ditentukan dengan *K-Ar dating* menunjukkan kisaran  $1,42 \pm 0,5$  (Ma) hingga  $0,52 \pm 0,06$  (Ma). Gunungapi Ungaran ini secara tektonik terletak pada busur belakang (*back arc side volcano*). Pengamatan morfologi di lapangan (Hadisantono dan Sumpena, 1993), menunjukkan adanya beberapa kelurusan gawir sesar. Sistem sesar di G. Ungaran diduga berkaitan erat dengan peristiwa vulkanik dan tektonik yang mempengaruhinya. Sesar yang berkembang di kompleks G. Ungaran terdiri dari sesar normal, sesar geser dan sesar naik. Sesar geser dan sesar naik dapat ditemukan di daerah kaki sebagai kelanjutan dari sesar normal. Sesar normal dapat diamati terbentuk mengelilingi G. Ungaran, yang terjadi akibat struktur runtutan. Adapun sesar-sesar utama mempunyai arah umum baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut. G. Ungaran boleh dianggap sebagai suatu gunungapi yang telah padam dan hanya menampakkan sisa-sisa kegiatan di beberapa tempat, diantaranya : Kawah Item ( diameter  $\pm 1350$  m ) yang terletak di lereng selatan di daerah Gedongsongo, dan Kawah Paramasan (  $\pm 750$  m ) di Kali Paramasan di lereng utara-baratlaut. Kawah Item merupakan lapangan air panas, fumarola dan ubahan hidrotermal. Sedangkan di Gonoharjo, Nglimut di lereng utara dan Diwak di tepian timur kompleks Ungaran indikasi panasbumi yang ditemukan hanya berupa sumber air panas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Lapangan Panasbumi Gedongsongo

Daerah kawah Item Gedongsongo yang terletak di lereng selatan gunungapi Ungaran menunjukkan fenomena geologi panasbumi yang menarik, diantaranya fumarola, mataair panas, batuan ubahan kuat, dan struktur geologi (*foto 1a,b,c*). Daerah Gedongsongo

merupakan morfologi perbukitan bergelombang yang ditoreh oleh sungai Item yang arah alirannya relatif lurus ke arah selatan, berlembah sempit dan curam membentuk kenampakan seperti huruf “V”. Morfologi tersebut dikontrol oleh jenis batuan dan struktur geologi. Di bagian selatan daerah Gedongsongo merupakan morfologi perbukitan bergelombang yang disusun oleh batuan breksi laharik selang seling dengan aliran lava produk G. Ungaran Muda. Sebagian breksi laharik dan aliran lava mengalami ubahan hidrotermal, terutama yang dekat dengan sumber air panas dan fumarola. Di bagian utara tampak kelurusan struktur yang berarah timurlaut-baratdaya yang memotong morfologi melalui tebing-tebing perbukitan (*foto 1a*). Kelurusan struktur diduga merupakan sesar normal yang dapat memicu munculnya kegiatan hidrotermal. Batuan yang ditemukan di daerah Gedongsongo dapat dibedakan dalam empat satuan, yaitu : satuan breksi laharik selang-seling aliran lava, intrusi andesit, satuan batuan ubahan, dan satuan bom (*gambar 2*).

### Analisis Laboratorium

Batuan daerah Gedongsongo dapat dikelompokkan ke dalam empat satuan batuan, yaitu satuan breksi laharik-aliran lava, intrusi andesit, satuan batuan ubahan, dan satuan bom. Sejumlah conto batuan yang diambil dan mewakili daerah penelitian dianalisis di laboratorium dengan analisis petrografi dan difraksi sinar x (xrd). Analisis petrografi digunakan untuk mengetahui struktur, tekstur, dan kandungan mineral batuan di dalam sayatan tipis batuan. Sedangkan xrd digunakan untuk mengetahui mineral ubahan dan jenis mineral lempung di dalam conto batuan ubahan.

### Petrografi

#### *Satuan breksi laharik – aliran lava*

Secara visual **breksi laharik** berwarna abu-abu hitam hingga coklat kemerahan, terdiri dari fragmen dan matriks (*foto 2*). Ukuran fragmen berkisar 0,5 cm – 1 m dengan



**Foto 1a. Intrusi andesit piroksen melalui sesar normal yang berarah barat daya-timur laut, pada morfologinya nampak terpotong oleh sesar geser berarah utara-selatan melalui S. Item.**



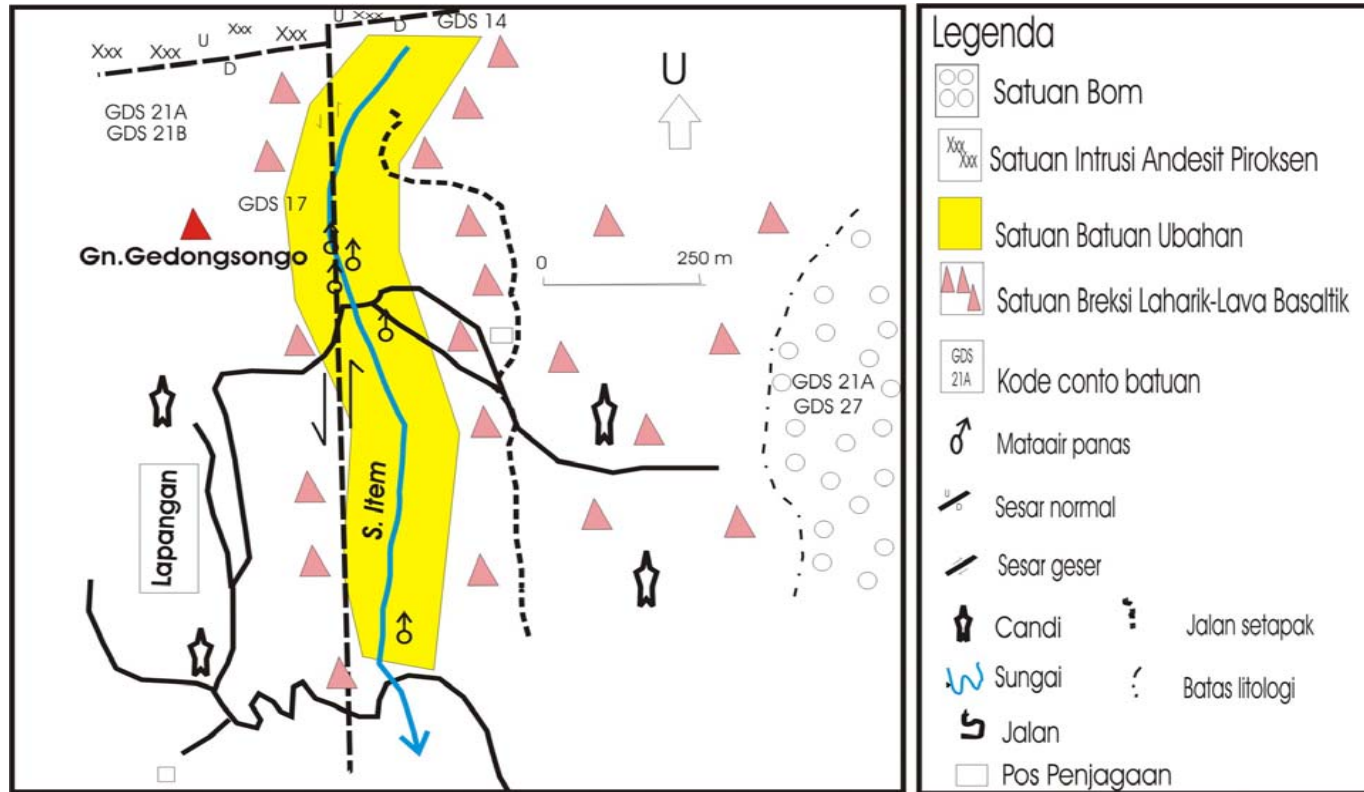
**Foto 1b. Manifestasi fumarola pada retakan breksi laharik alterasi, dan sesar geser arah utara-selatan melalui S. Item.**



**Foto 1c. Singkapan breksi laharik teralterasi ( mineral ubahan : ilit, kaolinit, silika) dan fumarola, di S. Item**



**Foto 1d. Sumber mataair panas dalam batuan breksi laharik alterasi.**



Gambar 2. Lokasi penyebaran batuan dan titik-titik pengambilan percontohan batuan di lapangan panasbumi Gedongsongo, lereng selatan G. Ungaran

pemilahan sangat buruk. Fragmen terdiri dari andesit berwarna abu-abu yang sebagian tampak mineral penyusunnya berupa felspar dan hornblende, serta masadasar berukuran sangat halus (gelas vulkanik). Fragmen berwarna coklat kemerahan juga terlihat adanya felspar, hornblende, dan masadasar gelas vulkanik. Penyebaran breksi laharik sangat luas dan paling dominan (*gambar 2*). Breksi ini kadang-kadang ditemukan berselang-seling dengan aliran lava seperti yang ditemukan di tebing sungai Item. Ketebalan breksi laharik semakin ke atas semakin menipis dan bagian bawahnya mencapai 5 m, sedangkan aliran lava dari bawah ke atas relatif sama ketebalannya yaitu  $\pm$  1,5 m. Pengukuran arah jurus dan kemiringan perlapisan batuan pada breksi laharik menunjukkan  $U 200^\circ T/ 15^\circ$ .

Pengamatan secara visual conto fragmen batuan dari breksi laharik dengan kode Gds-21A memperlihatkan warna abu-abu keputihan, masif, keras, sedikit terdapat lobang-lobang bekas gas dan teroksidasi, tekstur porfiritik, fenokris agak banyak sebagian dari jenis felspar, ukuran mencapai 4 mm dengan masadasar gelas vulkanik bersama-sama dengan mineral-mineral yang sangat halus. Pengamatan secara mikroskopis memperlihatkan tekstur porfiritik, fenokris berukuran ( 0,1 - 4 ) mm, bentuk euhedral - subhedral, dan masadasar sangat halus, tersusun oleh plagioklas, gelas vulkanik, piroksen, amfibol, dan mineral opak. *Plagioklas* (45%), sebagai fenokris dan masadasar berupa mikrolit (berbentuk jarum), fenokris berbentuk euhedral-subhedral, berukuran (0,1 - 4 ) mm, sebagian dari jenis *andesin* ( sudut penggelapan  $20^\circ$  ) dan *labradorit* (  $29^\circ$  ). *Gelas vulkanik* ( 35% ), tidak berwarna - abu-abu, sebagai masadasar. *Lamprobolit/ hornblende basaltik* ( 12% ), sebagai fenokris, warna coklat kehijauan, euhedral - subhedral, ukuran ( 0,1 - 2 ) mm, sudut penggelapan hampir sejajar ( $5^\circ$ ), pleokroisme agak kuat sebagian teroksidasi. *Piroksen* ( 6% ), sebagai fenokris, tidak berwarna - hijau pucat, euhedral - subhedral, ukuran ( 0,1 - 1,5 ) mm, mempunyai sudut

penggelapan miring dan sebagian sejajar, sehingga ditentukan sebagai jenis *augit* dan *hipersten*. *Mineral opak* ( 2% ), sebagai inklusi pada fenokris dan sebagian sebagai masadasar bersama-sama gelas vulkanik, bentuk subhedral - anhedral, ukuran halus hingga 0,4 mm. Mengacu klasifikasi batuan pada Williams, Turner, Gilbert, (1954), bahwa batuan ini dapat dinamakan **Andesit – basaltik** (*foto 2a*).

Pengamatan secara visual conto fragmen batuan Gds-21B memperlihatkan warna coklat kemerahan, masif, keras, tekstur porfiritik, sedikit terdapat lobang-lobang bekas gas dan teroksidasi, terlihat felspar dan mineral mafik sebagai fenokris yang berukuran mencapai 4 mm, dan masadasar sangat halus. Secara mikroskopis memperlihatkan tekstur porfiritik, terdiri dari fenokris dan masadasar.

Fenokris berbentuk euhedral - subhedral, ukuran ( 0,1 - 4 ) mm, dengan masadasar gelas vulkanik dan mineral sangat halus. Komposisi mineralnya terdiri dari plagioklas, gelas vulkanik, amfibol, piroksen dan mineral opak. *Plagioklas* (40%), bentuk euhedral-subhedral, sebagian berzoning, ukuran (0,1-4) mm, umumnya dari jenis *andesin* ( sudut penggelapan :  $21^\circ - 23^\circ$ ) sebagai fenokris dan masadasar berbentuk mikrolit. *Gelas vulkanik* (25%), tidak berwarna - coklat kemerahan, sebagai masadasar. *Lamprobolit (hornblende basaltik)* 20%, coklat - hijau, bentuk euhedral - memanjang, ukuran (0,1 2) mm, belahan dua arah, pleokroisme sedang - kuat, penggelapan hampir sejajar ( $5^\circ$ ), sebagai fenokris. *Piroksen* (8%), tidak berwarna - hijau pucat, euhedral, ukuran (0,1 - 1) mm, sebagian berkembaran, jenis *augit*, sebagai fenokris. *Mineral opak* (7%), subhedral-anhedral, ukuran (halus - 0,3) mm, sebagai inklusi pada plagioklas, lamprobolit, dan piroksen sebagian sebagai masadasar bersama gelas vulkanik. Fragmen batuan tersebut dapat dinamakan **Andesit-basaltik** (*foto 2b*). Kedua fragmen andesit – basaltik tersebut dibedakan atas dasar warna, yaitu andesit - basaltik abu-abu dan coklat kemerahan. Secara petrografi perbedaan warna tersebut dapat dijelaskan, bahwa batuan

andesit-basaltik abu-abu (Gds.21 A) mengandung gelas vulkanik yang berwarna abu-abu – tidak berwarna dan jumlah plagioklas banyak, dan jumlah lamprobolit, piroksen, mineral opak sedikit. Sedangkan andesit-basaltik yang berwarna coklat kemerahan (Gds. 21 B) mengandung gelas vulkanik berwarna coklat kemerahan dan jumlah lamprobolit (hornblende basaltik), piroksen, dan mineral opak lebih banyak, serta plagioklas agak berkurang. Ditinjau dari kandungan jenis plagioklasnya, andesit-basaltik abu-abu keputihan (Gds. 21 A) mengandung andesin dan labradorit,

sedangkan andesit-basaltik coklat kemerahan (Gds. 21 B) hanya mengandung andesin. sehingga dapat diinterpretasikan bahwa andesit-basaltik abu-abu keputihan bersifat agak lebih basa daripada andesit-basaltik berwarna coklat kemerahan. Komposisi mineral kedua fragmen andesit-basaltik tidak dijumpai olivin, apabila dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu (Hadisantono dan Sumpena (1993)), maka batuan tersebut dapat digolongkan sebagai batuan vulkanik hasil kegiatan gunungapi Ungaran Muda.

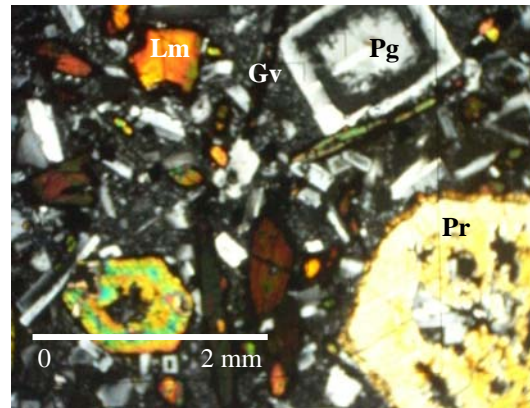
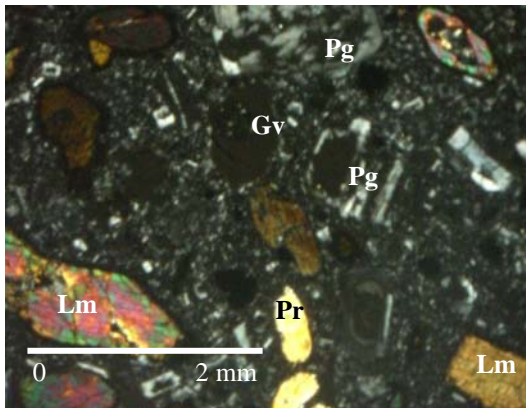


Foto 2a dan 2b. Fotomikrografi batuan andesit-basaltik ( Gds21a dan Gds 21b) sebagai fragmen breksi laharik, tekstur porfiritik, fenokris (plagioklas, lamprobolit, piroksen) dalam masadasar (mikrolit plagioklas dan gelas vulkanik).

*Aliran lava* secara visual berwarna coklat keputihan, struktur aliran serta terdapat lobang-lobang bekas gas, agak lapuk, tekstur porfiritik yang ditunjukkan oleh hadirnya kristal-kristal dan masadasar gelas vulkanik. Batuan segar sulit ditemukan, umumnya telah teroksidasi dan terubah menjadi lempung. Batuan ini berselang – seling dengan breksi laharik. Singkapan ditemukan di tebing sungai Item, tebal  $\pm 1,5$  m. Secara petrografi memperlihatkan struktur aliran dari gelas

vulkanik warna hijau kecoklatan (70%) sebagai masadasar, felspar (20)% dan kristal-kristal teroksidasi (10)% (ukuran 0,2 – 1) mm yang tertanam di dalam gelas vulkanik. Bukti lava diperkuat oleh hasil analisis difraksi sinar x (*xrd*) pada conto batuan no. Gds-16, Gds-17 A, Gds-21 (*tabel 1*) menunjukkan adanya anortit yaitu sebagai indikasi lava (Keer P.D., 1959), dan batuan ini dapat dinamakan *Lava basaltik* (*foto 3*).



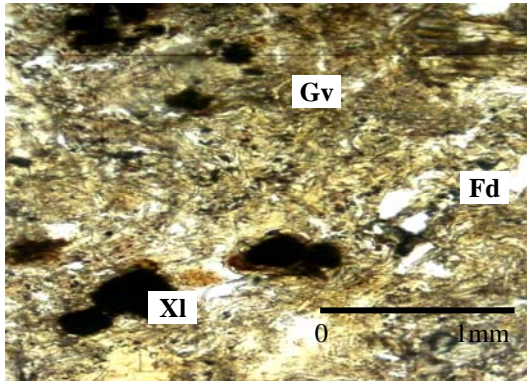


Foto 3. Fotomikrografi aliran lava (Gds. 17 A), menunjukkan struktur aliran dan alterasi, dimana gelas vulkanik (Gv) terubah menjadi mineral lempung dan sebagian teroksidasi warna hijau kecoklatan sebagai masa dasar tampak menyelimuti kristal-kristal teroksidasi (XI) dan felspar (Fd).

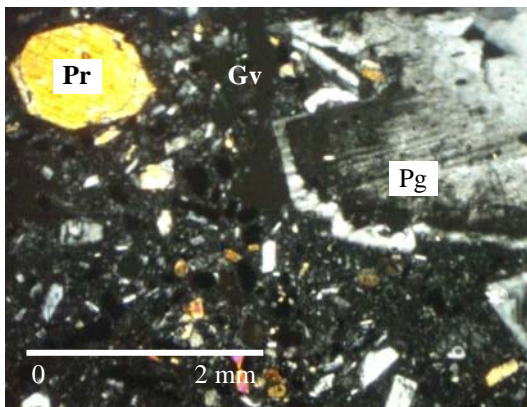


Foto 3. Fotomikrografi andesit piroksen (Pr) (Gds-14), plagioklas (Pg), piroksen sebagai fenokris dan masa dasar (*lath like*), gelas vulkanik (Gv) sebagai masa dasar

### Satuan intrusi andesit

Satuan intrusi mencerminkan topografi yang menonjol dan menjulang tinggi dibandingkan dengan morfologi disekitarnya, terletak di bagian utara daerah Gedongsongo. Munculnya intrusi diinterpretasikan melalui bidang rekahan atau sesar yang berarah lebih kurang baratdaya - timurlaut yang dicerminkan oleh kelurusan morfologi bertebing curam (gambar 2, dan foto 1a).

Secara megaskopis memperlihatkan warna abu-abu keputihan, masif, tekstur porfiritik, ukuran fenokris mencapai 4 mm, komposisi mineral yang terlihat adalah felspar, mineral mefik (piroksen) dan mineral - mineral yang lebih halus. Sedangkan secara mikroskopis contoh sayatan tipis Gds-14 memperlihatkan

tekstur porfiritik, terdiri dari fenokris berukuran (0,1 - 4) mm bentuk euhedral - subhedral, dan masadasar sangat halus. Tersusun oleh plagioklas, piroksen, mineral opak, dan gelas vulkanik.

*Plagioklas* (55%), bentuk euhedral - subhedral, sebagai fenokris berukuran (0,1 - 4) mm, sebagian jenis andesin, kadang-kadang berzoning, retak-retak, dan sebagai masadasar berbentuk jarum (*lath like*) atau mikrolit plagioklas. *Gelas vulkanik* (20%), tidak berwarna-abu abu, sebagai masadasar bersama-sama mikrolit plagioklas. *Piroksen* (15%), tidak berwarna - hijau pucat, euhedral, sebagai fenokris dan masadasar. Ukuran fenokris (0,1 - 2) mm, jenisnya *hipersten* dan *augit*, sebagian besar teroksidasi kuat menjadi oksida besi (opak), dan juga berfungsi

sebagai masadasar bersama-sama gelas vulkanik dan mikrolit plagioklas. *Mineral opak (10%)*, jumlah cukup banyak, warna hitam, berbentuk butiran dan kubik, ukuran (halus - 0,2) mm, sebagian sebagai inklusi di dalam plagioklas dan piroksen, sebagian yang lain sebagai fenokris dan masadasar. Batuan ini dinamakan *Andesit piroksen (foto 3)*. Berdasarkan terstruktur porfiritik batuan yang ditunjukkan oleh fenokris (plagioklas, piroksen) dan masadasar (gelas vulkanik), diinterpretasikan batuan ini sebagai intrusi dekat permukaan yang diduga mengintrusi breksi laharik dan lava basaltik. Tersingkapnya intrusi tersebut diduga karena faktor pengangkatan dan erosi terhadap batuan sekitarnya.

**Satuan batuan ubahan**

Penyebaran batuan teralterasi kuat menempati area di bagian tengah daerah penelitian, yaitu di sekitar sumber air panas dan fumarola. Mataair panas dan fumarola muncul di tebing-tebing dan dasar lembah sungai Item (*foto 1 b, c, d.*)

Secara visual, batuan alterasi dapat dibedakan berdasarkan warnanya, yaitu batuan

yang berwarna hitam, putih kekuningan, putih keabu-abuan, coklat kemerahan. Ukuran butirnya sangat halus setara dengan lempung – pasir sangat halus. Ubahan mineral batuan terjadi karena pengaruh kegiatan hidrotermal. Untuk mengidentifikasi mineral ubahan digunakan metoda difraksi sinar x (xrd).

**Difraksi sinar x (xrd)**

Metoda ini digunakan untuk mendeteksi jenis mineral lempung dan mineral lainnya yang mempunyai ukuran sangat halus. Contoh batuan ubahan yang dianalisis sebanyak 8 buah.

**Batu ubahan hitam :**

Batuan ubahan berwarna hitam dengan ukuran butir lempung, singkapannya ditemukan di tebing sebelah kanan sungai Item dari arah hulu (*foto 1b, c*). Hasil analisis xrd (*x-ray diffraction*) pada conto Gds-16 menunjukkan : haloisit ( $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), ilit (*hydromuscovite* =  $KAl_2(OH)_2(AlSi_2(O,OH)_{10}$ ), dan anortit (*tabel 1*).

**Tabel 1. Hasil analisis xrd (difraksi sinar x) terhadap conto batuan alterasi di lapangan Panasbumi Gedongsongo, Ungaran-Semarang.**

No.	Kode Conto	Kenampakan visual batuan alterasi dan hasil analisis XRD	Interpretasi suhu bawah permukaan dari mineral ubahan hasil analisis XRD (mengacu klasifikasi mineral ubahan menurut Hayashi, 1991, dan Izawa, 1993)
1.	Gds-16	Lempung hitam, terdiri dari : haloisit, ilit, anortit	haloisit (<100°C, ilit (100°C-200°C), anortit (indikasi lava)
2.	Gds-17	Pasir hitam sangat halus terdiri dari : markasit	markasit (100°C-200°C)
3.	Gds-17 A	Lempung putih kekuningan, terdiri : anortit, kaolinit	anortit (indikasi lava, Keer P.D., 1959), kaolinit dapat terbentuk pada suhu 100°C.
4.	Gds-17 C	Lempung-pasir sangat halus, putih : silika amorf	silika amorf (<80°C )
5.	Gds-17 D	Lempung coklat kemerahan : silika amorf	silika amorf (<80°C)
6.	Gds-18 C	Coklat terdiri : kristobalit, kuarsa	kristobalit (<100°C), kuarsa (> 100°C)
7.	Gds-21	Hitam : anortit, pirit	anortit (indikasi lava), pirit (T°C rendah - tinggi)
8.	Gds-25 C	Putih terdiri : albit	albit (200°C-300°C)

**Haloisit**, termasuk jenis mineral lempung dari group kaolin, atau dalam kelompok mineral alterasi hidrotermal pada lapangan panasbumi (*geothermal*) yang dikelompokkan di dalam Aluminum silikat. Mineral ini dapat terbentuk pada temperatur < 100°C dan derajat keasaman ( pH ) yang asam.

**Ilit (hidromuskovit)**, jenis mineral lempung dari group ilit, termasuk kelompok Aluminosilikat, derajat keasamannya (pH) menunjukkan asam – netral, dan terbentuk pada temperatur ( 100°C – 200°C).

**Batu ubahan putih – kekuningan :**

Batuan tersingkap dekat dengan mataair panas dan fumarola yaitu di sekitar tebing sungai Item. Hasil dari analisis diffraksi sinar x (*xrd*) terhadap conto Gds-17A menunjukkan adanya : anortit, kaolinit.

Anortit adalah sebagai indikasi lava (Keer P.D., 1959), sedangkan kaolinit dapat terbentuk pada kondisi temperatur ( ± 100°C ) dan mempunyai pH bersifat asam (*tabel 1, dan 2*).

Batuan ubahan yang terdapat di sekitar sumber mataair panas dan fumarola setelah sebagian conto batuanya dianalisis dengan diffraksi sinar - x hasilnya menunjukkan dari kumpulan kaolinit, silika amorf, albit, kristobalit, kuarsa, haloisit, ilit, markasit, dan pirit. Mineral alterasi tersebut bilamana dibandingkan dengan standard mineral ubahan menurut Izawa, 1993, dapat memperkirakan gambaran temperatur bawah permukaan pada saat itu berkisar 70°C - 200°C yang pH-nya bersifat asam-asam lemah (*tabel 2*).

**Tabel 2. Hubungan temperatur dan pH kaitannya dengan mineral ubahan yang terbentuk (Izawa, 1993).**

pH	100°C	200°C	300°C
Asam	-----Alunit-----		
	Kristobalit Haloisit	-----Kuarsa----- Kaolinit	Dikit   Pirofilit (Diaspor)
Asam lemah- Netral	Monmorilonit (Smektit/ Fe-saponit)	Ilit/Smektit   Ilit (Klorit/Smektit)	Biotit (Aktinolit) Epidot
Alkalin	-----K-felspar-----		
	(Stilbit) (Heulandit) Mordenit	Prehinit (Yugarawait) Laumontit   Wairakit (Analsit) (Albit)	(Plagioklas)

**Satuan bom**

Bom ini merupakan hasil letusan gunungapi yang diendapkan tidak jauh dari pusat letusan, bentuk membundar tanggung – membundar, ukuran diameter 0,3 m -1 m, warna abu – abu dan coklat kemerahan, kadang-kadang terdapat lobang-lobang bekas gas, menempati posisi paling atas dari urutan batuan di daerah penelitian. Penyebaran di

lereng-lereng, punggung perbukitan, dan lembah – lembah di selatan dan tenggara dari pusat erupsi. Conto batuan andesit berwarna coklat kemerahan (conto no. Gds-26), dan andesit abu-abu (Gds-27) diambil ± 0,5 - 1 km di sebelah tenggara dari lokasi air panas S. Item (*gambar 2*). Secara mikroskopis pengamatan conto sayatan batuan no. Gds-26

memperlihatkan tekstur porfiritik, sebagai fenokris berukuran (0,1 - 2)mm, dan masadasar sangat halus, kadang-kadang terdapat lobang-lobang bekas gas. Komposisi mineral terdiri dari : *Gelas vulkanik* (42%), warna coklat kemerahan sebagai masadasar. *Plagioklas* (25%), sebagai fenokris (0,1-2) mm, berzoning, jenis andesin dan sebagai masadasar mikrolit, *hornblende basaltik* (*lamprobolit* = 20%), pleokroismenya kuat, penggelapan hampir sejajar (5°), ukuran (0,1 - 2) mm, sebagai fenokris. *Piroksen* (7%), (0,2 - 1,5) mm, sebagai fenokris dan masadasar, jenis hipersten dan augit. *Mineral opak* (6%), ukuran (0,1-0,2) mm, sebagai inklusi pada fenokris. Batuan dinamakan **Andesit – basaltik** (foto 4a). Sedangkan pengamatan contoh sayatan tipis no.Gds-27 memperlihatkan tekstur porfiritik, dan terdapat struktur lobang-lobang bekas gas (vesikuler), ukuran fenokris (0,1 - 2) mm, terdiri dari mineral : *Glas vulkanik* (37%), sebagai masadasar berwarna abu-abu – tidak berwarna. *Plagioklas* (35%),

sebagai fenokris (0,2-2)mm, jenis andesin dan labradorit, sering berzoning, sebagian sebagai masadasar berupa mikrolit. *Hornblende basaltik /lamprobolit* (15%), sebagai fenokris (0,1-1) mm. *Piroksen* (10%), (0,2-2)mm, sebagai fenokris, jenis *augit* dan *hipersten*. *Mineral opak* (5%), berukuran halus. Batuan dinamakan **Andesit basaltik** (foto 4b).

Perbedaan warna kedua batuan tersebut disebabkan oleh jumlah kandungan hornblende basaltik, gelas vulkanik, dan plagioklas yang berbeda. Pada andesit basaltik warna coklat kemerahan (Gds 26) lebih banyak mengandung hornblende basaltik (lamprobolit), dan gelas vulkanik coklat kemerahan daripada andesit basaltik abu-abu (Gds. 27), dan andesitik basaltik abu-abu (Gds. 27) diinterpretasikan lebih bersifat basa karena disamping mengandung andesin juga terdapat labradorit, sedangkan pada andesit basaltik coklat kemerahan (Gds. 26) tidak didapatkan labradorit.

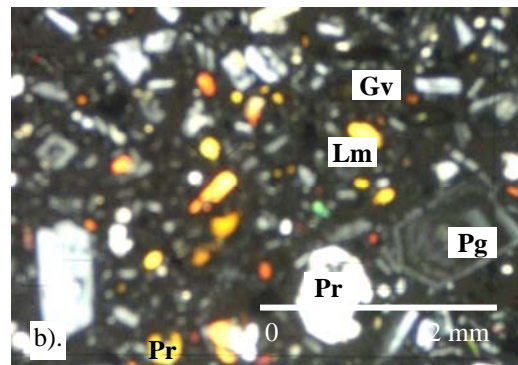
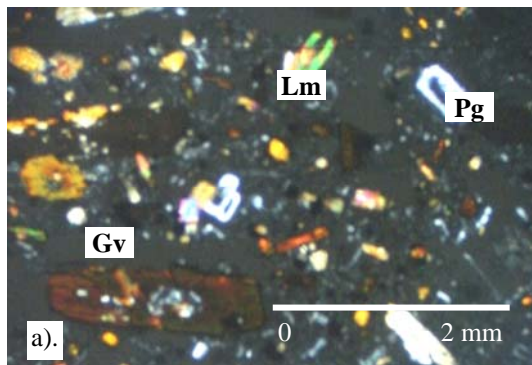


Foto 4a dan 4b. Fotomikrografi andesit basaltik (Gds26 dan Gds 27), bertekstur porfiritik,berkomposisi plagioklas (pg), lamprobolit (Lm), piroksen (Pr), sebagai fenokris, gelas vulkanik (Gv) dan mikrolit sebagai masadasar

## PEMBAHASAN

Daerah penelitian lapangan panasbumi Gedongsongo dijumpai batuan – batuan vulkanik, yaitu breksi laharik berselang – seling dengan lava basaltik, intrusi dekat

permukaan berkomposisi andesit piroksen, batuan ubahan yang batuan asalnya diduga breksi laharik dan lava basaltik, serta satuan bom. Komposisi fragmen batuan breksi laharik, lava, dan bom berkisar andesit – basaltik yang tersusun oleh plagioklas (andesin – labradorit – anortit), piroksen (augit – hipersten), hornblende basaltik

(lamprobolit), gelas vulkanik, tanpa olivin. Apabila batuan tersebut dibandingkan dengan hasil penelitian Hadisantono dan Sumpena (1993), diduga sebagai hasil erupsi Gunungapi Ungaran Muda, yaitu pada evolusi Gunungapi Ungaran periode ke III. Selang-seling breksi laharik dan lava basaltik diinterpretasikan sebagai hasil erupsi yang berlangsung secara berangsur-angsur, sehingga fragmen batuan breksi laharik diduga dapat berasal dari lava basaltik muda atau tertua yang terkikis oleh mobilitas lahar tersebut. Dalam hal ini belum melakukan pembuktian khususnya untuk membedakan lava basaltik muda dan yang tertua baik komposisi kimia maupun umurnya. Namun dari komposisi mineralnya mempunyai kesamaan yang sesuai untuk andesit-basaltik. Sementara berasumsi bahwa fragmen batuan daripada breksi laharik berasal dari kikisan lava basaltik muda, dengan alasan hasil erupsi Gunungapi Ungaran periode III yang menghasilkan batuan – batuan tersebut ditemukan di lereng selatan dan tenggara, diantaranya di Gedongsongo dan sekitarnya. Beranggapan bahwa setelah terbentuknya breksi laharik dan lava basaltik, kemudian diikuti oleh terjadinya sesar normal berarah baratdaya - timurlaut yang ditandai oleh munculnya intrusi andesit piroksen dan sesar geser berarah utara – selatan yang memotong sesar normal tersebut (*gambar 2, foto 1a, 1b*). Tubuh intrusi andesit piroksen bagian dalam diduga berfungsi sebagai pemanas atau batuan kering (*dry rock*), sedangkan sesar geser yang melalui S. Item diinterpretasikan sebagai saluran keluarnya larutan hidrothermal dari dalam bumi menuju permukaan. Efek dan indikasi naiknya larutan hidrothermal ke permukaan adalah terjadinya alterasi pada batuan samping dan munculnya mataair panas, fumarola di sepanjang sesar geser (*gambar 2, foto 1 b, c, d*). Pada saat terjadi sesar normal dan sesar geser diduga dibarengi erupsi secara eksplosiv (letusan) Gunungapi Ungaran yang menghasilkan batuan piroklastik berupa bom – bom diendapkan setempat – setempat antara lain di bagian tenggara daerah Gedongsongo (*gambar 2*).

Menyitir dari hasil penelitian Yasuaki K., dkk., 2006, untuk daerah Gunung Ungaran berdasarkan kandungan  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\%$  Vs  $\text{SiO}_2$  (%), batuan vulkanik Gunung Ungaran termasuk jenis trakhi andesit basaltik - trakhi andesit, dan dari hubungan  $\text{Rb}$  (wt%) Vs  $\text{K}_2\text{O}$  (wt%) batuan tersebut terletak pada *back arc side*. Dari *K-Ar dating* menunjukkan umur batuan vulkanik Gunung Ungaran berkisar  $1,42 \pm 0,5$  (Ma) hingga  $0,52 \pm 0,06$  (Ma), yaitu Pleistosen – Holosen.

Breksi laharik dan lava basaltik sebagian telah mengalami alterasi kuat, terutama yang terletak dekat dengan sumber mataair panas dan sumber uap panas (fumarola). Mineral alterasi yang terbentuk adalah jenis haloisit, kaolinit, ilit, silika amorf, kristobalit, kuarsa, pirit, markasit, dan albit, seluruhnya dapat terjadi karena pengaruh kegiatan hidrothermal pada batuan tersebut. Anortit (*tabel 1*), diinterpretasikan sebagai indikasi komposisi lava (Keer P.D., 1959), kemudian sebagian lava terkikis oleh lahar pada saat erupsi, hasil kikisannya berupa fragmen terbawa bersama-sama lahar sebagai fragmen didalamnya. Batuan asal daripada batuan ubahan adalah breksi laharik dan lava. Kumpulan mineral alterasi tersebut apabila dibandingkan dengan standard klasifikasi mineral ubahan yang disusun oleh Hayashi, 1991 dan Izawa, 1993, diperkirakan dapat terbentuk pada temperatur  $70^\circ\text{C}$  -  $200^\circ\text{C}$  dalam kondisi pH asam. Temperatur pembentukan mineral alterasi tersebut lebih rendah apabila dibandingkan dengan hasil perhitungan geotermometer silika, perbandingan Na/K dan hubungan Na-K-Ca air panas dalam menentukan suhu reservoir di bawah permukaan yang nilainya berkisar  $120^\circ\text{C}$  –  $238,79^\circ\text{C}$  (Widarto dkk., 2003), data kimia air panas (*tabel 3*). Perbedaan ini diduga karena terjadi pengaruh penambahan air permukaan pada larutan hidrothermal yang sedang menuju permukaan, sehingga efeknya mempengaruhi pembentukan mineral ubahan batuan samping yang temperaturnya menjadi lebih rendah.

**Tabel 3. Kimia air panas di daerah Gedongsongo, Ungaran**  
(Widarto, dkk., 2003)

No.	Parameter	Satuan	No. Perconto							
			GDS-1	GDS-2	GDS-3	WGS-1	WGS-2	WGS-3	WGS-4	WGS-5
1.	pH	25,5°C	3,82	3,75	5,70	3,79	5,85	7,78	2,55	7,30
2.	DHL	umhos/cm	485	753,0	321	366,0	292,0	265,0	5380,0	403,0
3.	Na	ppm	27,06	32,75	11,72	14,06	16,19	17,50	59,40	15,31
4.	K	ppm	2,58	3,45	6,16	1,17	1,17	1,13	9,12	1,89
5.	Li	ppm	1,20	1,35	0,62	0,80	0,69	0,86	1,78	1,02
6.	Ca	ppm	16,00	40,00	24,00	22,13	23,83	25,53	30,00	44,25
7.	Mg	ppm	30,00	48,00	14,40	10,21	10,21	9,19	30,50	15,32
8.	Fe	ppm	24,50	0,28	0,03	0,24	0,24	0,04	92,15	0,48
9.	NH3	ppm	0,28,	0,18	0,08	0,20	0,25	0,06	0,40	0,15
10.	As	ppm	0,03	1,00	0,17	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
11.	Cl	ppm	10,33	64,58	10,33	4,62	4,62	3,96	79,24	3,96
12.	SO4	ppm	215,10	339,36	25,77	134,0	124,0	11,00	2746,15	67,71
13.	HCO3	ppm	0,00	0,00	195,48	0,00	14,35	166,42	0,00	175,03
14.	F	ppm	0,30	1,00	0,50	0,50	0,70	0,70	1,50	0,70
15.	B	ppm	0,36	0,40	0,16	0,04	0,08	0,08	1,55	0,04
16.	SiO2	ppm	251,00	145,00	111,00	72,76	87,80	105,29	109,9	101,01

Catatan : Conto kode GDS diambil tahun 2002, conto WGS diambil 2003.

### KESIMPULAN

- Batuan yang terdapat di daerah lapangan panasbumi Gedongsongo adalah breksi laharik berselang-seling dengan batuan aliran lava basaltik, intrusi andesit piroksen dekat permukaan, batuan alterasi, dan bom yang berkomposisi andesit-basaltik.
- Breksi laharik dengan fragmen andesit-basaltik diasumsikan sebagai batuan *reservoir*, dan aliran lava basaltik sebagai batuan penutup (*caprocks*).
- Terdapat batuan intrusi dekat permukaan berupa andesit piroksen, yang diduga menerobos melalui bidang lemah (sesar normal) yang berarah timurlaut-baratdaya (hampir barat-timur). Tubuh intrusi yang berada di dalam atau bawah permukaan diinterpretasikan sebagai batuan kering (*dry rock*) yang dapat berfungsi sebagai pemanas.
- Batuan andesit dan andesit-basaltik baik dari fragmen breksi laharik dan bom merupakan produk dari gunungapi Ungaran Muda.
- Batuan sekitar mataair panas dan fumarola umumnya teralterasi kuat, yang ditunjukkan oleh mineral kaolinit, haloisit, ilit, silika amorf, kristobalit, kuarsa, albit, markasit, pirit.
- Mineral ubahan yang terbentuk dapat mencerminkan temperatur yang berpengaruh pada saat itu, yaitu berkisar : 70°C - 200°C, dan dalam kondisi asam (pH < 7).
- Batuan asal daripada batuan ubahan adalah breksi laharik dan aliran lava basaltik.
- Struktur dengan arah utara – selatan yang melalui S. Item dapat berfungsi sebagai saluran naiknya larutan hidrothermal ke permukaan yang ditandai munculnya mataair panas, semburan uap panas (fumarola).

### Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis sampaikan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian

Geoteknologi – LIPI atas kepercayaannya kami dapat meneliti kondisi geologi lapangan panasbumi di Gedongsongo, Ungaran, Jawa Tengah yang akhirnya hasil penelitian tersebut dapat dibuat suatu paper. Terima kasih juga disampaikan kepada Ir. Toto A.F. Sumantri, M.Sc yang telah memberikan koreksi dan masukan sehingga paper ini dapat diselesaikan. Terima kasih yang sebanyak-banyaknya disampaikan kepada Dewan Redaksi Majalah Riset Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI yang telah memberikan kesempatan, koreksi dan *review* hingga tulisan ini dapat diterbitkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Hadisantono R.D., dan Sumpena A.D., (1993), *Laporan pemetaan daerah bahaya G.Ungaran dan sekitarnya, Jawa Tengah*, Proyek pengamatan/ pengawasan dan pemetaan gunungapi, Departemen Pertambangan dan Energi, Dir. Jend. Geologi Sumberdaya Mineral, Direktorat Vulkanologi, Bandung, 26 hal.
- Hayashi M., 1991, *Geological exploration of geothermal resources*, Geothermal research, Kyushu University.
- Izawa E., 1993, *Hydrothermal alteration in geothermal system*, Departement of Mining Kyushu University.
- Keer P.D., 1959, *Optical Mineralogy*, Mc. Graw Hill Book, Company, Inc. New York, Toronto, London.
- Thanden R.E., 1996, Sumadirdja H., Richards P.W., Sutisna K., Amin T.C., 1996, *Peta geologi lembar Magelang dan Semarang, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Van Bemmelen R.W., (1941), *Bulletin of the East Indian Volcanological Survey for the Year 1941*, Bull. Nrs. 95-98.
- Van Bemmelen R.W., (1949), *The Geology of Indonsia*, vol. I-A General Geology, Government Print. Office, The Hague Netherland.
- Van Padang N., (1951), *Catalogue of the active volcanoes of the of the world including solfatara fields*, Part I Indonesia.
- Widarto D.S., Indarto S., dan Gaffar E.Z., 2003, *Hasil Awal Geotermometer Kimia Airpanas Lapangan Panasbumi Gedongsongo di Lereng Selatan Gunung Ungaran, Jawa Tengah*, Buletin Geologi, Jilid/vol. 35, No. 2, Departemen Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung.
- Williams H., Turner F.J., Gilbert C.M., 1954, *Petrography An Introduction to the Study of Rocks in Thin Section*, W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Yasuaki K., Lucas D. S., Pecskay Z., Harijoko A., Pri Utami, Akira I., Koichiro W., 2006, *Geochronology and petrogenetic aspects of Quaternary across arc magmatism on Merapi-Merbabu-Telomoyo-Ungaran volcanoes, Central Java, Indonesia*, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium Earth Resources and Geological Engineering Education, Gadjah Mada University – Yogyakarta – Indonesia.