

Petrologi - geokimia batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya

MESKER H. J. DIRK

Pusat Survei Geologi, Jln. Diponegoro No. 57, Bandung

SARI

Batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya terbagi ke dalam seri kalium rendah (*low-K series*), kalk-alkali dan kalk-alkali kalium tinggi (*high-K*) kelompok basal, andesit basal, dan andesit dengan kandungan $\text{SiO}_2 = 48,59 - 60,49\%$ berat dan $\text{K}_2\text{O} = 0,31 - 1,67\%$ berat. Batuan gunung api tersebut telah terbentuk di lingkungan busur kepulauan yang ditandai oleh kandungan alumina (Al_2O_3) tinggi (16,47 – 21,76% berat), magnesium (MgO) rendah - sedang (2,37 – 8,84% berat), titanium (TiO_2) rendah (< 1% berat), dan *high field strength elements* (HFSEs) juga rendah, serta anomali negatif Nb relatif terhadap K dan La. Pola grafik unsur tanah langka ringan (LREE) mengalami pengayaan, tetapi unsur tanah langka berat (HREE) nisbi mengalami pemiskinan yang menandai proses fraksinasi. Magma induk adalah magma pikrit atau basal olivin dari mantel bersifat N-MORB yang telah diperkaya oleh LILE (Ba, Rb, Th, K) dan LREE (La), yang mengalami proses pemisahan olivin dan klinopiroksen, plagioklas, apatit, dan *titaniferrous magnetite*. Proses diferensiasi berjalan, dan magma menjadi kekurangan air pada tahap kristalisasi horeblend. Tingginya kandungan *incompatible elements*, seperti Ba, Th, La, Ce, menjadi petunjuk bahwa di dalam proses pembentukannya ada kontaminasi cairan yang berasal dari *subducted slab*.

Kata kunci: petrologi, geokimia, batuan gunung api, Tampomas, magma pikrit, mantel N-MORB

ABSTRACT

Volcanic rocks of Mount Tampomas and its surroundings belong to low-K, calc-alkaline, and high-K series of basalt, basaltic andesite, and andesite suites containing 48.59 – 60.49 wt% of SiO_2 and 0.31-1.67 wt% of K_2O . The rocks are typically formed in an island arc environment characterized by the high content of Al_2O_3 (16.47 – 21.76 wt%), low to moderate content of MgO (2.37 – 8.84 wt%), low content of both titanium TiO_2 (< 1 wt%) and high field strength elements (HFSEs), negative anomaly of Nb relative to K and La. The light rare earth elements (LREEs) enrichment but low abundances of heavy rare earth elements (HREEs) indicate fractionation process. The parent magma was an extensive removal of olivine and clino-pyroxene, plagioclase, apatite, and titaniferrous magnetite from a basalt olivine magma of N-MORB character that was firstly enriched by LILEs such as Ba, Rb, Th, K, and LREE (La). The differentiation lasted, and the magma became water undersaturated at the crystallization phase of hornblende. The high content of incompatible elements such as Ba, Th, La, Ce, may indicate contamination by liquid derived from the subducted slab.

Keywords: *petrology, geochemistry, volcanic rocks, Mount Tampomas, picrite magma, N-MORB mantle*

PENDAHULUAN

Penelitian petrologi dan geokimia ini dilakukan dengan maksud memperoleh data batuan gunung api busur magma sekeliling Cekungan Bandung. Masalah yang diteliti adalah petrologi, petro-

genesis, dan geokimia yang dalam tahap selanjutnya akan digabungkan dengan data penelitian stratigrafi batuan gunung api, sedimen dan malihan, geokronologi/umur, struktur dan mineralisasi untuk menyusun stratigrafi lengkap di Cekungan Bandung, sehingga dapat diketahui perkembangan Cekungan

Bandung tersebut secara terperinci, juga masalah mineralisasi dan potensinya.

Tulisan ini menyajikan bahasan petrologi dan geokimia unsur utama, unsur jejak, dan unsur tanah langka batuan gunung api di Gunung Tampomas dan sekitarnya serta juga mengenai kemungkinan sumber dan proses yang menyebabkan variasi komposisi kimia dan batuanannya. Daerah penelitian dibatasi oleh koordinat antara $6^{\circ}42'45''$ - $6^{\circ}49'15''$ LS dan $107^{\circ}40'30''$ - $107^{\circ}45'15''$ BT (Gambar 1 dan 2), terletak dalam wilayah pemerintahan Kabupaten Sumedang dan Bandung, Provinsi Jawa Barat. Gunung Tampomas berumur Kuartar (Bronto, 2006), dan termasuk ke dalam Lajur Tengah menurut pembagian Silitonga dr. (1996), yaitu lajur yang didominasi oleh gunung api Kuartar dan produknya. Bronto (komunikasi pribadi) berpendapat bahwa Gunung Tampomas pada masa aktifnya merupakan gunung api tipe stromboli yang ditandai oleh sisa beberapa parasitnya. Di daerah penelitian masih terdapat jejak beberapa gunung api sangat tua dan gunung api tua (Tabel 1).

Gunung Api Tampomas terbentuk pada Busur Sunda yang berhubungan dengan penunjaman.

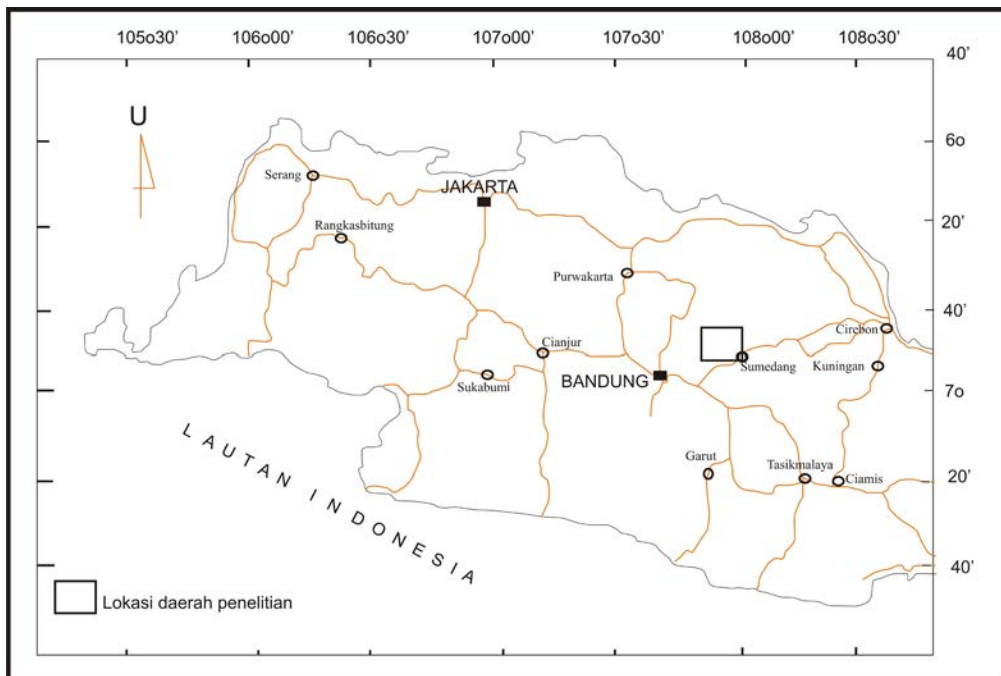
Masih sedikit penelitian petrologi dan geokimia secara terperinci yang telah dilakukan terhadap batuan gunung api di daerah penelitian. Genesis magma di busur kepulauan sangat kompleks, tetapi pada dasarnya sumber dan proses yang paling berpotensi untuk terbentuknya magma menurut Thorpe dan Francis (1979) adalah:

1. Peleburan sebagian mantel (yang telah mengalami pengayaan) di atas jalur subdaksi.
2. Fraksinasi - kristalisasi magma yang terbentuk pada butir 1.
3. Kontaminasi magma tersebut di atas dengan kerak benua.
4. Fraksinasi - kristalisasi olivin, piroksen, dan plagioklas di kerak benua pada kedalaman < 35 km.

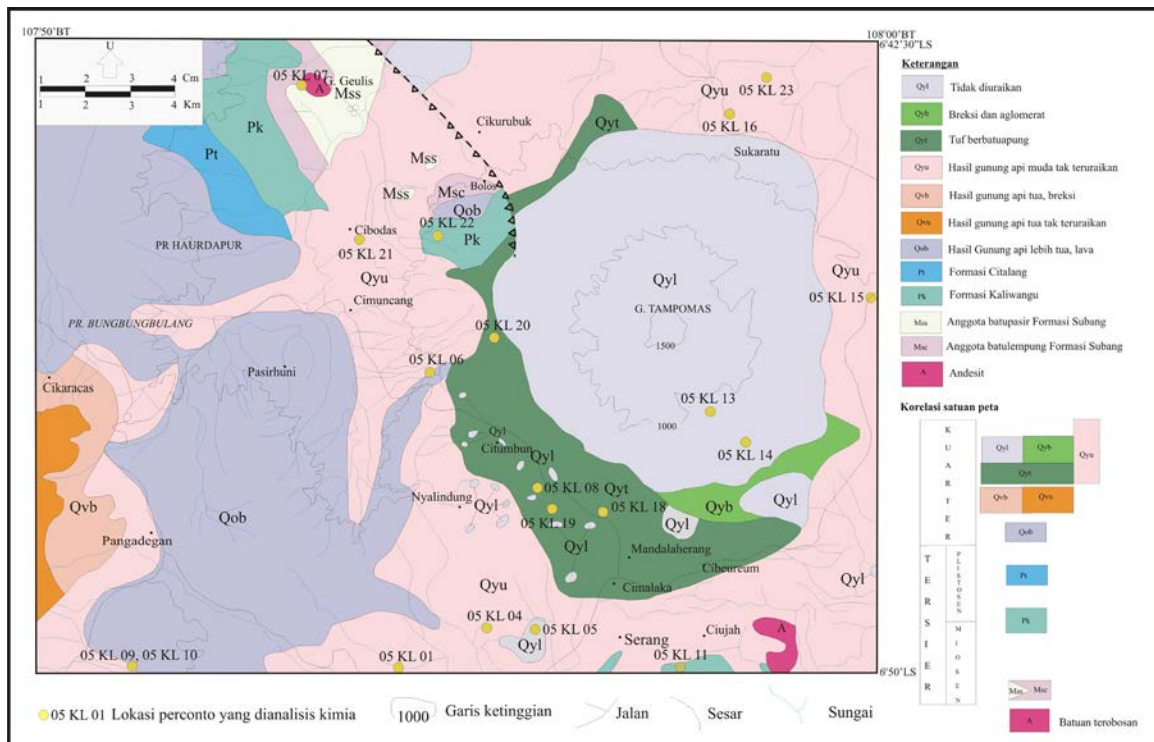
GEOLOGI

Regional

Tampomas adalah sebuah gunung api yang sudah tidak aktif lagi. Para ahli gunung api antara lain Bronto (2006) menggolongkannya ke dalam ke-



Gambar 1. Peta petunjuk lokasi penelitian.



Gambar 2. Peta geologi Gunung Tampomas dan sekitarnya (Silitonga, 2003) dengan tambahan lokasi percontoh yang dianalisis kimia.

Tabel 1. Daftar Percontoh Batuan Gunung Api Tampomas yang dianalisis (P: Petrografi; G: Geokimia)

| No | No. Percontoh/Koordinat | Sumber Erupsi | Nama Batuan | Jenis Analisis Laboratorium |
|----|--|--|------------------|-----------------------------|
| 1 | 05 KL 01 / S. 6° 51' 4,0" E. 107° 54' 30,0" | Gunung api tua (Gunung Api Palasari) | Andesit basal | P, G |
| 2 | 05 KL 03 / S. 6° 48' 42,4" E. 107° 54' 37,0" | Gunung api tua (sumbat lava Gunung Api Buleud) | Andesit | P |
| 3 | 05 KL 04 / S. 6° 49' 25,9" E. 107° 55' 37,1" | Gunung api tua (Pasir Aseupan) | Andesit basal | P, G |
| 4 | 05 KL 05 / S. 6° 49' 33,0" E. 107° 55' 59,1" | Gunung api tua (Gunung Api Kecapi) | Andesit basal | P, G |
| 5 | 05 KL 06 / S. 6° 46' 37,5" E. 107° 54' 47,0" | Gunung api sangat tua (Pasir Jati) | Andesit | P, G |
| 6 | 05 KL 07 / S. 6° 43' 01,4" E. 107° 53' 20,6" | Gunung api sangat tua (Gunung Api Geulis) | Andesit basal | P, G |
| 7 | 05 KL 08 / S. 6° 47' 47,8" E. 107° 56' 13,7" | Parasit Tampomas (Pasir Sirahsadi) | Basal | P, G |
| 8 | 05 KL 09 / S. 6° 52' 58,1" E. 107° 51' 20,4" | Gunung api sangat tua (Cadas Pangeran) | Andesit basal | P, G |
| 9 | 05 KL 10 / S. 6° 52' 58,1" E. 107° 51' 20,4" | Gunung api sangat tua (Pasir Huni) | Andesit basal | P, G |
| 10 | 05 KL 11 / S. 6° 49' 58,7" E. 107° 58' 58,4" | Gunung api sangat tua (Pasir Pabeasan) | Andesit piroksen | P, G |
| 11 | 05 KL 13 / S. 6° 46' 59,8" E. 107° 58' 12,2" | Parasit Tampomas (Gunung Api Karang) | Andesit basal | P, G |
| 12 | 05 KL 14 / S. 6° 47' 17,3" E. 107° 58' 26,0" | Gunung Api Tampomas | Andesit basal | P, G |
| 13 | 05 KL 15 / S. 6° 45' 40,1" E. 107° 59' 55,1" | Gunung Api Tampomas | Basal | P, G |
| 14 | 05 KL 16 / S. 6° 43' 33,8" E. 107° 58' 24,7" | Gunung Api Tampomas | Andesit basal | P, G |
| 15 | 05 KL 17 / S. 6° 48' 09,3" E. 107° 56' 51,6" | Gunung Api Tampomas | andesit porfiri | P |
| 16 | 05 KL 18 / S. 6° 47' 48,6" E. 107° 56' 52,8" | Gunung Api Tampomas | Andesit basal | P, G |
| 17 | 05 KL 19 / S. 6° 48' 08,5" E. 107° 56' 20,0" | Gunung api tua (Gunung Api Gadung) | Andesit | P |
| 18 | 05 KL 20 / S. 6° 46' 06,6" E. 107° 55' 28,0" | Gunung Api Tampomas | Basal | P, G |
| 19 | 05 KL 21 / S. 6° 44' 48,7" E. 107° 54' 14,0" | Gunung Api Tampomas | Andesit basal | P, G |
| 20 | 05 KL 22 / S. 6° 45' 38,4" E. 107° 54' 51,6" | Gunung Api Tampomas | Basal | P, G |
| 21 | 05 KL 23 / S. 6° 43' 00,0" E. 107° 58' 40,6" | Parasit Tampomas (Pasir Agung) | Basal | P, G |
| 22 | 05 KL 24 / S. 6° 42' 33,9" E. 107° 57' 28,7" | Parasit Tampomas (Pasir Nagreg, Manyintreuk) | Basal | P |

lompok gunung api Kuartar Muda. Secara geologis, Gunung Api Tampomas terletak pada Busur Sunda Sektor Jawa Barat. Sebagai bagian dari Busur Sunda, Busur Vulkanik Pulau Jawa juga terbentuk akibat penunjaman Lempeng Samudra Hindia-Australia ke bawah Lempeng Eurasia yang berlangsung sejak akhir Kapur sampai Resen (sekarang). Mengenai perkembangan busur magma dalam kurun waktu tersebut di atas, Soeriaatmadja dr. (1994) menyatakan adanya perubahan busur magma Tersier di sepanjang Pulau Jawa, yaitu bahwa busur magma Eosen Akhir – Miosen Awal terdapat di bagian selatan Pulau Jawa, sedangkan busur magma Miosen Akhir – Pliosen terletak di sebelah utaranya, berhimpitan dengan busur magma Kuartar. Dengan melihat implikasi tektoniknya, Silitonga dr. (1996) membagi gunung api dan hasil kegiatannya di sepanjang Pulau Jawa menjadi tiga lajur yakni Lajur Utara, Lajur Tengah, dan Lajur Selatan. Martodjojo (2003) menyatakan bahwa telah terjadi perpindahan busur magma Tersier dan Kuartar di Jawa akibat perubahan lokasi jalur penunjaman kerak bumi, dan tidak ada kegiatan magmatisme dan vulkanisme di Jawa Barat dalam kurun waktu Eosen Akhir – Oligosen.

Dari hasil penelitiannya, Bronto (2006) berpendapat bahwa telah terjadi tumpang-tindih kegiatan gunung api di Jawa, setidaknya sejak Tersier Awal sampai sekarang. Berdasarkan temuannya di beberapa tempat di Jawa Barat, fosil gunung api berumur Tersier terletak di bawah sebaran batuan gunung api Kuartar.

Daerah Penelitian

Satuan batuan hasil aktivitas Gunung Api Tampomas berumur Kuartar Awal – Kuartar Akhir, terletak di atas satuan batuan sedimen berumur Miosen – Kuartar Awal (Silitonga, 2003). Tataan stratigrafi daerah penelitian dari umur yang tua ke muda ditunjukkan pada Gambar 2, dan dapat diterangkan sebagai berikut:

Formasi Subang terdiri atas anggota batulempung (Msc) dan anggota batupasir (Mss) yang saling membaji dan berumur Miosen, tersebar tidak luas di tengah peta bagian utara. Formasi Kaliwangu (Pk) berumur Miosen – Plistosen, tersebar tidak terlalu luas di bagian barat laut dan di tengah peta bagian utara. Formasi Citalang (Pt) berumur Plistosen, tersebar di bagian barat laut peta. Hasil gunung api

lebih tua berupa lava (Qob) berumur Tersier Awal, tersebar di bagian barat peta.

Hasil gunung api tua tak teruraikan (Qvu) berumur Kuartar tersebar di bagian barat daya peta. Hasil gunung api tua berupa breksi (Qvb) berumur Kuartar tersebar di bagian barat daya peta. Hasil gunung api muda tak teruraikan (Qyu) berumur Kuartar tersebar di bagian barat daya dan bagian tengah peta dari utara sampai selatan dan bersamaan mengelilingi tubuh Gunung Tampomas. Tuf berbatuapung (Qyt) dan breksi aglomerat (Qyb) berumur Kuartar, setengah melingkari tubuh Gunung Tampomas dari bagian barat laut sampai tenggara. Satuan tidak diuraikan (Qyl) berumur Kuartar yang menempati tubuh Gunung Tampomas dapat dilihat di lapangan berupa perselingan antara lava dan lahar. Batuan terobosan (A) adalah andesit (Silitonga, 2003), tetapi beberapa ahli geologi lain mengatakannya sebagai kerucut lava.

Di lapangan, kedudukan dan hubungan antar satuan batuan gunung api sulit dilacak.

METODE PENELITIAN

Lokasi pengamatan, pengukuran, perekaman data, dan pengambilan percontoh batuan untuk penelitian laboratorium dilakukan sepanjang lintasan dengan menelusuri jalan antar desa, jalan setapak dan sungai. Posisi lokasi-lokasi tersebut di peta ditentukan dengan alat GPS (*Geographic Positioning System*).

Di 22 lokasi pada lava di fasies sentral sampai proksimal diambil percontoh batuan untuk mewakili berbagai analisis laboratorium (Tabel 1) yang meliputi analisis petrografi (22 percontoh), geokimia unsur utama (18 percontoh), unsur jejak dan tanah langka (masing-masing 8 percontoh) yang pelaksanaannya dilakukan di laboratorium Puslitbang Geologi (P3G; sekarang Pusat Survei Geologi PSG). Analisis petrografi dilakukan oleh penulis dengan menggunakan mikroskop polarisasi Leica MPS 52. Analisis geokimia unsur utama menggunakan alat *Automatic X-Ray Fluorescence Spectrometre ARL Advant – XP*, serta analisis kimia unsur jejak dan tanah langka menggunakan alat *Induced Couple Plasma – Mass Spectrometre* (ICP-MS).

Preparasi dan analisis dilakukan menurut aturan

dan prosedur seperti yang ditetapkan di laboratorium oleh Norries dan Chappell (1967) dan oleh pabrik asal peralatan.

Untuk ketelitian dan ketepatan pengukuran, digunakan berbagai percontoh standar nasional dan internasional.

HASIL ANALISIS

Petrografi

Hasil analisis petrografi percontoh batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya yang terdiri atas basal, andesit basal, dan andesit adalah sebagai berikut:

Pada umumnya, secara mikroskopis batuan terlihat berwarna kelabu keruh, hijau pucat keruh, coklat pucat - coklat keruh, umumnya bertekstur porfiritik, glomeroporfiritik, hipokristalin, dengan mineral penyusun utama terdiri atas plagioklas, piroksen, horeblend, dan olivin, tersebar sebagai fenokris dan massa dasar (porfiritik). Massa dasar yang berukuran sangat halus tumbuh bertahap sampai fenokris, ukuran butir kristal mulai dari 0,01 mm – 4,00 mm, kadang-kadang mengandung tambalan halus dan selimut tipis alkali felspar. Piroksen terdiri atas ortopiroksen dan klinopiroksen, yang secara jarang ortopiroksen diselimuti oleh klinopiroksen. Horeblend sering tampak berubah sempurna, atau separuh di sekeliling kristal (*rim margin*) menjadi mineral bijih Fe, Mg, dan Ti-oksida. Fenokris sering tumbuh berkelompok terutama plagioklas dan piroksen (glomeroporfiritik). Gelas acap kali masih terdapat sebagai massa dasar (hipokristalin). Mineral tambahan utama Fe, Mg, Ti-oksida dan apatit terdapat sebagai massa dasar atau sebagai inklusi di dalam fenokris. Struktur rongga yang terdeteksi yakni vesikuler berupa rongga-rongga gas, berbentuk runcing, miarolitik, yang berbentuk bundar dan amigdaloid, yang terisi mineral klorit dan kuarsa sekunder.

Plagioklas di dalam basal didominasi oleh komposisi antara An_{28-86} , dalam andesit basal dominan An_{20-68} , dan di dalam andesit An_{20-50} . Horeblend, olivin dan massa dasar gelas tidak selalu hadir pada setiap percontoh. Semua percontoh batuan yang dianalisis secara petrografi hanya mengalami alterasi dengan intensitas rendah (<10%), sehingga masih

dapat di kategorikan sebagai batuan segar. Mineral sekunder hasil alterasi yang hadir di dalam batuan terdiri atas karbonat/kalsit, klorit, biotit, ilit, serisit, limonit/goetit/idingsit, dan kuarsa yang sebagian tampak sebagai pengisi rongga dan ruang antar mineral utama pembentuk batuan (amigdaloid), dan sebagian lainnya sebagai hasil alterasi dari mineral utama pembentuk batuan.

Geokimia Unsur Utama

Hasil analisis geokimia unsur utama percontoh batuan dari daerah penelitian disajikan pada Tabel 2, dan percontoh dari Lawu (77417) sebagai perbandingan. Untuk *plotting* dan pemodelan, unsur utama dinormalisasi ke 100% berat *anhydrous*, yakni dengan mengeliminasi unsur hilang dibakar (yang hanya berkisar antara 0,03 – 2,09% berat), sehingga masih dapat dikategorikan sebagai batuan segar, dan FeO sebagai FeO total (FeO*). Kandungan unsur utama pada percontoh batuan dari daerah penelitian, dalam satuan % berat adalah: $SiO_2 = 48,59 - 60,49$; $TiO_2 = 0,48 - 1,00$; $Al_2O_3 = 16,47 - 21,76$; $FeO^* = 5,83 - 10,61$; $MnO = 0,11 - 0,19$; $MgO = 2,37 - 8,84$; $CaO = 5,57 - 11,47$; $Na_2O = 1,83 - 3,32$; $K_2O = 0,31 - 1,67$; dan $P_2O_5 = 0,14 - 1,21$.

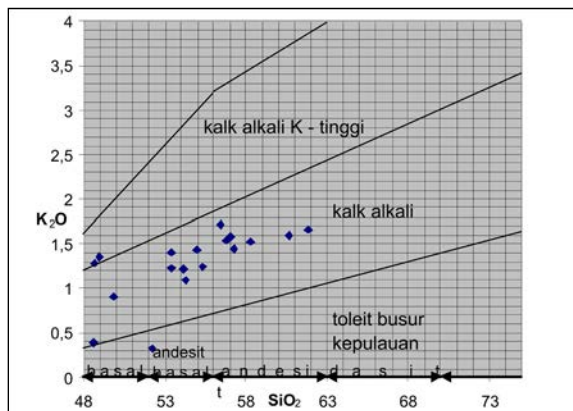
Berdasarkan *plotting* K_2O terhadap SiO_2 (Gambar 3) pada diagram klasifikasi dan tata nama Peccerillo dan Taylor (1976), batuan dari daerah penelitian tersebar pada daerah andesit basal, andesit, dan dasit berafinitas kalk-alkali kalium sedang (*medium-K*), kecuali percontoh 05 KL 22 yang jatuh pada bagian basal busur toleit kalium rendah (*low-K*), dan percontoh 05 KL 08 dan 05 KL 15 yang jatuh pada bagian basal kalk-alkali kalium tinggi (*high-K*) dekat batas dengan kalk-alkali kalium sedang.

Plotting pada diagram FeO^*/MgO terhadap SiO_2 (Miyashiro, 1974) menunjukkan jumlah terbesar percontoh batuan berada pada seri kalk-alkali, kecuali empat percontoh (05 KL 08, 05 KL 09, 05 KL 15, dan 05 KL 22) berada pada daerah toleit (Gambar 4). Selanjutnya, *plotting* pada diagram variasi Harker (Unsur utama terhadap SiO_2) memperlihatkan bahwa Na_2O dan K_2O terdistribusi menyebar, tetapi secara umum meningkat dengan meningkatnya SiO_2 . Unsur utama lainnya (Al_2O_3 , FeO^* , MnO , MgO) terdistribusi menyebar, tetapi secara umum menurun dengan meningkatnya SiO_2 , sedangkan TiO_2 , CaO , dan P_2O_5 terdistribusi dominan berkelompok

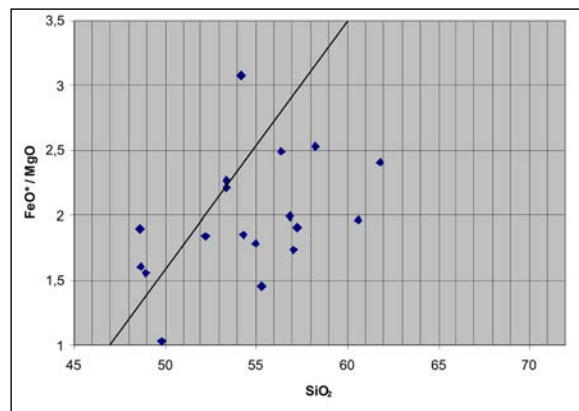
Tabel 2. Hasil Analisis Geokimia Unsur Utama Batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya, dibandingkan dengan Percontoh Lawu (77417)

| Unsur utama (% berat) | 05 KL 01 | 05 KL 04 | 05 KL 05 | 05 KL 06 | 05 KL 07 | 05 KL 08 | 05 KL 09 | 05 KL 10 | 05 KL 11 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 52,01 | 53,22 | 55,82 | 60,49 | 56,86 | 47,67 | 52,70 | 53,50 | 59,52 |
| TiO ₂ | 0,73 | 0,70 | 0,58 | 0,48 | 0,49 | 0,88 | 0,72 | 0,68 | 0,54 |
| Al ₂ O ₃ | 18,58 | 19,35 | 18,30 | 17,85 | 18,25 | 17,64 | 20,62 | 16,93 | 17,37 |
| Fe ₂ O ₃ | 10,21 | 8,69 | 7,71 | 6,34 | 7,77 | 11,53 | 8,13 | 8,75 | 7,72 |
| MnO | 0,18 | 0,18 | 0,16 | 0,11 | 0,16 | 0,19 | 0,17 | 0,16 | 0,16 |
| MgO | 4,16 | 4,23 | 3,64 | 2,37 | 2,76 | 6,48 | 2,37 | 5,43 | 3,54 |
| CaO | 7,74 | 8,29 | 6,89 | 5,77 | 7,02 | 11,33 | 8,73 | 8,11 | 5,83 |
| Na ₂ O | 3,20 | 2,89 | 3,47 | 3,26 | 3,32 | 1,83 | 3,29 | 2,70 | 2,55 |
| K ₂ O | 1,36 | 1,08 | 1,41 | 1,62 | 1,49 | 1,26 | 1,18 | 1,21 | 1,57 |
| P ₂ O ₅ | 0,24 | 0,21 | 0,28 | 0,18 | 0,22 | 0,24 | 0,22 | 0,17 | 0,14 |
| L.O.I. | 2,09 | 1,29 | 1,37 | 1,53 | 1,60 | 0,58 | 1,86 | 0,98 | 1,41 |
| Total | 100,50 | 100,13 | 99,63 | 100,00 | 99,94 | 99,61 | 99,99 | 98,62 | 100,35 |

| Unsur utama | 05 KL 13 | 05 KL 14 | 05 KL 15 | 05 KL 16 | 05 KL 18 | 05 KL 20 | 05 KL 21 | 05 KL 22 | 05 KL 23 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 55,69 | 55,25 | 48,89 | 55,27 | 54,22 | 50,24 | 52,35 | 48,59 | 50,75 |
| TiO ₂ | 0,57 | 0,60 | 0,87 | 0,69 | 0,63 | 0,85 | 0,83 | 1,00 | 0,93 |
| Al ₂ O ₃ | 18,05 | 16,47 | 17,48 | 18,68 | 18,56 | 16,80 | 19,17 | 21,76 | 19,54 |
| Fe ₂ O ₃ | 9,06 | 8,51 | 11,23 | 9,16 | 9,10 | 10,14 | 9,99 | 10,16 | 9,50 |
| MnO | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,17 |
| MgO | 4,10 | 4,40 | 6,47 | 3,31 | 4,60 | 8,84 | 3,97 | 5,34 | 4,64 |
| CaO | 6,84 | 7,35 | 10,82 | 6,74 | 7,76 | 11,47 | 8,10 | 9,57 | 8,91 |
| Na ₂ O | 2,67 | 3,14 | 2,53 | 2,93 | 2,85 | 2,25 | 3,05 | 2,69 | 3,12 |
| K ₂ O | 1,51 | 1,53 | 1,35 | 1,67 | 1,41 | 0,91 | 1,20 | 0,39 | 0,31 |
| P ₂ O ₅ | 0,22 | 0,24 | 1,21 | 0,25 | 0,24 | 0,14 | 0,23 | 0,22 | 0,27 |
| L.O.I. | 0,27 | 0,24 | 0,03 | 0,22 | 0,35 | 0,71 | 0,84 | 1,41 | 0,82 |
| Total | 99,17 | 97,91 | 101,06 | 99,10 | 99,90 | 101,10 | 99,92 | 100,35 | 98,96 |



Gambar 3. Diagram klasifikasi dan tata nama Peccerillo and Taylor (1976) untuk batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya.



Gambar 4. Diagram SiO₂ terhadap FeO* (Miyashiro, 1974) untuk batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya.

sepanjang satu jalur lurus dan menurun terhadap meningkatnya SiO_2 . Keadaan ini menunjukkan bahwa sebagian unsur utama terdiferensiasi secara sistematis, sedangkan sebagian lagi tidak sistematis (Gambar 5).

Unsur Jejak

Hasil analisis unsur jejak percontoh batuan dari daerah penelitian disajikan pada Tabel 3, dan percontoh dari Lawu (77417) sebagai perbandingan. Untuk *plotting* dan pemodelan pada diagram laba-laba (Gambar 6) konsentrasi unsur jejak pada batuan daerah penelitian dinormalisasi terhadap konsentrasi unsur yang sama pada kondrit seperti yang ditentukan oleh Sun dan McDonough (1989). Pada diagram ini terlihat *low ionic potential incompatible elements* (Rb, K, Ba, Th) yang meningkat (antara 10x – 350x) dan *high ionic potential incompatible elements* (Nb, Ce, P, Sm, Zr, Ti, Tb, Y, Yb) yang antara 0,6x – 30x kondrit. Bentuk tonjolan (*spike*) *low ionic potential incompatible elements* (Rb, Ba, Th, K) mungkin akibat terkontaminasi dengan larutan *subducted slab*, dan bentuk lembah (*trough*) atau anomali negatif unsur Sr, P, dan Ti, masing-masing karena pengaruh fraksinasi kristalisasi plagioklas, apatit, dan *titaniferrous-magnetite*. Anomali negatif Nb terhadap K dan La adalah ciri batuan gunung api yang terbentuk di busur kepulauan. Salah satu sebagai pembanding adalah batuan Gunung Api Lawu di Jawa Tengah (Hartono, 1995).

Keadaan batuan gunung api di daerah penelitian seperti ini dapat diterangkan dengan hipotesis bahwa magma asalnya adalah hasil peleburan baji mantel di atas *subducted slab* (Nicholls dan Ringwood, 1973; Ringwood, 1977; Arculus dan Powell, 1986; Davidson, 1987). Peleburan baji mantel didahului oleh terjadinya pelepasan H_2O dan unsur *volatile* lainnya yang menyebabkan penurunan *solidus* mantel dan unsur *low ionic potential incompatible elements* dari *subducted slab*. Hal ini meningkatkan unsur-unsur tersebut di atas pada basal busur vulkanik. Untuk mempelajari mobilitas unsur jejak pada larutan yang dilepaskan dari *subducted slab*, Tatsumi dr. pada 1986 telah melakukan percobaan. Hasilnya dapat menerangkan hipotesis peleburan baji mantel (Nicholls dan Ringwood, 1973; Ringwood, 1977; Arculus dan Powell, 1986; Davidson, 1987), dan bahwa peningkatan *low ionic potential*

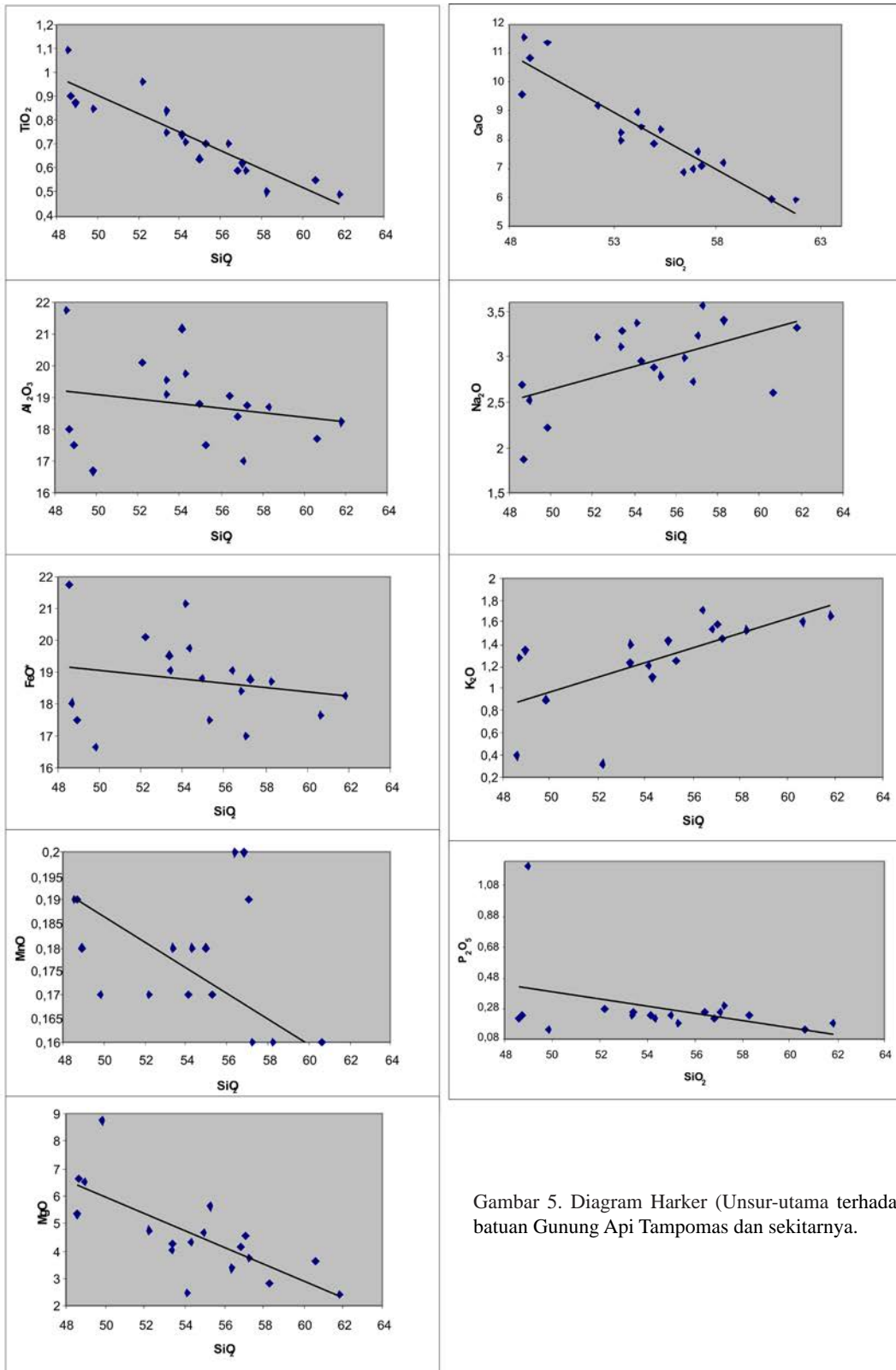
incompatible elements dan *light rare earth elements* (LREEs) di basal busur kepulauan vulkanik disebabkan oleh pemindahan unsur-unsur tersebut dari larutan pada *subducted slab*. Grove dan Kinzler (1986) menerangkan bahwa fraksinasi – kristalisasi magma basal primer dengan atau tanpa asimilasi dan pencampuran magma lain, akan menghasilkan basal dan andesit yang lebih terevolusi dan magma yang semakin *silisic*. Batuan gunung api dari daerah penelitian yang terdiri atas basal, andesit basal, dan andesit boleh jadi merupakan buktinya.

Unsur Tanah Langka

Hasil analisis unsur tanah langka percontoh batuan dari daerah penelitian disajikan pada Tabel 3, dan percontoh dari Lawu (77417) sebagai pembanding. Untuk *plotting* dan pemodelan pada diagram laba-laba (Gambar 7), unsur tersebut terlebih dahulu dinormalisasi terhadap kondrit menurut Sun dan McDonough (1989). Diagram ini secara umum menunjukkan peningkatan unsur tanah langka ringan (La – Sm) sebesar hampir 20x – 80x kondrit, dan unsur tanah langka berat (Gd – Lu) sebesar 8x – 20x kondrit. Tampak sedikit penurunan HREE terhadap LREE, dan anomali negatif Eu yang sangat nisbi lemah terhadap Sm dan Gd. Keadaan tersebut menunjukkan bahan sumber magma bebas garnet dan horeblend, dan terjadi fraksinasi plagioklas yang sangat lemah. Pola diagram REE yang terbentuk menunjukkan ciri sama dengan batuan gunung api yang terbentuk di lingkungan busur kepulauan vulkanik yang berhubungan dengan penunjaman. Salah satu yang menunjukkan pola diagram yang serupa dan dapat diacu sebagai pembanding adalah batuan Gunung Api Lawu di Jawa Tengah (Hartono, 1995).

PEMBAHASAN

Dari pengamatan petrografi kadang-kadang terlihat ortopiroksen yang terselimuti oleh klinopiroksen. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi pula diferensiasi pada proses pembentukan batuan. Sering terlihat pula bahwa horeblend berstruktur *rim margin* atau diganti di bagian luar oleh bijih Fe, Mg, dan Ti-oksida yang menandakan terjadinya perubahan komposisi magma menjadi kekurangan air pada



Gambar 5. Diagram Harker (Unsur-utama terhadap SiO₂) batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya.

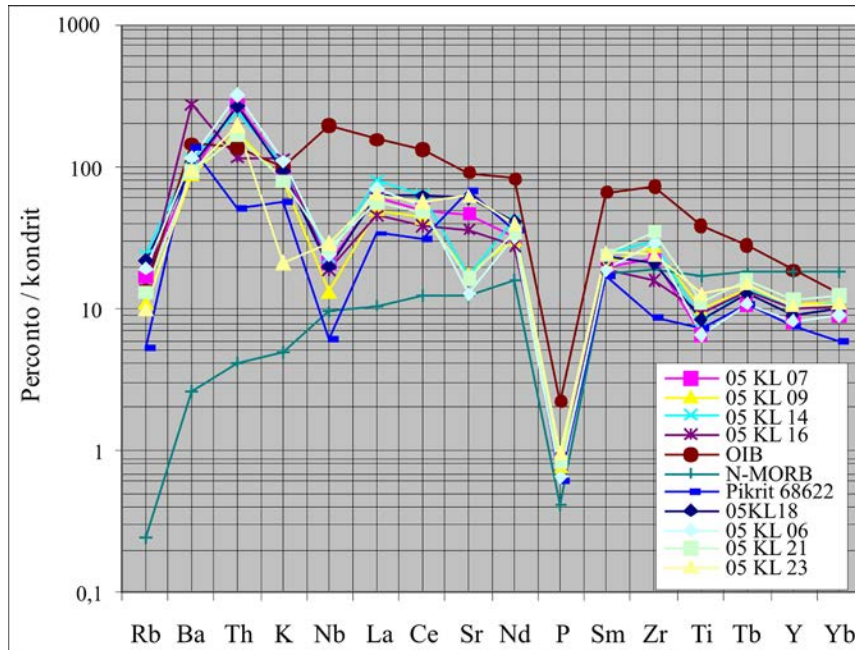
Tabel 3. Hasil Analisis Geokimia Unsur Jejak dan Tanah Langka Batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya, dibandingkan dengan Percontoh Lawu (77417)

| Unsur jejak & tanah langka (ppm) | 05 KL 06 | 05 KL 07 | 05 KL 09 | 05 KL 14 | 05 KL 16 | 05 KL 18 | 05 KL 21 | 05 KL 23 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| Rb | 44,84 | 38,97 | 25,14 | 55,81 | 30,99 | 50,66 | 30,31 | 22,99 |
| Ba | 282,7 | 217 | 212,3 | 273,7 | 661,1 | 241,9 | 224,7 | 226,3 |
| Th | 9,36 | 7,97 | 5,1 | 7,01 | 3,35 | 7,67 | 4,72 | 5,57 |
| K | 13.448,41 | 12.369,21 | 9.795,754 | 12.701,27 | 13.871,78 | 11.705,1 | 9.987,52 | 2.573,46 |
| Nb | 5,95 | 5,12 | 3,17 | 5,66 | 4,55 | 4,79 | 6,69 | 7,12 |
| La | 16,68 | 14 | 11,75 | 18,96 | 10,82 | 17,62 | 13,2 | 15,98 |
| Ce | 32,23 | 30,27 | 25,65 | 40,29 | 23,21 | 37,6 | 29,3 | 34,27 |
| Sr | 92,39 | 339,2 | 126,1 | 128,6 | 99,41 | 413,2 | 120,3 | 449,7 |
| Nd | 14,82 | 14,86 | 14,5 | 19,64 | 12,91 | 18,89 | 16,19 | 18,4 |
| P | 785,54 | 960,11 | 960,11 | 1.047,39 | 1.098,45 | 1.047,39 | 1.016,4 | 1.178,31 |
| Sm | 2,83 | 2,98 | 3,22 | 3,69 | 2,9 | 3,53 | 3,6 | 3,73 |
| Zr | 112,2 | 87,86 | 103,7 | 114,6 | 60,5 | 81,76 | 136,8 | 92,44 |
| Ti | 2.877,59 | 2.937,547 | 4.316,395 | 3.597 | 4.114,36 | 3.776,85 | 4.947,67 | 5.575,34 |
| Tb | 0,4 | 0,41 | 0,51 | 0,51 | 0,49 | 0,48 | 0,59 | 0,55 |
| Y | 12,78 | 12,93 | 16,82 | 15,62 | 15,79 | 14,13 | 18,18 | 16,65 |
| Yb | 1,52 | 1,52 | 1,88 | 1,9 | 1,8 | 1,69 | 2,1 | 1,83 |
| La | 16,68 | 14 | 11,75 | 18,96 | 10,82 | 17,62 | 13,2 | 15,98 |
| Ce | 32,23 | 30,27 | 25,65 | 40,29 | 23,21 | 37,6 | 29,3 | 34,27 |
| Pr | 3,63 | 3,45 | 3,16 | 4,61 | 2,87 | 4,33 | 3,62 | 4,1 |
| Nd | 14,82 | 14,86 | 14,5 | 19,64 | 12,91 | 18,89 | 16,19 | 18,4 |
| Sm | 2,83 | 2,98 | 3,22 | 3,69 | 2,9 | 3,53 | 3,6 | 3,73 |
| Eu | 0,93 | 0,96 | 1,01 | 1,11 | 1,05 | 1,03 | 1,15 | 1,18 |
| Gd | 3,06 | 3,03 | 3,6 | 3,84 | 3,38 | 3,56 | 4,02 | 3,97 |
| Tb | 0,4 | 0,41 | 0,51 | 0,51 | 0,49 | 0,48 | 0,59 | 0,55 |
| Dy | 2,55 | 2,59 | 3,26 | 3,17 | 3,15 | 2,92 | 3,64 | 3,42 |
| Ho | 0,49 | 0,51 | 0,66 | 0,61 | 0,64 | 0,56 | 0,73 | 0,67 |
| Er | 1,47 | 1,5 | 1,92 | 1,82 | 1,82 | 1,69 | 2,1 | 1,83 |
| Tm | 0,2 | 0,22 | 0,26 | 0,25 | 0,26 | 0,25 | 0,32 | 0,27 |
| Yb | 1,52 | 1,52 | 1,88 | 1,9 | 1,8 | 1,69 | 2,1 | 1,83 |
| Lu | 0,21 | 0,23 | 0,27 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,32 | 0,27 |

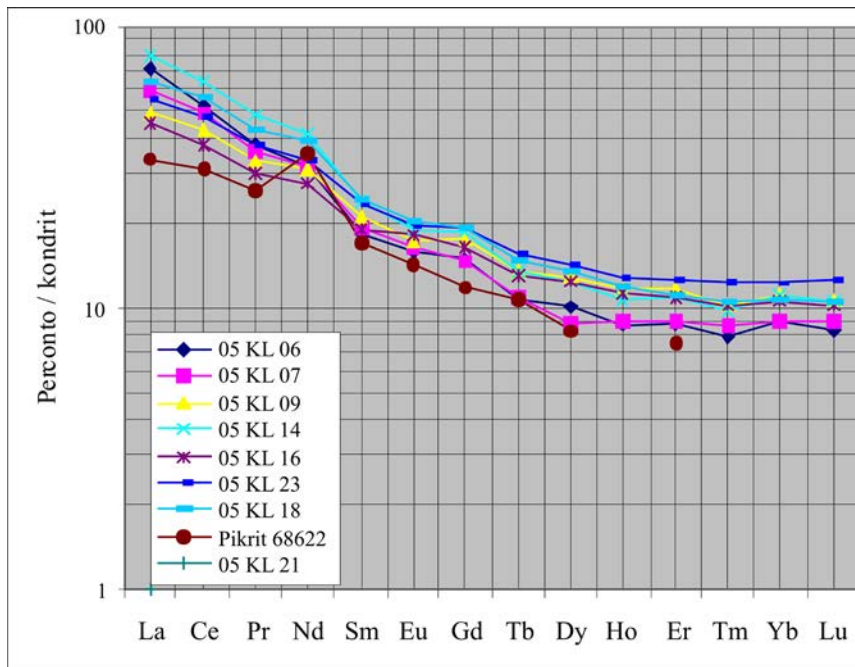
tahap horenblenda.

Masih menjadi perdebatan sampai sekarang mengenai sifat baji mantel yang belum diketahui secara jelas. Sebagai contoh Perfit dr. (1980) berpendapat bahwa sifat baji mantel menyerupai MORB (*Mid Oceanic Ridge Basalt*). Pendapat tersebut bertentangan dengan Morries and Hart (1983), Arculus dan Powell (1986), serta Reagan dan Gill (1989) yang mengatakan bahwa sifat baji mantel menyerupai

OIB (*Oceanic Island Basalt*). Pada dasarnya kedua pendapat yang bertentangan tersebut timbul karena konsentrasi unsur tanah langka ringan (*LREE*) antara lain La dan *high field strength elements (HFSE)* pada OIB yang lebih tinggi daripada *Island Arc Basalt (IAB)* (Morries dan Hart, 1983), tetapi *large ion lithophile (LILE)* keduanya saling melampaui/ menindih (*overlap*). Sebaliknya dibandingkan dengan *normal-type MORB (N-MORB)*, *IAB* memper-



Gambar 6. Diagram laba-laba untuk unsur jejak batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya, dinormalisasi terhadap kondrit.



Gambar 7. Diagram laba-laba untuk unsur tanah langka batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya, dinormalisasi terhadap kondrit.

lihatkan pengayaan *LILE* dan *LREE*, dan pemiskinan *HFSE* dan *HREE* seperti Y dan Yb.

Pada diagram laba-laba untuk unsur jejak batuan gunung api dari daerah penelitian (Gambar 6) tergambar keadaan yang sama seperti diuraikan di atas. Demikian pula pada diagram laba-laba (Gambar 7) *LREE* (La – Sm) terlihat mengalami pengayaan. Pola grafik unsur jejak (Gambar 6) sangat mirip (meskipun ada beberapa perbedaan) dengan pola grafik basal beralumina tinggi = *high alumina basalt* (*HAB*) di *Cold Bay Volcanic Centre, Aleutian Volcanic Arc* yang dikatakan oleh Crawford dr. (1987) sebagai cairan residu setelah pemisahan olivin dan klinopiroksen secara ekstensif dari magma pikrit (basal olivin).

Untuk membahas kemungkinan genesis magma batuan gunung api di daerah penelitian, pada diagram laba-laba unsur jejak batuan Gunung Api Tampomas yang dinormalisasi terhadap kondrit (Gambar 6) ditunjukkan pula diagram unsur jejak yang sama daripada OIB, N–MORB, dan pikrit busur kepulauan yang dikutip dari Eggins (1993), ketiganya dinormalisasi terhadap konsentrasi unsur yang sama pada kondrit seperti ditentukan oleh Sun dan McDonough (1989).

Dibandingkan terhadap N–MORB, konsentrasi unsur jejak *LILE* (Rb, Ba, Th, K) batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya umumnya lebih tinggi, dan pola grafik yang banyak berbeda. Bila dibandingkan terhadap OIB, konsentrasi unsur jejak batuan gunung api tersebut umumnya lebih rendah (kecuali Ba dan Th lebih tinggi), dan pola grafik lebih seragam. Sementara itu, bila dibandingkan terhadap pikrit 68622, konsentrasi unsur jejak batuan gunung api ini umumnya sedikit lebih tinggi, sedikit saling menindih (*overlap*), dan pola grafik yang lebih banyak seragam.

Ciri khas batuan gunung api yang terbentuk di lingkungan busur kepulauan adalah anomali negatif unsur Nb yang cukup tajam nisbi terhadap unsur K dan La. Berdasarkan anomali negatif unsur Sr pada percontoh 05 KL 06, 05 KL 09, 05 KL 14, dan 05 KL 21 diperkirakan bahwa plagioklas sempat berfraksinasi bersama pemisahan olivin dan klino-piroksen dari larutan magma. Konsentrasi *low ionic potential incompatible elements* yang tinggi diperkirakan karena pemindahan unsur-unsur tersebut pada tahap larutan asal *subducted slab*.

Ciri batuan gunung api yang terbentuk di lingkungan subdaksi adalah pengayaan *LILE* (Rb, Ba, Th, K) dan *LREE* (La – Sm), serta pemiskinan *HREE* (Eu – Lu). Tetapi pendapat mengenai sumber–sumber magma di jalur subdaksi masih terus berbeda. Telah diakui secara luas oleh sebagian ahli petrologi misalnya Crawford dr. (1987) dan Foden dan Green (1992), bahwa andesit dan batuan kalk-alkali lainnya berasal dari basal lewat fraksinasi – kristalisasi. Banyak ahli petrologi yang lain percaya bahwa magma busur bersifat andesit berasal dari basal beralumina tinggi atau *high alumina basalt* (*HAB*) lewat proses yang sama. Sejumlah penulis, misalnya Myers dr. (1986a,b), Johnston (1986), serta Brophy dan Marsh, (1986) telah menyatakan bahwa *HAB* mungkin berasal dari magma primer yang dihasilkan dari peleburan litosfer samudra tersubdaksi. Yoder dan Tilley (1962) serta Green dan Ringwood (1967) dengan pendapat berbeda percaya bahwa terbentuknya *HAB* adalah karena proses yang dapat menahan pembentukan plagioklas, seperti kristalisasi olivin, atau kehadiran air yang dapat mengarahkan magma basal ke arah komposisi *HAB*. Crawford dr. (1987) menyatakan bahwa banyak *HAB* dengan kandungan Al_2O_3 yang tinggi seperti ditemukan di pustaka adalah karena mengandung fenokris plagioklas.

Sulit untuk menyatakan bahwa batuan gunung api di daerah penelitian berasal dari magma primer hasil peleburan sebagian mantel atau kerak samudra tersubdaksi, karena variasi unsur geokimia yang dialami sama sekali tidak lagi menampakkan kesebandingan dengan hasil percobaan beberapa ahli petrologi yang sementara ini bisa dipakai sebagai acuan (Brophy, 1986; Brophy dan Marsh, 1986). Karena itu, kemiripan pola grafik dan bentuk anomali unsur geokimia batuan gunung api di daerah penelitian, baik unsur utama, unsur jejak, dan unsur tanah langka telah menjadi bervariasi karena berbagai faktor yang telah disebutkan, seperti sebagai larutan sisa (residu) magma basal olivin (pikrit) yang telah mengalami pemisahan olivin, klinopiroksen, plagioklas, apatit, dan *titaniferous magnetite* oleh fraksinasi, dan kontaminasi dalam tahap larutan asal *subducted slab*. Dengan tetap mengingat bahwa OIB mempunyai kandungan *HFSE* (Nb, Ta, Ti, Zr) yang tinggi, sedangkan data batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya tidak demikian, maka penulis

tafsirkan bahwa sumber magmanya adalah dari mantel N-MORB yang telah mengalami pengayaan unsur LILE (Rb, Ba, Th, K) dan LREE (La).

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat ditafsirkan bahwa batuan gunung api yang diteliti termasuk ke dalam kelompok basal, andesit basal, dan andesit, seri K-rendah, kalk-alkali, dan kalk-alkali K-tinggi. Sumber dan proses yang membentuk variasi komposisi kimia dan batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya adalah magma pikrit atau basal olivin asal mantel N-MORB yang telah mengalami pengayaan unsur Rb, Ba, Th, K, dan La dari kerak yang menunj- am. Magma primer ini kemudian mengalami pemisahan olivin dan klinopiroksen secara ekstensif, juga fraksinasi plagioklas, apatit, *titaniferousmagnetite*, serta pengayaan *low ionic potential incompatible elements* dan *light rare earth elements* (LREEs) karena pemindahan unsur-unsur tersebut pada tahap larutan asal *subducted slab*. Diferensiasi ditandai dengan terselimutinya ortopiroksen oleh klinopiroksen, dan perubahan komposisi magma menjadi kekurangan air yang ditunjukkan oleh horeblendanya berstruktur *rim margin* atau diganti bagian luarnya oleh mineral bijih Fe, Mg, dan Fe-oksida pada proses pembentukan batuan gunung api di daerah penelitian.

Ucapan Terima Kasih—Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dr. A. Ratdompurbo Kepala Pusat Survei Geologi atas izin yang diberikan untuk menerbitkan makalah ini. Terima kasih penulis sampaikan pula kepada Dr. Sutikno Bronto sebagai koordinator lapangan, dan Ir. Kaspar Lumbanbatu sebagai ahli geokronologi/jejak belah, serta Sri Sulistiyono sebagai surveyor yang bekerja sama di lapangan.

ACUAN

- Arculus, R.J. dan Powell, R., 1986. Source component mixing in the regions of arc magma generation. *Jour. Geophys. Res.*, 91, h. 5913-5926.
- Bronto, S. 2006. Fasies gunung api dan aplikasinya. *Jurnal Geologi Indonesia*, 2, h. 59 – 71.
- Brophy, J.G., 1986. Cold Bay volcanic centre, Aleutian volcanic arc. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 93, h. 368-380.
- Brophy, J.G. dan Marsh, B.D., 1986. On the origin of high alumina arc basalt and the mechanics of melt extraction. *Jour. Petrol.*, 27, h. 763- 789.
- Crawford, A.J., Fallon, T. J. dan Eggins, S., 1987. The origin of island arc high alumina basalts. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 109, h. 479- 493.
- Davidson, J.P., 1987. Crustal contamination versus subduction zone enrichment: Examples from the Lesser Antiles and implications for mantle source compositions of island arc volcanic rocks. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 51, h. 2185-2198.
- Eggins, S.M., 1993. Origin and differentiation of picritic arc magmas, Ambae (Aoba), Vanuatu. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 114, h. 79-100.
- Foden, J.D. dan Green, D.H., 1992. Possible role of amphibole in the origin of andesite: Some experimental and natural evidence. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 109, h. 479- 493.
- Green, D.H. dan Ringwood A.E., 1967. The genesis of basaltic magma. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1, h. 103 – 190.
- Grove, T.L. dan Kinzler, R.J., 1986. Petrogenesis of andesites. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci. Let.*, 14, h. 417-454.
- Hartono, U., 1995. The major, trace, rare earth element geochemistry of the Lawu Volcano, Central Jawa. *Jour. Geol Min Res.*, 50, h. 12-29.
- Johnston, A.D., 1986. Anhydrous P – T relations of near primary high-alumina basalt from the South Sandwich Islands. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92, h. 368 – 382.
- Martodjojo, S., 2003. *Evolusi Cekungan Bogor Jawa Barat*, ITB, Bandung. Thesis Doktor, tidak dipublikasikan, 238 h.
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic rocks series in island arcs and active continental margins. *Amer. Jour. Sci.*, 274, h. 321 - 355
- Morries, J. D. dan Hart, S.R., 1983. Isotopic and incompatible element constraints on the genesis of island arc volcanics from Cold Bay and Amak island, Aleutians, and implications for mantle structure. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, h. 2015-2930.
- Myers, J.D., Frost, C.D., dan Angevine, C. L., 1986a. A test of quartz eclogite source for parental Aleutian magmas: A mass balance approach. *Jour. Geology*, 94, h. 811 – 828.
- Myers, J.D., Marsh, B.D., dan Sinha, A.K., 1986b. Geochemical and strontium isotop characteristics of parental Aleutian arc magmas: evidence from the basaltic lava of Atka. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 94, h. 1 - 11.
- Nicholls, I.A. dan Ringwood, A.E., 1973. Effect of water on olivine stability in tholeiites and the production of silica-saturated magmas in the island arc environment. *Jour. Geol. Soc. London.*, 81, h. 285 – 300.
- Norries, K., dan Chappel. B.W., 1967. X-Ray fluorescent spectrography. *Dalam: Zussman J. (Ed.), Physical methods in determinative mineralogy*, Academic Press, London, h. 161 - 214.
- Pearce, J. A. dan Norry, M. J., 1979. Petrogenetic Implications

- of Ti, Zr, Y, and Nb variations in Volcanic Rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69, h. 33 – 47.
- Peccerillo, A. dan Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastomonu area Northern Turkey. *Contrib. Min. Petrol.*, 58, h. 63 – 81.
- Perfit, Mr. R., Gast, D. A., Bence, A. E., Arculus R. J., dan Taylor, S. R., 1980. Chemical characteristics of island arc basalts: Implication for mantle sources. *Chemical Geol.*, 30, h. 227 - 256.
- Reagan, M.K. dan Gill, G.B., 1989. Coexisting calc-alkaline and high niobium basalts from Tirralba volcano, Costa Rica: Implications for residual titanites in arc magma source. *Jour. Geophy. Res.*, 94 (B), h. 4619-4633.
- Ringwood, A.E., 1977. Petrogenesis in island arc systems. *Dalam: Talwani, M. and Pitman III, W, C. (eds), Island arcs, deep sea trenches and back-arc basin. Am. Geophys. Union*, h. 311-324.
- Silitonga, P.H., 2003. *Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa, skala 1:100.000*. Direkt. Geologi, Bandung.
- Silitonga, P.H., Masria, M., dan Suwarna, N., 1996. *Peta Geologi Lembar Cirebon, Jawa, skala 1:100.000*. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Soeriaatmadja, R., Maury, R. C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., dan Priadi, B., 1994. Tertiary Magmatic belts in Java. *Jour. SE Asian Earth Sci.* 9, h. 13-22.
- Sun, S. S., dan McDonough, 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes, *Dalam: Saunders, A. D., and Norry, M. J., (eds). Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc. Spec. Publ.*, 42, h. 313-345.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D.L., dan Nesbitt, R.W., 1986. Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: Evidence from high-pressure experiments and natural rocks. *Jour. Vol. Geotherm. Res.*, 29, h. 293-309.
- Thorpe, R.S. dan Francis., 1979. Petrogenetic relationship of volcanic and intrusive rocks of the Andes. *Dalam: Atherton , M.P. dan Tarney, J. (eds), Origin of Granite Batholiths Geochemical Evidence*, h. 65-75.
- Yoder, H. Z., and Tilley, C. E., 1962. Origin of basalt magmas: An experimental study of natural and synthetic rock system. *Jour. Petrol.*, 3, h. 342-532.