

# ANALISIS KANDUNGAN KIMIA BATUAN VULKANIK DARI SANGKARAPI SULAWESI SELATAN SERTA PEMANFAATANNYA DALAM KLASIFIKASI BATUAN DAN TATANAN TEKTONIK

Ulva Ria Irvan, M.Syahrul, Abd. Wahid Wahab dan Arifudin Idrus  
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin  
Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10 Makassar 90245  
Fax. 0411-588551

[ulvairfan@yahoo.com](mailto:ulvairfan@yahoo.com)

## ABSTRAK

Penelitian lapangan pada batuan vulkanik di Sangkaropi Sulawesi Selatan memperlihatkan perbedaan karakteristik fisik yang meliputi warna, tekstur dan struktur batuan, yang menyebabkan perbedaan kandungan unsur kimia dalam batuan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kandungan kimia dalam batuan vulkanik dengan menggunakan instrumen dalam bidang analitik yaitu ICP/MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) dan INAA (*Instrumental Neutron Activation Analysis*) dan pemanfaatannya dalam klasifikasi batuan dan penentuan tatanan tektonik pembentukan batuan.

Kandungan unsur kimia pada 8 (delapan) sampel batuan vulkanik diperoleh dengan menggunakan instrumen ICP/MS adalah unsur utama batuan seperti SiO<sub>2</sub> (65,2% - 72,33%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (12,9% - 16,44%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,68%-4,5%), MnO (0,06%-0,1%), CaO (0,09%-0,25%), Na<sub>2</sub>O (0,15%-4,49%), K<sub>2</sub>O (0,93%-3,37%), TiO<sub>2</sub> (0,273%-0,473%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01%-0,11%) dan unsur runtu dalam satuan ppm seperti Cd (0,5 - 2,9), Cu (4 - 23), Mo (2 - 5), Ni (3 - 9), Pb (5 - 55), S (0,003% - 0,315%), Sr (13 - 195), V (17 - 71), Y (15 - 36), Zn (35 - 99) dan Zr (140 -183). Kandungan unsur runtu dalam satuan ppm juga diperoleh dengan menggunakan instrumen NAA yaitu Au (5 ppb), As (6 - 24), Ba (99 - 657), Br (1 - 2), Co (3 - 8), Cr (1 - 50), Cs (0,5 - 4,6), Hf (3,6 - 4,7), Rb (20 - 70), Sb (0,3 - 0,7), Sc (6 - 10,6), Th (5,3 - 8,9), U (1,7 - 3,3), La (15,1 - 21,4), Ce (31 - 40), Nd (10 - 22), Sm (2,2 - 5,2), Eu (0,7 - 1,3), Yb (3,4 - 3,7) dan Lu (0,53 - 0,65).

**Kata kunci:** batuan vulkanik, ICP/MS, INAA

## PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu evolusi batuan (petrogenesis) sangat ditentukan oleh kemajuan teknik analisis kimia yang mampu menganalisis dengan kecepatan serta tingkat akurasi yang tinggi. Batuan pada mantel atas dan kerak bumi, tersusun oleh unsur-unsur kimia yang mengalami evolusi selama waktu dan proses geologi tertentu. Pengelompokan batuan berdasarkan atas distribusi dan kelimpahan unsur kimia (Rollinson, 1993, Jeffries, et.al., 1995).

Pemilihan instrument analisis kimia sangat penting untuk mendapatkan data unsur utama dan unsur runtu dalam suatu sampel batuan. Dalam penelitian ini, analisis litogeokimia menggunakan instrumen ICP/MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) dan INAA (*Instrumental Neutron Activation Analysis*). Salah satu dari aplikasi yang paling penting dengan menggunakan ICP-MS dan INAA adalah kemampuan instrumen tersebut untuk menentukan unsur-unsur baik logam maupun non-logam, juga dapat mengukur ion negatif maupun ion positif.

## **METODE PENELITIAN**

### **Sampel Batuan**

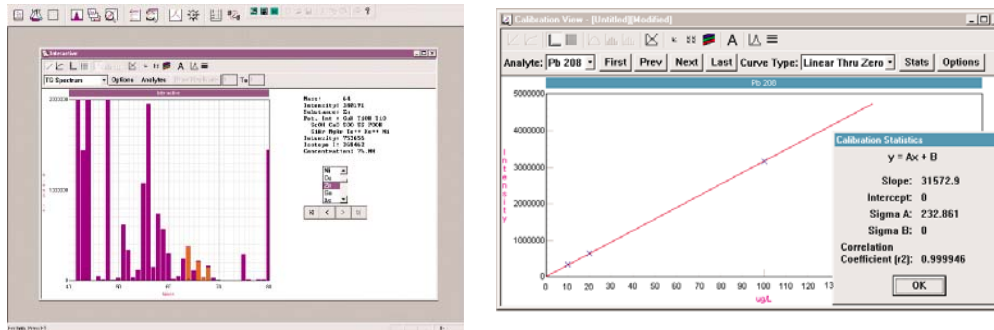
Pengambilan sampel batuan dilakukan pada batuan vulkanik yang relatif masih segar dengan tingkat ubahan atau pelapukan kurang dari 10%. Sampel batuan dipisahkan berdasarkan karakteristik fisik yang meliputi warna, tekstur dan struktur batuan. Sampel batuan kemudian dianalisis petrografi yaitu analisis dengan menggunakan mikroskop polarisasi untuk menentukan sampel yang akan dianalisis selanjutnya yaitu analisis kimia.

### **Prinsip Kerja ICP/MS**

Pada dasarnya peralatan ICP-MS merupakan gabungan dari dua peralatan yang masing-masing sudah berkembang, yakni antara alat eksitasi ICP dan MS-quadropole sebagai detektor. Penggabungan kedua alat ini menggunakan suatu skimmer yakni suatu logam tipis yang mempunyai lubang ditengahnya dengan diameter sekitar 60  $\mu\text{m}$ . Alat ini ditempatkan diantara plasma dan MS.

Prinsip kerja dari ICP-MS adalah sampel diintroduksikan ke dalam suatu pusat tabung plasma argon, yang mengkabut, secara cepat tersolvasi dan teruapkan. Selama transit melewati inti plasma proses disosiasi dan ionisasi terjadi. Ion-ion terekstrak dari tabung pusat plasma menuju suatu pompa vakum antarfase, kemudian ditransmisikan ke dalam spektrometer massa. Didalam spektrometer dan massa ion-ion terpisahkan berdasarkan massa mereka terhadap rasio muatan.

Di dalam instrumen, cairan dikonversikan menjadi aerosol melalui proses yang dikenal sebagai nebulisasi. Sampel aerosol ini kemudian ditransportasikan ke dalam plasma dan mengalami disolvasi, vaporisasi, atomisasi, dan eksitasi atau ionisasi oleh plasma. Atom dan ion yang tereksitasi memancarkan radiasi khas mereka yang akan dikumpulkan oleh alat yang memisahkan radiasi melalui panjang gelombangnya untuk analisis semi-kuantitatif. Radiasi ini dideteksi dan diubah menjadi sinyal elektronik yang dikonversi menjadi informasi konsentrasi untuk analisis kuantitatif (Gambar 1).

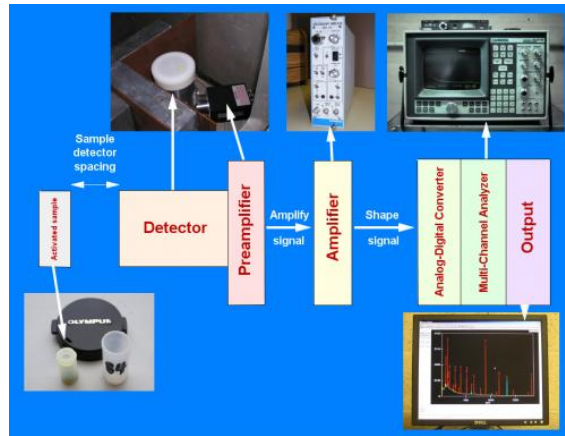


Gambar 1. Analisis semi kuantitatif dan kuantitatif (Thomas & Robert, 2001)

Sampel secara normal diintroduksi sebagai larutan ke dalam plasma, tetapi introduksi langsung berupa padatan dan gas juga dimungkinkan. Introduksi sample dalam bentuk gas ke dalam plasma memiliki banyak kelebihan, efisiensi transport mendekati 100% dibandingkan dengan produksi aerosol cairan dimana dalam nebulizer lebih dari 95% sampel dibuang, meningkatkan sinyal terhadap noise dan meningkatkan limit deteksi.

### Prinsip kerja INAA

Sampel diletakkan dalam detektor, untuk meminimalisasi gangguan panas, detektor diletakkan pada temperatur *cryogenic* (temperatur cairan nitrogen = 77K). Signal yang dihasilkan sangat kecil, maka pre-amplifier dihubungkan dengan detektor sehingga signal menjadi kuat. Signal yang dibentuk oleh amplifier spektroskopi kemudian dikonversi dari analog ke digital. Hasilnya disimpan dalam bentuk format digital (*multi-channel analyzer*). Sebuah komputer digunakan untuk memvisualisasikan spektrum yang dihasilkan dan mengkalkulasi spektrum tersebut. Variasi algoritma digunakan untuk mendeterminasi bentuk dan energi sinar gamma yang berbentuk *peak* dalam spektrum dan untuk mendeterminasi daerah jangkauan *peak*. Bagian yang rusak, interferensi, fluence, koreksi hasil fussion dan perbandingan dengan standar digunakan untuk menganalisis secara kuantitatif (Gambar 2).



**Gambar 2.** Prosedur analisis unsur runut dengan INAA (Ebi & Nelson, 2005)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Unsur Utama Batuan Vulkanik

Data kimia batuan dikelompokkan berdasarkan kelimpahan dalam hasil analisis, yang terbagi 2 (dua) yaitu unsur utama (*major element*) dan unsur runut. Determinasi unsur utama dilakukan hanya untuk kation dan diasumsikan bahwa unsur-unsur ini disertai dengan sejumlah kuantitas oksigen yang sesuai, sehingga jumlah total oksida unsur utama adalah sekitar 100%. Besi dapat dideterminasi sebagai FeO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang ditampilkan sebagai 'Fe total' dan dituliskan sebagai FeO<sub>(tot)</sub> atau Fe<sub>2</sub>O<sub>3(tot)</sub>.

Unsur utama dianalisis dengan menggunakan instrument ICP/MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*). Semua unsur utama Limit deteksi semua unsur utama adalah 0,01%, kecuali TiO<sub>2</sub> limit deteksinya 0,005%. Hasil analisis unsur utama ditampilkan pada tabel 1.

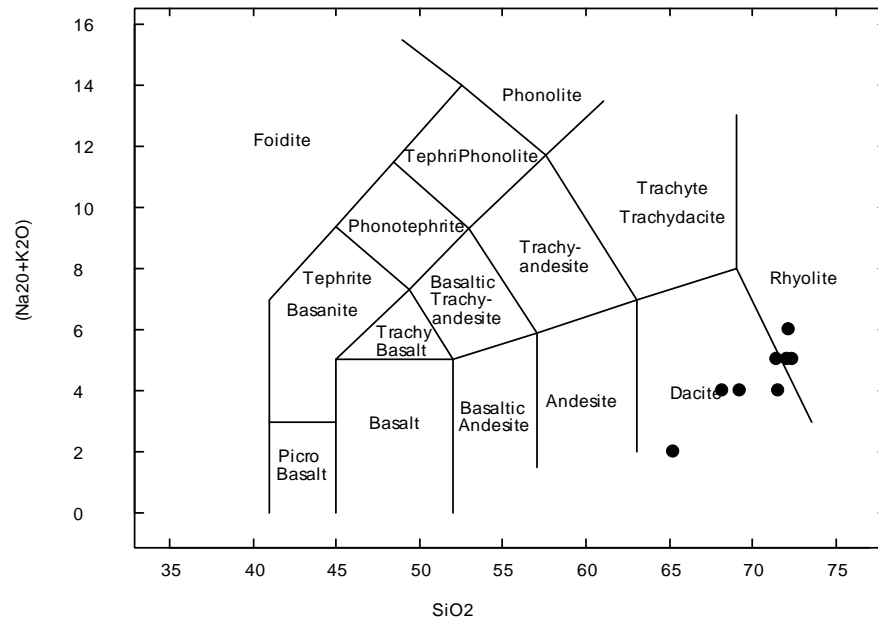
Pemanfaatan data unsur utama adalah mengklasifikasikan batuan berdasarkan diagram variasi SiO<sub>2</sub> terhadap (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O), yang membagi tipe batuan berdasarkan kandungan silikanya yaitu ultrabasa, basa, intermedit dan asam (LeBas, et.al., 1986 dalam Rollinson, 1993). Batuan vulkanik di Sangkaropi termasuk dalam tipe batuan riolit dan dasit yang bersifat asam. Batuan riolit mengandung senyawa oksida SiO<sub>2</sub> antara 71,4% - 73,11%, senyawa oksida Na<sub>2</sub>O antara 3,12% - 4,49% dan senyawa oksida K<sub>2</sub>O antara 0,93% - 2,79%.

**Tabel 1.** Hasil analisis unsur utama batuan dengan instrument ICP/MS

| <b>Senyawa utama</b> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (tot) | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | LOI   | Total |
|----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------|-------|
| <b>satuan</b>        | %                | %                              | %                                    | %    | %    | %    | %                 | %                | %                | %                             | %     | %     |
| <b>Limit deteksi</b> | 0,01             | 0,01                           | 0,01                                 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01              | 0,01             | 0,005            | 0,01                          |       | 0,01  |
| A.06S                | 65,2             | 16,44                          | 3,12                                 | 0,04 | 0,73 | 0,09 | 0,05              | 2,13             | 0,273            | 0,01                          | 5,58  | 99,67 |
| B.30                 | 69,19            | 12,9                           | 4,5                                  | 0,1  | 3,84 | 0,32 | 3,28              | 1,07             | 0,473            | 0,1                           | 4,01  | 99,7  |
| G.01                 | 71,4             | 14,18                          | 2,68                                 | 0,06 | 0,86 | 0,92 | 4,49              | 0,93             | 0,358            | 0,11                          | 2     | 99,52 |
| G.12A                | 72,19            | 13,63                          | 2,92                                 | 0,06 | 1,72 | 0,25 | 2,91              | 3,37             | 0,332            | 0,08                          | 2,47  | 99,93 |
| G.12B                | 72,11            | 13,71                          | 2,84                                 | 0,05 | 1,79 | 0,34 | 3,18              | 2,79             | 0,345            | 0,09                          | 2,66  | 99,87 |
| G.14                 | 72,33            | 13,38                          | 2,89                                 | 0,05 | 1,75 | 0,33 | 3,12              | 2,75             | 0,348            | 0,09                          | 2,33  | 99,41 |
| A.30                 | 72,2             | 13,27                          | 1,5                                  | 0,01 | 0,77 | 0,03 | 0,05              | 2,38             | 0,144            | 0,04                          | 10,04 | 100,4 |
| GR.11                | 71,5             | 14,18                          | 2,68                                 | 0,16 | 1,76 | 0,92 | 4,49              | 0,93             | 0,35             | 0,11                          | 2,02  | 99,1  |

*Analisis di Actlab, Canada*

Batuan dasit mengandung senyawa oksida SiO<sub>2</sub> antara 65,2% - 70,19%, senyawa oksida Na<sub>2</sub>O antara 1,05% - 3,28% dan senyawa oksida K<sub>2</sub>O antara 1,07% - 3,07%. (Gambar 3). Kandungan TiO<sub>2</sub> yang kurang dari 1% yaitu antara 0,067% - 0,473%, secara umum menunjukkan kesamaan dengan batuan vulkanik di busur kepulauan (Paccerillo, 1976; Gill, 1981) termasuk Indonesia yang terbentuk dari hasil peleburan baji mantel di atas penunjaman lempeng.



**Gambar 3.** Tipe batuan vulkanik berdasarkan variasi  $\text{SiO}_2$  vs  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  menurut LeBas, et.al., 1986.

### Unsur Runut dalam Batuan Vulkanik

Unsur runut didefinisikan sebagai unsur-unsur yang konsentrasinya sangat kecil dalam suatu sampel batuan, satuan konsentrasinya dalam ppm atau ppb. Pengelompokan unsur runut dalam batuan berdasarkan pada perilakunya dalam sistem magmatik dengan memperhatikan pula posisi unsur pada tabel periodik. Ketika mantel bumi melebur, unsur runut terbagi cenderung ke fasa magma (*melt*) yang bersifat kompatibel dan ada yang ke fasa *solid* (mineral) bersifat inkompatibel.

Unsur yang inkompatibel dibedakan berdasarkan potensial ionnya (Rollinson, 1995). Kation-kation yang berukuran kecil dan bermuatan tinggi disebut kation *high field strength (HFS)* yang potensial ionnya  $> 2,0$ . Kation-kation yang berukuran besar dan bermuatan rendah disebut *low field strength (LFS)* yang potensial ionnya  $< 2,0$  juga dikenal sebagai *large ion lithophile elements (LILE)*.

Kandungan unsur inkompatibel pada batuan vulkanik di daerah penelitian dianalisis dengan menggunakan instrumen INAA dan sebagian menggunakan ICP/MS yaitu untuk unsur Sc, Ta dan Th. Hasil analisis kimia kelompok unsur inkompatibel ditampilkan pada tabel 2 dan tabel 3.

**Tabel 2.** Hasil analisis unsur runtu batuan dalam kelompok *HFS* dengan instrumen ICP/MS dan INAA

| Unsur Runtu   | Sc   | Ta  | Th  | U   | Hf  | La   | Ce  | Nd  | Sm  | Eu  | Tb   | Yb  | Lu   |
|---------------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|
| Satuan        | ppm  | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm  | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm  | ppm | ppm  |
| Limit Deteksi | 0,1  | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,2  | 3   | 5   | 0,1 | 0,1 | 0,5  | 0,1 | 0,05 |
| A.06S         | 5,1  | < 1 | 8,9 | 2   | 3,6 | 15,1 | 31  | 10  | 2,2 | 0,7 | <0,5 | 3,4 | 0,55 |
| B.30          | 10,6 | < 1 | 6,4 | 1,7 | 4,6 | 20   | 43  | 12  | 4,1 | 1,2 | <0,5 | 3,4 | 0,57 |
| G.01          | 7,1  | 1   | 5,5 | 3,3 | 4,6 | 18,6 | 40  | 22  | 4,9 | 1,3 | 0,5  | 4,6 | 0,65 |
| G.12A         | 6    | 1   | 5,7 | 2,6 | 4,7 | 21,4 | 40  | 19  | 5,2 | 1,3 | 0,5  | 3,5 | 0,56 |
| G.12B         | 6    | 1   | 5,9 | 2   | 4,7 | 21,4 | 40  | 18  | 4,9 | 0,9 | 0,9  | 3,4 | 0,53 |
| G.14          | 6,3  | 1   | 5,3 | 2,2 | 4,7 | 19,8 | 38  | 19  | 4,7 | 0,9 | 0,7  | 3,7 | 0,53 |
| A.30          | 10,6 | < 1 | 6,4 | 1,7 | 4,6 | 20   | 43  | 12  | 4,1 | 1,2 | <0,5 | 3,4 | 0,57 |
| GR.11         | 7,1  | 1   | 5,5 | 3,3 | 4,6 | 18,6 | 40  | 22  | 4,9 | 1,3 | 0,5  | 4,6 | 0,65 |

*analisis di Actlab, Canada*

Hasil analisis unsur tanah jarang (rare earth element/REE) sangat berguna dalam studi evolusi batuan dan mineralisasi hidrotermal (Tabel 2). REE terdiri atas logam-logam dengan nomor atom 57-71 – La ke Lu. Anggota yang REE nomor atomnya kecil disebut light rare earth elements (LREE), sedangkan yang bernomor atom besar disebut heavy rare earth elements (HREE) (Rollinson, 1995).

**Tabel 3.** Hasil analisis unsur runut kelompok *LFS* dengan instrumen INAA

| Unsur Runut   | Cs  | Rb  | Ba  |
|---------------|-----|-----|-----|
| Satuan        | ppm | ppm | ppm |
| Limit deteksi | 0.5 | 20  | 2   |
| A.06S         | 4,6 | 70  | 149 |
| B.30          | 1,4 | 20  | 99  |
| G.01          | 1,5 | 20  | 203 |
| G.12A         | 0,5 | 40  | 742 |
| G.12B         | 0,5 | 40  | 546 |
| G.14          | 2,4 | 20  | 657 |
| A.30          | 1,4 | 20  | 99  |
| GR.11         | 1,5 | 20  | 203 |

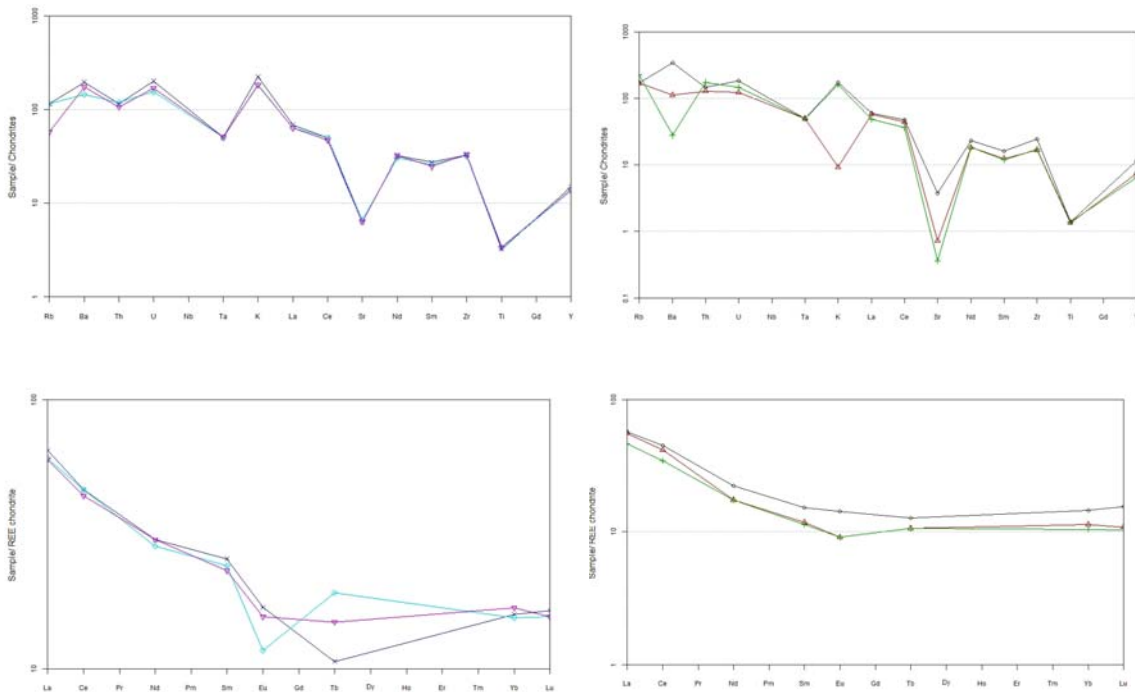
*Analisis di Actlab, Canada*

Pemanfaatan unsur runut dalam evolusi batuan dapat diinterpretasikan pada mobilitas unsur yang menjelaskan perubahan-perubahan kimia yang terjadi pada batuan setelah pembentukannya. Mobilitas unsur bisa merupakan hasil dari perubahan volume akibat penambahan (*enrichment*) atau kehilangan (*depletion*) komponen tertentu dalam batuan. Mobilitas unsur runut batuan vulkanik riolit dan dasit terlihat berbeda dalam variasi unsur mobile dan yang immobile (Gambar 4).

Batuan riolit mengandung konsentrasi LILE yang bervariasi yaitu Rb (20 ppm - 40 ppm), Ba (546 ppm – 742 ppm) dan Sr (69 ppm – 73 ppm). Konsentrasi HFSE secara umum terkonsentrasi rendah yaitu Th (5,3 ppm – 5,9 ppm), Y (27 ppm - 30 ppm), U (2ppm - 2,6 ppm), dan Ta 1 ppm , kecuali Zr mengandung konsentrasi yang lebih besar yaitu 177 ppm – 183 ppm). Unsur LILE yang *mobile* seperti pada Ba dan K, mengalami penambahan dan Sr yang mengalami deplete. Unsur HFSE memperlihatkan *immobile* seperti Zr dan *mobile* untuk Ti yang mengalami penurunan karena terfraksinasi. Pola REE secara umum mengalami penurunan yang kuat utamanya pada MREE seperti Eu dan Tb dan terkonsentrasi rendah pada HREE.



Pada batuan dasit mengandung konsentrasi LILE yang bervariasi yaitu Rb (20 ppm - 70 ppm), Ba (99 ppm - 203 ppm) dan Sr (13 ppm - 195 ppm). Konsentrasi HFSE secara umum terkonsentrasi rendah yaitu Th (5,5 ppm - 8,9 ppm), Y (15 ppm - 36 ppm), U (2 ppm - 2,6 ppm), TiO<sub>2</sub> (0,93% - 2,13%) dan Ta 1 ppm, kecuali Zr mengandung konsentrasi yang lebih besar yaitu 183 ppm - 127 ppm.



**Gambar 4.** Mobilitas unsur runtu pada batuan riolit (kanan) dan dasit (kiri).

Pada diagram memperlihatkan unsur LILE yang *mobile* seperti pada K yang mengalami pengayaan, Ba dan Sr yang mengalami pengurangan. Unsur HFSE memperlihatkan *immobile* seperti Ce, Nb, Sm dan *mobile* untuk Ti yang mengalami penurunan karena terfraksinasi, U dan Zr yang sedikit terkayakan. Pola REE secara umum mengalami penurunan yang lemah utamanya pada MREE seperti pada Tb dan konsentrasi meningkat pada HREE.

Kelompok logam transisi yang umumnya terdapat sebagai unsur runtu dalam batuan vulkanik, sangat penting untuk mengetahui sumber batuan pembawa logam-logam yang ekonomis. Pada sampel batuan vulkanik terdeteksi adanya unsur logam transisi pada analisis aktivasi neutron dan spektrometri plasma (Tabel 5). Logam-logam

transisi yang terdeteksi lebih besar daripada kandungan logam dalam magma yaitu > 1%. Batuan diinterpretasikan telah mengalami pengayaan unsur akibat proses tektonik di zona subdaksi.

**Tabel 5.** Hasil analisis unsur runut kelompok logam transisi dengan menggunakan INAA

| Unsur Runut   | Co  | Cr  | Cu  | Ni  | Zn  |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| satuan        | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| Limit deteksi | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| A.06S         | 3   | 50  | 23  | 9   | 88  |
| B.30          | 8   | 26  | 14  | 7   | 93  |
| G.01          | 6   | 1   | 4   | 4   | 38  |
| G.12A         | 4   | 1   | 13  | 4   | 75  |
| G.12B         | 4   | 1   | 4   | 3   | 99  |
| G.14          | 3   | 1   | 9   | 3   | 92  |
| A.30          | 8   | 26  | 10  | 7   | 90  |
| GR.11         | 6   | 1   | 20  | 4   | 35  |

*Analisis di Actlab, Canada*

## KESIMPULAN

1. Salah satu dari aplikasi yang paling penting dengan menggunakan ICP-MS dan INAA adalah kemampuan instrumen tersebut untuk menentukan unsur runut dalam batuan vulkanik dengan limit deteksi hingga 0,05 ppm.
2. Batuan vulkanik dari Sangkaropi termasuk dalam tipe riolit dan dasit yang terbentuk di busur kepulauan karena penunjaman lempeng.
3. Batuan mengandung unsur logam transisi yang berasosiasi dengan mobilisasi kelompok unsur FS dan LFS.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Christian, Gary D. 1994. *Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- [2] Ebi & Nelson, 2005, *Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA)*, University of Massachusetts Lowell
- [3] Jeffries, T.E., Perkins, W.T., Pearce, N.J.G., 1995, *Measurements of trace element in basalt and their phenocrysts by laser probe microanalysis inductively coupled plasma mass spectrometry*, Chemical Geology, Elsevier, p.133-144
- [4] Rollinson, H. (1993) *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman Group, UK, 351 p.
- [5] Thomas & Robert, 2001. *A Beginner's Guide to ICP-MS*. Spectroscopy Tutorial.
- [6] Alfassi, Z.B., 1990, *Activation Analysis, Volumes I and II*. CRC Press: Boca Raton, FL.

[KEMBALI KE DAFTAR ISI](#)