

**UMUR BATUAN GRANIT ASAL SUMATERA BARAT  
BERDASARKAN METODE PENTARIKHAN JEJAK BELAH**

Eddy Sudjana, Uni Kurnia, Darwin A. Siregar dan Yeni Heryani  
Fakultas MIPA Universitas Padjadajaran dengan P3G Bandung  
Jatinangor, Bandung 40600

**ABSTRAK**

Pembelahan spontan  $^{238}\text{U}$  pada mineral meninggalkan jejak belah yang dapat diperbesar dengan proses pengetsaan. Jumlah jejak pada area tertentu merupakan fungsi dari umur mineral tersebut dan kandungan uraniumnya. Metode pentarikan jejak belah antara lain digunakan untuk menentukan umur mineral apatit dan zirkon, yang terkandung dalam batuan beku seperti granit. Metode ini memberikan informasi tentang berbagai peristiwa geologi yang ada hubungannya dengan umur mutlak suatu batuan, khususnya tentang sejarah perubahan suhu di masa lampau. Dalam penelitian ini, metode pentarikan jejak belah digunakan untuk penentuan umur contoh batuan granit asal daerah Sumatera Barat. Proses pengerjaan di laboratorium meliputi penggerusan, pencucian, pemisahan mineral, pengikatan, pemolesan, pengetsaan (*etching*), pengiradiansian, dan penghitungan umur dengan metode detektor eksternal. Hasil penelitian terhadap contoh granit yang diambil dari Sumatera Barat menunjukkan bahwa umur zirkon SB-36, SB-38, dan SB-47 (SB = Sumatera Barat, 36, 38 dan 47 adalah nomor kode contoh) masing-masing adalah  $39,03 \pm 1,75$ ;  $48,09 \pm 2,31$  dan  $4,74 \pm 0,49$  juta tahun, termasuk ke dalam umur Tersier Awal-Tersier Akhir.

**Kata kunci :** Pentarikan jejak belah

**THE GRANITE AGE ACCORDING TO FISSION TRACK DATING METHOD**

**ABSTRACT**

Spontaneous fission of  $^{238}\text{U}$  in mineral leaves damage tracks that can be enlarged by etching. The number of tracks per unit area is a function of the age of the mineral and its uranium concentration. The fission track method was used for dating apatite and zircon in igneous rock such as granite. This method provides information about many geological history which is related to the absolute number of age, especially the thermal histories. In this investigation fission track dating method was used for dating granite samples from region of West Sumatera. The procedure in laboratory included crushing, washing, mineral separation, mounting, polishing, etching, irradiation, and determining of age by External Detector Method (EDM). The experiment result of various samples obtained from region of West Sumatera, showed that the age of zircon S-36, SB-

38, and SB-47 were  $39.03 \pm 1.75$ ,  $48.09 \pm 2.31$ , and  $4.74 \pm 0.49$  Ma respectively, which clearly indicated within Early Tertiary - Late Tertiary.

**Keywords** : Fission track dating

## PENDAHULUAN

Pengetahuan tentang sejarah bumi pada masa yang lalu telah mendorong pesatnya penelitian akan hal-hal yang berkaitan dengan umur bumi. Pentarikhkan untuk menentukan umur bumi telah dilakukan dengan berbagai cara. Penentuan umur batuan secara radiometrik, sekarang merupakan cara yang umum digunakan dalam studi stratigrafi dan studi geologi sejarah (Sukandarmadji, 1992).

Untuk menentukan waktu absolut, para peneliti mengkorelasikannya dengan sifat radioaktif suatu unsur, yaitu waktu paruhnya (*half life*). Dari sifat inilah dapat ditentukan umur material berdasarkan aktivitas radioaktifnya. Sehingga para peneliti menyimpulkan bahwa material yang mengandung unsur radioaktif dapat digunakan untuk menentukan umur suatu kejadian geologi dengan menentukan umur fosil, batuan atau material lainnya dalam satuan waktu absolut (Sampurno, 1989).

Pentarikhkan dibedakan dalam :

1. Pentarikhkan jejak belah, digunakan untuk menentukan umur batuan dengan mencacah rasio antara kerapatan spontan dan jejak belah.
2. Pentarikhkan kemagnetan purba, digunakan untuk menentukan umur endapan dengan mengukur kemagnetan sesuai dengan medan magnet bumi saat pengendapan.
3. Pentarikhkan radiokarbon, digunakan untuk menentukan umur arang kayu, gambut, cangkang karang yang terdapat dalam endapan kuartar dengan mengukur C-14 yang terkandung dalam bahan tersebut.

Metode pentarikhkan jejak belah merupakan salah satu metode pentarikhkan radiometrik berdasarkan pengukuran jejak-jejak yang terjadi akibat peluruhan unsur-unsur radioaktif oleh sinar alfa. Jejak-jejak yang terbentuk di alam ini merupakan dasar bagi analisis pentarikhkan jejak belah untuk menentukan umur absolut suatu mineral tempat jejak tersebut terbentuk. Jenis mineral yang dapat ditentukan umurnya antara lain mineral apatit dan zirkon yang umumnya terdapat dalam batuan beku asam sampai menengah (granit-diorit) dan batuan vulkanik jenis *tuf* primer. Mineral apatit umumnya digunakan untuk menentukan umur batuan yang cukup tua, sedangkan zirkon untuk batuan yang relatif muda.

Metode pentarikhkan jejak belah ini merupakan metode paling sederhana karena pengerjaannya mudah dan peralatannya yang relatif murah, kecuali alat iradiasi di reaktor nuklir yang cukup rumit dan mahal. Dalam penggunaan metode ini, contoh mineral harus bersih dari kontaminasi mineral lain dan

perhitungan jejak-jejak yang terbentuk pada contoh mineral merupakan bagian terpenting bagi analisis penentuan umur batuan. Oleh karena itu dalam pengerjaannya lebih ditekankan pada ketelitian, ketekunan dalam preparasi contoh mineral, di samping kecermatan dalam pengenalan dan perhitungan jejak sehingga dapat memberikan hasil yang akurat dan berguna dalam bidang geologi.

Mineral-mineral yang diketahui mengandung jejak antara lain apatit dan zirkon. Di antara kedua mineral tersebut, zirkon merupakan mineral yang paling tinggi kadar uraniumnya. Karena itu zirkon merupakan mineral yang paling baik dalam penentuan umur batuan yang relatif muda. Dalam metode pentarikan jejak belah, mineral yang digunakan

sebagai penentu umur harus memenuhi syarat, antara lain harus terbebas dari inklusi, kerusakan dan dislokasi sehingga memungkinkan untuk diidentifikasi dan dihitung jejaknya. Selain itu jejak yang terbentuk pada mineral tersebut harus sudah cukup banyak dan kondisinya stabil selama penentuan.

## **BAHAN DAN METODE PENELITIAN**

### **Bahan**

Contoh batuan yang akan ditentukan umurnya dalam penelitian ini berasal dari daerah Sumatera Barat, yang diberi simbol SB-36, SB-38, dan SB-47.

Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas: air suling, aseton, alkohol, bromoform, larutan klerici (*thallous formate malonate*), KOH, NaOH,  $Al_2O_3$ , HF.

### **Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini, penentuan umur batuan dengan metode pentarikan jejak belah dilakukan dengan metode EDM (*External Detector Method*), yaitu penghitungan jejak spontan (Ns) dilakukan pada kristal, sedangkan jejak induksi (Ni) dilakukan pada detektor mika (Galbraith, 1984).

### **Pengikatan Butir (*Mounting*)**

Mineral zirkon sebanyak 20-30 butir disusun secara teratur di atas lempengan kaca objek. Kemudian dua lembar teflon berukuran 2 x 2 cm diletakkan di atas kristal tersebut lalu ditutup lagi dengan kaca objek, dan dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 330°C. Setelah teflonnya mencair lalu kaca objek ditekan sehingga kristal zirkon terbenam di dalam media teflon, kemudian diangkat dan didinginkan pada suhu kamar sehingga teflon kembali mengeras. Harus diusahakan agar teflonnya menutupi semua permukaan kristal dan tidak ada gelembung udara yang terperangkap ke dalamnya.

### Pengasahan dan Pemolesan

Mineral zirkon yang telah diikat tadi, dipoles dengan menggunakan bubuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,3  $\mu\text{m}$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ :  $\text{H}_2\text{O}$  = 1: 5) di atas kain nilon sampai bidang kristalnya terbuka.

### Pengetsaan (*Etching*)

Larutan pengetsa (KOH : NaOH = 11,8 : 8 b/b) di masukkan ke dalam bejana teflon, lalu dipanaskan pada suhu 220°C. Setelah suhunya stabil, mineral zirkon yang diikat dalam teflon dimasukkan ke dalam bejana yang berisi larutan pengetsa selama dua jam. Setelah itu diangkat dan dibilas dengan air panas. Jejak spontan (Ns) yang terbentuk pada kristal kemudian diamati di bawah mikroskop, jika jejaknya kurang jelas maka proses pengetsaan dilakukan kembali hingga jejak spontannya benar-benar terbentuk dengan baik.

### Iradiasi

Mineral yang akan ditentukan umurnya diiradiasi dengan neutron termal bersama-sama dengan detektor mika dan standar. Iradiasi dilakukan di reaktor nuklir TRIGA MARK II berkekuatan 100 KW. Menurut *National Bureau of Standard* (NBS), standar yang digunakan untuk mineral zirkon adalah *corning glass* CN-2, dengan fluks neutron sebesar  $2,536 \times 10^{11}$  neutron/cm<sup>2</sup>. Lama pengiradian adalah sekitar 60 menit.

Setelah diiradiasi, detektor mika dietsa dengan menggunakan larutan 40% HF selama 15 - 20 menit pada suhu 20°C, kemudian dicuci dengan air dan dibiarkan selama sekitar 12 jam.

### Penghitungan Umur

Penghitungan umur dilakukan dengan metode detektor eksternal. Dalam metode ini jejak induksi dihitung pada mika (Galbraith, 1984) dan jejak spontan dihitung pada kristalnya sendiri. Dengan cara ini umur masing-masing butir didapatkan dengan menggunakan rumus:

$$T = \left| \frac{1}{\lambda_a} \ln 1 + \left[ \frac{\rho_s}{\rho_I} \right] \lambda_a \rho_d \zeta \right|$$

Faktor kesalahan (*error*) ditentukan dengan mengikuti Green (1981) :

$$t' = T_x \sqrt{\frac{1}{\sum N_s} + \frac{1}{\sum N_s} + \frac{1}{\sum N_s}}$$

dimana;

$T$  = Umur dalam juta tahun;  $t'$  = Faktor kesalahan

$\zeta$  = Konstanta (*zeta value*);  $\rho_s$  = Kerapatan jejak spontan

$\rho_I$  = Kerapatan jejak induksi;  $\rho_d$  = Kerapatan jejak pada dosimeter standar

$N_s$  = Jumlah jejak spontan,  $N_i$  = Jumlah jejak induksi

$N_d$  = Jumlah jejak induksi pada dosimeter standar

$\lambda_a$  = Konstanta urai dari  $^{238}\text{U}$  oleh emisi sinar alfa ( $\lambda_a = 1,55125 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$ )

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Perlakuan Pendahuluan Contoh**

Contoh batuan yang akan ditentukan umurnya dengan metode pentarikan jejak belah diambil sekitar lima kg agar jumlah mineral yang diperlukan memenuhi syarat untuk diproses lebih lanjut. Penggerusan dilakukan sampai kehalusan sekitar mesh, agar mineral-mineral pembentuknya terlepas satu dengan lainnya.

Tahap awal pencucian 60 dengan air suling itu bertujuan untuk menghilangkan fraksi lempung. Tahap selanjutnya adalah pengeringan pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 24 jam lalu diayak untuk mendapatkan fraksi berukuran lebih kecil dari 60 mesh sesuai dengan fraksi zirkon.

### **Pemilihan Mineral**

Dengan menggunakan metode pentarikan jejak belah, contoh mineral yang akan ditentukan umurnya harus bersih dari kontaminasi mineral lain. Untuk mendapatkan mineral zirkon yang baik dilakukan beberapa tahap pemisahan, yaitu:

1. Pemisahan mineral magnetik dengan menggunakan magnet permanen dan *isodynamic magnetic separator*.
2. Pemisahan mineral berat dengan bromoform. Zirkon dengan bobot jenis 4,65 - 4,71 termasuk mineral berat dengan bobot jenis yang lebih besar dari bobot jenis bromoform (2,8) sehingga mineral itu akan tenggelam dalam bromoform, sedang mineral ringan akan terapung di permukaan bromoform. Pencucian dengan aseton bertujuan untuk menarik sisa bromoform dalam mineral berat.
3. Pemisahan mineral zirkon dan apatit dengan larutan klerici. Pemisahan mineral zirkon dan apatit dilakukan dengan menggunakan larutan klerici berdasarkan perbedaan bobot jenis kedua mineral tersebut. Zirkon mempunyai bobot jenis yang lebih besar dari bobot jenis larutan klerici (3,4), sedangkan apatit mempunyai bobot jenis yang lebih kecil sehingga zirkon akan tenggelam dalam larutan klerici sedangkan apatit akan terapung di permukaan larutan klerici. Kemudian zirkon yang telah dipisahkan, dicuci dengan air dan dikeringkan.

Pemilihan zirkon yang baik dilakukan di bawah mikroskop binokuler secara manual (*hand packing*). Zirkon yang akan ditentukan umurnya ini harus terbebas dari inklusi, kerusakan dan dislokasi sehingga memungkinkan untuk diidentifikasi dan dihitung jejaknya (Gleadow and Lovering, 1974).

Hasil pemilihan mineral zirkon dari tiga jenis contoh batuan granit asal Sumatera Barat terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil pemilihan mineral zirkon dari batuan granit asal Sumatera Barat

Contoh Batuan	Bentuk	Warna	Jumlah Butir
SB-36	Dwilimas	Merah transparan	± 100
SB-38	Dwilimas	Merah transparan	± 200
SB-47	Dwilimas	Merah transparan	± 300

### Pengikatan Butir (*Mounting*)

Butiran mineral harus diikat dalam Teflon agar mudah dalam proses pengasahannya. Pengikatan dilakukan pada suhu 330°C. Zirkon harus dipastikan terbenam di dalam media teflon dan harus diperhatikan agar tidak ada gelembung yang terperangkap di dalamnya karena hal ini akan mengganggu dalam pengamatan dan identifikasi jejak.

Hasil pengikatan butir dari masing-masing contoh batuan granit asal Sumatera Barat tercantum pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengikatan butir mineral zirkon

No.	Contoh batuan	Jumlah butir
1.	SB-36	(4x5)
2.	SB-38	(5x5)
3.	SB-47	(6x6)

### Pengasahan dan Pemolesan

Pada proses pengasahan dan pemolesan zirkon dari contoh batuan asal Sumatera Barat ini dilakukan dengan cara geometri  $4\pi$ , agar jejak yang didapat pada bidang baru berasal dari kedua belah sisi, yaitu bagian atas dan bagian bawah (Reimer, 1970).

### Pengetsaan (*Etching*)

Tahap pengetsaan merupakan tahap yang paling menentukan dalam menentukan umur dengan metode pentarikan jejak belah. Pengetsaan ini bertujuan untuk memperbesar ukuran jejak sehingga dapat diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 1000 kali. Jejak-jejak yang dihasilkan adalah jejak spontan (Ns) yaitu jejak yang terbentuk dalam mineral zirkon.

**Umur Batuan Granit Asal Sumatera Barat Berdasarkan Metode Pentarikan Jejak Belah (Eddy Sudjana dkk.)**

Pengetsaan harus dilakukan sedemikian rupa sehingga selama proses berlangsung kristal tidak menjadi rusak. Karena itu dipilih bahan kimia yang cocok untuk mineral yang bersangkutan (Price and Walker, 1962).

Untuk mendapatkan jejak spontan pada zirkon dari contoh batuan yang dianalisis, pengetsaan dilakukan dengan menggunakan larutan KOH: NaOH=11,88: 8,8 b/b pada suhu 220-240°C, karena pengetsaan dengan larutan ini tidak berbahaya, mudah mengerjakannya dan dapat dipergunakan berulang-ulang (Tagami, T., 1988).

Zirkon (ZrSiO<sub>4</sub>) adalah oksida zirkonium, ZrO<sub>2</sub> dan oksida silikat, SiO<sub>2</sub>. Untuk itu larutan pengetsaan dipilih suatu senyawa alkali seperti campuran KOH dan NaOH. Larutan pengetsaan ini dapat memperbesar kelarutan dari inti jejak sehingga jejak yang terbentuk menjadi lebih besar dan dapat diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 1000 kali.

Lama pengetsaan bergantung kepada kerapatan jejak konsentrasi uranium, bidang kristal dan ukuran kristal.

Hasil pengetsaan zirkon dari batuan granit asal Sumatera Barat dengan menggunakan KOH: NaOH=11,88: 8,8 b/b pada suhu 220-240°C tercantum pada Tabel 3.

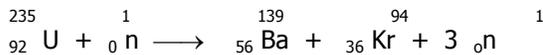
**Tabel 3.** Hasil pengetsaan zirkon batuan granit asal Sumatera Barat

No.	Contoh batuan	Jumlah butir		Waktu
		sebelum pengetsaan	Setelah pengetsaan	
1.	SB-36	20	15	2 jam
2.	SB-38	30	18	2 jam
3.	SB-47	36	11	10 jam

**Iradiasi**

Iradiasi dengan menggunakan neutron termal pada suatu reaktor nuklir dilakukan untuk memperoleh jejak induksi yang terbentuk dari proses pembelahan <sup>235</sup>U oleh sinar iradiasi neutron termal karena massanya yang sangat besar dan besarnya energi yang dilepaskan.

<sup>235</sup>U yang ditembaki dengan neutron maka terjadi reaksi pembelahan inti:



Setiap pembelahan inti akan menghasilkan energi 200 juta eV (200 MeV) (Price and Walker, 1962). Jejak induksi ini akan ditangkap dalam detektor mika yang diikutsertakan pada waktu iradiasi. Standar yang digunakan untuk zirkon adalah *Corning glass* CN-2 yang mempunyai kadar uranium ± 43 ppm (Schreurs *et al.*, 1971). Fluks neutron yang digunakan untuk zirkon adalah 2,536 x 10<sup>11</sup> neutron/cm<sup>2</sup>, waktu pengiradian adalah satu jam pada lokasi *Lazy Susan*.

Setelah dilakukan iradiasi, detektor mika dari zirkon dan dari standar dietsa dengan menggunakan larutan HF 40%. Larutan HF ini akan memperbesar jejak induksi pada mika sehingga dapat diamati dengan mikroskop perbesaran 1000 kali.

Mika atau muskovit,  $6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  termasuk golongan mineral silikat. HF akan melarutkan bahan-bahan yang mengandung silika, karena HF akan mengendapkan silika sebagai tetra fluorida, menurut reaksi:



### Penghitungan Umur

Jumlah zirkon yang ditarikh adalah sebanyak 10 butir. Jumlah jejak spontan (Ns) dari tiap butir berkisar antara 223 - 362, sedangkan jumlah jejak induksi (Ni) berkisar antara 108 - 241. Umur tiap butir zirkon antara 34,5 - 50,3 juta tahun. Umur rata-rata zirkon menunjukkan umur granit SB-36 yaitu  $39,03 \pm 1,75$  juta tahun.

Untuk granit SB-38, zirkon yang dapat ditarikh adalah sebanyak sembilan butir. Jumlah jejak spontan dari butir zirkon berkisar antara 168 - 390, sedangkan jumlah jejak induksi adalah berkisar antara 96 - 220. Umur tiap butir zirkon antara 40,67 - 60,82 juta tahun. Umur rata-rata zirkon menunjukkan umur granit SB-38 yaitu  $48,09 \pm 2,31$  juta tahun.

Jumlah zirkon yang dapat ditarikh dari SB-47 adalah sebanyak 10 butir. Jumlah jejak spontan tiap butir zirkon antara 6 - 25, sedangkan jumlah jejak induksi antara 42 - 93. Umur tiap butir zirkon berkisar antara 2,14 - 7,57 juta tahun. Umur rata-rata zirkon menunjukkan umur granit SB-47 yaitu  $4,74 \pm 0,49$  juta tahun.

Terjadinya perbedaan umur tiap butir zirkon dalam batuan yang sama disebabkan oleh perbedaan bentuk butir dan kandungan uraniumnya (Carpenna, 1992).

Hasil analisis jejak belah terhadap tiga contoh granit dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil pentarikhan jejak belah batuan asal Sumatera Barat

No.	Contoh	Nama Batuan	Umur (juta tahun)
1.	SB-36	Granit	$39,03 \pm 1,75$
2.	SB-38	Granit	$48,09 \pm 2,31$
3.	SB-47	Granit	$4,74 \pm 0,49$

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

1. Tahapan proses persiapan contoh sampai terbentuknya jejak yang dapat diamati di bawah mikroskop perbesaran 1000 kali dengan cara pengetsaan

pada kondisi yang optimum merupakan tahapan yang paling menentukan untuk mendapatkan hasil yang akurat.

2. Hasil rata-rata pentarikhan jejak belah untuk contoh batuan granit asal Sumatera Barat dengan menggunakan zirkon sebagai penentu umur adalah sebagai berikut: granit SB-36 berumur  $39,03 \pm 1,75$  juta tahun, granit SB-38 berumur  $48,09 \pm 2,31$  juta tahun, dan granit SB-47 berumur  $4,74 \pm 0,49$  juta tahun.
3. Dari hasil pentarikhan tersebut terdapat perbedaan rata-rata antara umur ketiga contoh batuan yang menunjukkan bahwa granit SB-36 terbentuk pada kala Eosen Akhir, granit SB-38 terbentuk pada kala Eosen Awal dan granit SB-47 terbentuk pada kala Pliosen Awal. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga contoh batuan granit tersebut tidak terbentuk secara bersamaan dan berasal dari sumber magma yang berbeda.
4. Dari hasil pentarikhan ketiga contoh batuan granit asal Sumatera Barat menunjukkan bahwa batuan tersebut terbentuk pada zaman Tersier.

### **Saran-saran**

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap contoh granit pada lokasi yang sama secara sistematis, dan dilakukan uji banding (*cross checking*) dengan Laboratorium Pentarikhan Jejak Belah lain yang ada di luar negeri.
2. Perlu mencoba menerapkan metode pentarikhan jejak belah terhadap contoh granit lainnya.
3. Dalam rangka efisiensi perlu dicari alternatif lain dalam tahapan preparasi contoh sehingga dapat menghemat biaya, aman, efektif dan efisien.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Carpene, J., 1992 Fission track dating of zircon: *zircons from Mount Blanc Granite*. Journal of Geology.100 :411-421.
- Galbraith, R.F., 1984. *On statistical estimation in fission track dating*. Math. Geol. 16: 653-669.
- Gleadow, A.J.W. and J.F. Lovering, 1974. *The effect of weathering on fission track dating*. Earth Planet.Sci.Letters. 22: 163-168.
- Green, P.F.,1981, *A new look at statistics in fission track dating*, Nucl. Track,5,77-86.
- Price, P.B. and R.M. Walker, 1963. *A simple method of measuring low uranium concentrations in natural crystals*. Appl.Phys.Letter. 2: 23.
- Reimer, G.M., 1970. *Geometry factor in fission track counting*. Earth Planet.Sci.Letter. 9: 401-404.

- Sampurno, 1989. Geologi kuartar dan bencana alam. Geologi Kuartar dan Pengembangan Wilayah P3G dan JICA.
- Schreurs, J.W.H, A.M Friedman, D.J Rockop, M.W. Hair and R.M. Walker 1971. *Calibrated U-Th glasses for neutron dosimetry and determination of U-Th concentration by the fission track method*. Radiation effects: 231-233.
- Sukandarmadji, 1992. Geologi Sejarah. UGM Press: Yogyakarta.
- Tagami, T., 1988. Fission track dating using external detector method: *a laboratory procedure*. Memories of the Faculty of Science Kyoto University. Series of Geol. & Minera, 3: 1-30.