

Tren unsur-unsur nadir bumi (REE) Suit Stong, Jeli, Kelantan

MOHD ROZI UMOR & HAMZAH MOHAMAD

Program Geologi, Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam
Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor

Abstrak: Tren geokimia unsur-unsur nadir bumi (REE) telah digunakan bagi mentafsir asalan dan proses evolusi batuan-batuan Suit Stong. Sebanyak 19 sampel daripada empat litodemik batuan yang dinamakan sebagai Tonalit Berangkat, Granit Noring, Mikrogranit Noring dan Leukogranit Kenerong telah dianalisis. Tren geokimia unsur-unsur nadir bumi menunjukkan arah pembezaan batuan adalah dari Tonalit Berangkat, Leukogranit Kenerong, Mikrogranit Noring ke Granit Noring. Berdasarkan bandingan LREE dan HREE pula disimpulkan Mikrogranit Noring mengalami peleburan separa membentuk Granit Noring. Anomali normal Eu yang diperolehi menunjukkan Tonalit Berangkat, Leukogranit Kenerong dan Mikrogranit Noring berasal granit jenis I, sementara Granit Noring yang beranomali Eu negatif mencirikan asalan granit jenis S. Kajian ini merupakan satu dimensi baru bagi Suit Stong, memandangkan belum ada kajian terdahulu yang mengemukakan hasil analisis geokimia unsur-unsur nadir bumi.

Abstract: The geochemical trends of the rare earth elements (REEs) were employed to reveal the origin and evolution of rocks within the Stong Suite. 19 samples from the four lithodemic units of the suite, namely Berangkat Tonalite, Noring Granite, Noring Microgranite, and Kenerong Leucogranite were analysed. The REEs geochemical trends suggest that the differentiation order is Berangkat Tonalite, Kenerong Leucogranite, Noring Microgranite, and Noring Granite. Based on the LREE and HREE trends, it is suggested that Noring Granite is the partial crystallization product of Noring Microgranite. The normal anomaly Eu of Berangkat Tonalite, Kenerong Leucogranite and Noring Microgranite favour their I-type granitic origin, in contrast to S-type nature of Noring Granite, as shown by its negative Eu anomaly. This study opens a new dimension as the REE geochemical data of Stong Suite has never been published.

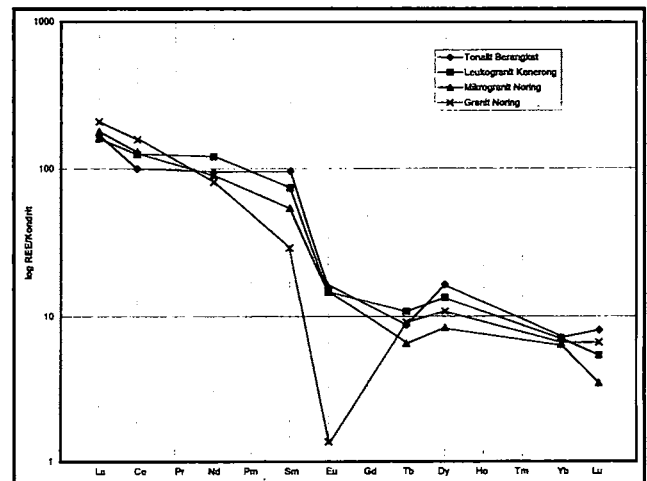
PENDAHULUAN

Unsur surih didefinisikan sebagai unsur yang hadir dengan kepekatan kurang daripada 0.1 peratus berat atau kurang daripada 1,000 bahagian per juta (ppm) dalam batuan. Unsur-unsur surih ini telah menjadi begitu penting dalam kajian petrogenesis batuan sejak kebelakangan ini kerana kebolehnya membezakan proses-proses petrologi secara lebih baik berbanding unsur-unsur major. Kebiasaannya unsur-unsur surih dikaji di dalam kumpulan, iaitu berdasarkan sifat perubahan sistematik mengikut susunan unsur di dalam kumpulan tersebut. Terdapat beberapa kumpulan unsur surih yang boleh dikelompokkan berdasarkan nombor atom di dalam jadual berkala, antaranya kumpulan unsur platinum (nombor atom 44 hingga 46 dan 76 hingga 79), kumpulan unsur logam peralihan (nombor atom 21 hingga 30) dan kumpulan unsur nadir bumi (nombor atom 57 hingga 71). Antara kumpulan-kumpulan unsur surih ini, kumpulan unsur nadir bumi (Rare Earth Elements, REE) paling banyak digunakan di dalam kajian petrogenesis masa kini.

Tujuan kertas kerja ini adalah untuk menunjukkan tren unsur-unsur nadir bumi (REE) yang diperolehi daripada analisis pengaktifan neutron instrumentasi (INAA) terhadap empat jenis batuan di dalam Suit Stong, Jeli, Kelantan, iaitu Tonalit Berangkat, Granit Noring, Mikrogranit Noring dan Leukogranit Kenerong. Berdasarkan tren ini, proses-proses petrogenesis dan hubungan antara keempat-empat jenis batuan di dalam Suit Stong dicadangkan.

GEOLOGI AM DAN STATUS KAJIAN

Suit Stong yang telah dinamakan semula secara stratigrafi daripada Kompleks Stong (Mohd Rozi Umor & Hamzah Mohamad, 2001) terdiri daripada tiga unit litodemik iaitu Tonalit Berangkat, Granit Noring dan Leukogranit Kenerong (Rajah 1). Tonalit Berangkat terdiri daripada dua jenis batuan, iaitu granit berpenjajaran dan granit berfenokris rawak. Granit Noring pula mengandungi tiga jenis batuan iaitu granit porfiri berpenjajaran, granit porfiri rawak dan mikrogranit kelabu gelap, sementara Leukogranit



Rajah 1. Tren purata REE/kondrit bagi setiap unit batuan di dalam Suit Stong.

Kenerong terdiri daripada granit berbutir sederhana, selang lapis telerang dan metasedimen, dan mikrogranit kelabu gelap.

Kajian terawal terhadap Kompleks Stong dilakukan oleh Santokh Singh pada 1960 hingga 1963 (Singh, 1963) diikuti oleh MacDonald (1967), Hutchison (1969), Chu (1973), Singh *et al.* (1984), Abdul Halim Hamzah (1990), Azman Ghani (1998) dan Mohd Rozi Umor & Hamzah Mohamad (2001). Namun begitu, kesemua kajian ini tidak menggunakan unsur-unsur nadir bumi sebagai petunjuk kepada proses petrogenesis batuan. Tafsiran petrogenesis dilakukan berdasarkan cerapan lapangan tanpa disokong data geokimia. Contohnya Singh *et al.* (1984) menyimpulkan Leukogranit Kenerong berusia lebih muda berbanding Granit Noring berdasarkan kehadiran pengaturan mineral tanpa mengambilkira aspek geokimia batuan.

HASIL ANALISIS

Sebanyak 19 sampel batuan terdiri daripada tiga sampel Tonalit Berangkat, empat sampel Leukogranit Kenerong, empat sampel Mikrogranit Noring dan lapan sampel Granit Noring telah dianalisis bagi mendapatkan kepekatan unsur-unsur nadir bumi [Jadual 1(a)].

Kesemua sampel ini dianalisis menggunakan kaedah Analisis Pengaktifan Neutron Instrumentasi (INAA) yang dilakukan di Institut Teknologi Nuklear Malaysia (MINT). Reaktor yang digunakan ialah Reaktor Trigger MK II dengan penyinaran radioaktif sampel seberat ± 0.2 gram selama 6 jam dan penyejukan selama 3 hari sebelum diukur kepekatan dan diulang pengukuran kepekatan selepas 30 hari. Sampel piawai yang digunakan ialah SDC-1 dan QLO keluaran Agensi Tenaga Atom Antarabangsa (IAEA) yang khusus digunakan sebagai piawai untuk batuan.

Untuk mendapatkan tren unsur-unsur nadir bumi, nilai-nilai kepekatan setiap unsur perlu dinormalkan terlebih dahulu dengan nilai piawai kondrit. Terdapat banyak nilai piawai kondrit yang telah dicadangkan oleh pengkaji terdahulu seperti Haskin *et al.* (1968), Wakita *et al.* (1971), Masuda *et al.* (1973), Nakamura (1974) dan Boynton (1984). Namun begitu, penulis menggunakan piawai kondrit yang dibuat oleh Wakita *et al.* (1971) disebabkan kaedah analisis yang digunakan adalah analisis Pengaktifan Neutron Instrumentasi, iaitu kaedah yang sama dengan kaedah kajian penulis. Nilai-nilai unsur nadir bumi yang telah dinormalkan ditunjukkan di dalam Jadual 1(b).

Nilai-nilai yang telah dinormalkan ini diplotkan dengan skala logaritma melawan setiap unsur yang disusun mengikut nombor atom, iaitu dari La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb hingga Lu. Unsur-unsur La, Ce dan Nd dikenali sebagai unsur nadir bumi ringan (LREE). Unsur-unsur Sm, Eu dan Tb pula dikenali sebagai unsur nadir bumi pertengahan (MREE) dan unsur-unsur Yb dan Lu dikenali sebagai unsur nadir bumi berat (HREE). Tren perubahan LREE, MREE dan HREE yang berbeza bagi setiap batuan ini telah digunakan untuk pentafsiran petrogenesis batuan.

TREN GEOKIMIA REE

Tren Unsur-unsur Nadir Bumi Tonalit Berangkat

Tiga sampel batuan mewakili Tonalit Berangkat (B32, B33 dan B34) dianalisis bagi mendapatkan kepekatan unsur-unsur nadir bumi. Walaupun terdapat dua jenis batuan di dalam Tonalit Berangkat, cuma batuan granit berfenokris rawak dipilih untuk dikaji. Ini kerana, granit berpenjajaran dipercayai unit batuan yang berdekatan dengan batuan keliling yang mengalami pengaturan di bawah tekanan semasa pengabluran. Oleh itu, dikhuatiri unit ini telah mengalami asimilasi dengan batuan keliling.

Tonalit Berangkat mempunyai kandungan REE yang sederhana dengan $(La/Yb)_N$ antara 21.3–30.9 dengan purata 23.9. Nisbah ini menunjukkan darjah pengfraksian unsur-unsur nadir bumi yang tinggi bagi Tonalit Berangkat. Pengfraksian kandungan LREE yang dilihat berdasarkan nisbah $(La/Sm)_N$ berjulat antara 1.6–1.9 dengan purata 1.8 adalah lebih tinggi berbanding pengfraksian HREE iaitu dengan $(Tb/Yb)_N$ yang berjulat 0.9–1.8 dengan purata 1.2. Tonalit Berangkat menunjukkan nilai Eu/Eu^* berjulat antara 0.52–0.57 dengan purata 0.55 [Jadual 1(b)].

Tren unsur nadir bumi Tonalit Berangkat menunjukkan kecerunan negatif tanpa nilai anomali Eu [Rajah 2(a)]. Ini mencirikan tiada kerja semula plagioklas di dalam batuan dan pengfraksian mineral berlaku secara berterusan (Cullers & Arnold, 1981; Henderson, 1982).

Tren Unsur-unsur Nadir Bumi Leukogranit Kenerong

Leukogranit Kenerong diwakili oleh empat sampel batuan (S2, S3, S5 dan S6, [Jadual 1(a) & 1(b)]). Sampel S2 ialah syis kuarza-mika, S3 dan S5 ialah granit biotit berbutir halus dan S6 ialah metagranit berbutir sederhana berfoliasi. Batuan yang berbeza memberikan kepekatan unsur-unsur nadir bumi yang agak berbeza dan menunjukkan julat yang besar, terutamanya unsur LREE.

Leukogranit Kenerong menunjukkan nisbah $(La/Yb)_N$ yang berjulat besar, iaitu antara 3.2–46.7 dengan purata 22.8. Nilai pengfraksian LREE adalah hampir sama dengan HREE, iaitu $(La/Sm)_N$ berjulat antara 0.7–3.0 dan $(Tb/Yb)_N$ pula berjulat antara 1.0–2.2 dengan masing-masing bernilai purata 2.2 dan 1.5. Nilai Eu/Eu^* bagi Leukogranit Kenerong pula adalah berjulat 0.14–0.84 dengan purata 0.55 (Jadual 1(b)). Julat yang besar memberikan tren graf yang agak berbeza antara keempat-empat sampel tersebut (Rajah 2(b)).

Sampel S3 dan S6 tidak menunjukkan nilai anomali Eu, sementara sampel S5 dan S2 menunjukkan nilai anomali Eu negatif [Rajah 2(b)]. Kewujudan nilai anomali Eu negatif bagi sampel S2 dan S5 disebabkan oleh sifat batuan yang mengalami sedikit pengaturan mineral hasil metamorfisme yang kemungkinan telah berlaku kerja semula plagioklas pada peringkat awal.

Jadual 1(a). Nilai kepekatan unsur-unsur nadir bumi Suit Stong dalam bahagian per juta (bpj) yang diperolehi daripada analisis pengaktifan neutron instrumentasi (INAA).

Unsur	Kondrit	Tonalit Berangkat				Leukogranit Kenerong					Mikrogranit Noring					Granit Noring								
		B32	B33	B34	Purata	S2	S3	S5	S6	Purata	LP22	LP23	LP24	LP26	Purata	S21	S24	S10	S7	LP2	LP23	LP1	LP16	Purata
La	0.34	47.7	63.5	62.6	57.9	33.1	46.7	8.3	130	54.5	74.6	41.5	66.5	61.4	61.0	54.8	59.2	115	72.7	83.4	60.9	50.6	71.2	71.0
Ce	0.91	91	92	90	91	78	103	26	250	114	125	89	137	123	119	105	133	221	153	161	125	109	144	144
Nd	0.64	67.4	53.3	61.3	60.7	47.3	59.9	25.0	177.0	77.3	60.9	48.2	59.2	63.0	57.8	58.5	42.6	88.0	51.5	50.2	40.3	36.7	47.4	51.9
Sm	0.195	16.8	18.7	21.0	18.8	11.4	14.2	7.2	24.9	14.4	11.6	9.0	10.9	10.7	10.6	9.3	4.8	8.7	5.4	5.4	3.8	3.7	4.6	5.7
Eu	0.073	1.1	1.3	1.1	1.2	0.55	0.78	0.19	2.8	1.08	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Tb	0.047	0.38	0.48	0.37	0.41	0.38	0.46	0.42	0.77	0.51	0.33	0.31	0.29	0.29	0.31	0.32	0.42	0.70	0.40	0.51	0.30	0.38	0.39	0.43
Dy	0.3	3.5	4.7	6.7	5.0	3.8	3.1	4.1	5.2	4.1	3.4	1.9	2.3	2.4	2.5	3.2	3.6	4.2	3.4	3.8	2.3	3.1	2.4	3.3
Yb	0.22	1.0	1.8	1.9	1.6	1.7	1.0	1.7	1.8	1.6	1.5	1.2	1.4	1.5	1.4	1.1	1.3	1.6	1.3	2.1	1.2	1.5	1.5	1.5
Lu	0.034	0.38	0.22	0.22	0.27	0.22	0.13	0.24	0.14	0.18	0.14	0.11	0.11	0.11	0.12	0.10	0.20	0.26	0.28	0.28	0.18	0.23	0.27	0.23

Jadual 1(b). Nilai unsur-unsur nadir bumi setelah dinormalkan terhadap kondrit (REE/Kondrit) mengikut Wakita *et al.* (1971).

Unsur	Kondrit	Tonalit Berangkat				Leukogranit Kenerong					Mikrogranit Noring					Granit Noring								
		B32	B33	B34	Purata	S2	S3	S5	S6	Purata	LP22	LP23	LP24	LP26	Purata	S21	S24	S10	S7	LP2	LP23	LP1	LP16	Purata
La _N	0.34	140.29	186.76	184.12	170.39	97.35	137.35	24.41	382.35	160.37	219.41	122.06	195.59	180.59	179.41	161.18	174.12	338.24	213.82	245.29	179.12	148.82	209.41	208.75
Ce _N	0.91	100.00	101.10	98.90	100.00	85.71	113.19	28.57	274.73	125.55	137.36	97.80	150.55	135.16	130.22	115.38	146.15	242.86	168.13	176.92	137.36	119.78	158.24	158.10
Nd _N	0.64	105.31	83.28	95.78	94.79	73.91	93.59	39.06	276.56	120.78	95.16	75.31	92.50	98.44	90.35	91.41	66.56	137.50	80.47	78.44	62.97	57.34	74.06	81.09
Sm _N	0.195	86.15	95.90	107.69	96.58	58.46	72.82	36.92	127.69	73.97	59.49	46.15	55.90	54.87	54.10	47.69	24.62	44.62	27.69	27.69	19.49	18.97	23.59	29.29
Eu _N	0.073	15.07	17.81	15.07	15.98	7.53	10.68	2.60	38.36	14.79	15.07	13.70	15.07	15.07	14.73	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
Tb _N	0.047	8.09	10.21	7.87	8.72	8.09	9.79	8.94	16.38	10.80	7.02	6.60	6.17	6.17	6.49	6.81	8.94	14.89	8.51	10.85	6.38	8.09	8.30	9.10
Dy _N	0.3	11.67	15.67	22.33	16.56	12.67	10.33	13.67	17.33	13.50	11.33	6.33	7.67	8.00	8.33	10.67	12.00	14.00	11.33	12.67	7.67	10.33	8.00	10.83
Yb _N	0.22	4.55	8.18	8.64	7.12	7.73	4.55	7.73	8.18	7.05	6.82	5.45	6.36	6.82	6.36	5.00	5.91	7.27	5.91	9.55	5.45	6.82	6.82	6.59
Lu _N	0.034	11.18	6.47	6.47	8.04	6.47	3.82	7.06	4.12	5.37	4.12	3.24	3.24	3.24	3.46	2.94	5.88	7.65	8.24	8.24	5.29	6.76	7.94	6.62
(La/Yb) _N		30.9	22.8	21.3	23.9	12.6	30.2	3.2	46.7	22.8	32.2	22.4	30.7	26.5	28.2	32.2	29.5	46.5	36.2	25.7	32.8	21.8	30.7	31.7
(La/Sm) _N		1.6	1.9	1.7	1.8	1.7	1.9	0.7	3.0	2.2	3.7	2.6	3.5	3.3	3.3	3.4	7.1	7.6	7.7	8.9	9.2	7.8	8.9	7.1
(Tb/Yb) _N		1.8	1.2	0.9	1.2	1.0	2.2	1.2	2.0	1.5	1.0	1.2	1.0	0.9	1.0	1.4	1.5	2.0	1.4	1.1	1.2	1.2	1.2	1.4
Eu/Eu*		0.57	0.57	0.52	0.55	0.35	0.40	0.14	0.84	0.52	0.74	0.79	0.81	0.82	0.79	0.08	0.09	0.05	0.09	0.08	0.12	0.11	0.10	0.08

$Eu/Eu^* = Eu_N / \sqrt{(Sm_N) \times (Tb_N)}$

Tren Unsur-unsur Nadir Bumi Mikrogranit Noring

Batuan Mikrogranit Noring merupakan unit yang baru ditemui di dalam kajian. Ia banyak dijumpai di sepanjang Jalan Intake Sg. Terang (Mohd Rozi Umor & Hamzah Mohamad, 2001). Terdapat empat sampel yang mewakili unit ini yang ditandakan sebagai LP22, LP23, LP24 dan LP26. Kesemua sampel terdiri daripada mikrogranit berwarna kelabu gelap.

Secara keseluruhan, Mikrogranit Noring menunjukkan nilai REE yang lebih tinggi berbanding Tonalit Berangkat dan Leukogranit Kenerong. Ia menunjukkan pengfraksian unsur-unsur nadir bumi yang sederhana dengan nisbah $(La/Yb)_N$ berjulat antara 22.4–32.2 dengan purata 28.2. Pengfraksian LREE adalah lebih tinggi berbanding HREE seperti yang ditunjukkan oleh nisbah $(La/Sm)_N$ yang berjulat 2.6–3.7 berbanding nisbah $(Tb/Yb)_N$ yang berjulat 0.9–1.2, dengan masing-masing bernilai purata 3.3 dan 1.0. Nisbah Eu/Eu^* didapati berjulat 0.74–0.82 dengan purata 0.79 [Jadual 1(b)].

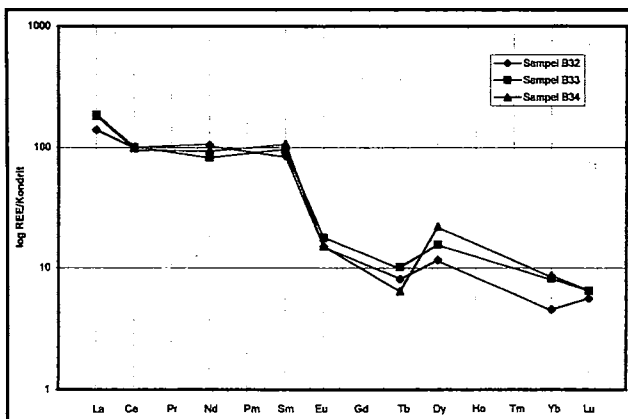
Batuan Mikrogranit Noring menunjukkan tren kecerunan negatif tanpa anomali Eu. Penurunan dari LREE ke HREE adalah secara seragam menunjukkan pengfraksian mineral berlaku secara berterusan [Rajah 2(c)].

Tren Unsur-unsur Nadir Bumi Granit Noring

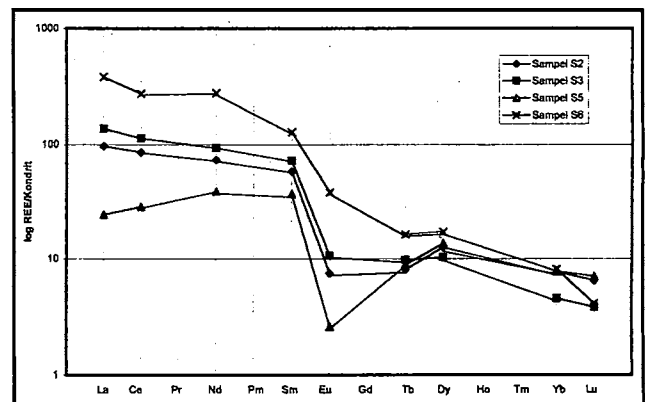
Batuan Granit Noring terdiri daripada granit porfiri rawak dan granit porfiri berpenjajaran. Namun begitu, kesemua lapan sampel yang dipilih untuk dianalisis adalah daripada granit porfiri rawak. Ini berlandaskan alasan yang sama dengan Tonalit Berangkat, iaitu granit porfiri berpenjajaran dipercayai berdekatan dengan sempadan batuan keliling dan dijangka telah mengalami sedikit asimilasi.

Lapan sampel yang dipilih ditandakan sebagai S7, S10, S21, S24, LP1, LP2, LP16 dan LP23. Keseluruhan sampel menunjukkan kepekatan LREE yang tinggi dengan maksimum La mencapai 338.24 kali nilai kondrit. Pengfraksian unsur-unsur nadir bumi adalah paling tinggi berbanding unit batuan yang lain dengan nilai purata $(La/Yb)_N$ ialah 31.7 dan berjulat antara 25.7–46.5. Begitu juga dengan pengfraksian unsur LREE yang menunjukkan nilai nisbah $(La/Sm)_N$ yang cukup tinggi dengan purata 7.1 dan berjulat antara 3.4–9.2. Nilai ini adalah enam kali lebih besar secara purata berbanding pengfraksian HREE, yang mana nisbah $(Tb/Yb)_N$ berjulat antara 1.1–2.0 dengan purata 1.4. Nilai Eu/Eu^* pula adalah berjulat antara 0.05–0.12 dengan purata 0.08 [Jadual 1(b)].

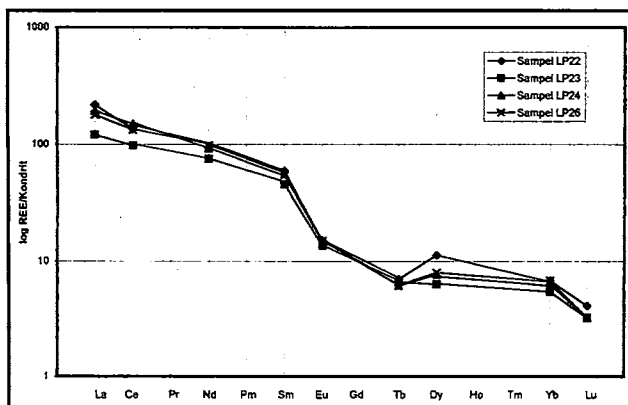
Tren unsur-unsur nadir bumi bagi Granit Noring



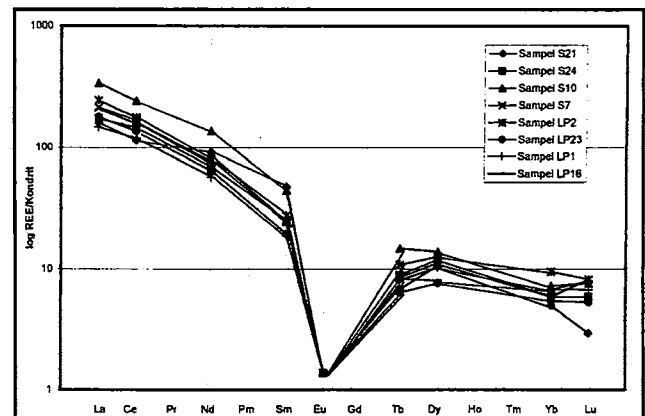
Rajah 2(a). Tren REE/Kondrit Tonalit Berangkat.



Rajah 2(b). Tren REE/Kondrit Leukogranit Kenerong.



Rajah 2(c). Tren REE/Kondrit Mikrogranit Noring.



Rajah 2(d). Tren REE/Kondrit Granit Noring.

Jadual 2. Nilai pemalar pecahan mineral/leburan bagi leburan riolit dan magma asid. Diubahsuai daripada Pearce & Noorry (1979) dan Nash & Crecraft (1985).

Unsur	Ortopiroksen	Klinpiroksen	Hornblende	Biotit	Ilmanit	Kuarza	Plagioklas	K-feldspar	Apatit
La	0.78	1.11	na	5.713	1.223	0.015	0.38	0.08	na
Ce	0.93	1.833	1.52	4.357	1.64	0.014	0.267	0.037	34.7
Nd	1.25	3.3	4.26	2.56	2.267	0.016	0.203	0.035	57.1
Sm	1.6	5.233	7.77	2.117	2.833	0.014	0.165	0.025	62.8
Eu	0.825	4.1	5.14	2.02	1.1013	0.056	5.417	4.45	30.4
Tb	1.85	7.533	na	1.957	3.267	0.017	na	0.025	50.7
Dy	1.8	7.3	13	1.72	2.633	0.015	0.112	0.055	37.2
Yb	2.2	6.367	8.38	1.473	1.467	0.017	0.09	0.03	23.9
Lu	2.25	5.933	5.5	1.617	1.203	0.014	0.092	0.033	20.2

menunjukkan kecerunan negatif dengan anomali Eu negatif yang cukup jelas. Tren sebegini mencirikan batuan mengalami pengfraksian mineral yang jelas dengan berlakunya kerja semula plagioklas di dalam batuan [Rajah 2(d)].

PERBINCANGAN

Corak atau tren unsur-unsur nadir bumi boleh menunjukkan proses-proses yang terlibat di dalam petrogenesis batuan. Komposisi keseluruhan unsur-unsur nadir bumi misalnya boleh menunjukkan asalan komposisi batuan punca, sementara penambahan dan pengurangan di dalam jujukan unsur-unsur nadir bumi adalah berkait rapat dengan proses penghabluran mineral-mineral di dalam batuan (Kay & Gast, 1973; Haskin & Paster, 1979; Gleason *et al.*, 1994).

Bagi menunjukkan perbezaan komposisi dan tren unsur-unsur nadir bumi antara keempat-empat unit batuan yang dibincangkan, nilai purata unsur-unsur nadir bumi setiap unit batuan dikira dan diplotkan (Rajah 3). Antara aspek petrogenesis yang boleh ditafsirkan berdasarkan tren unsur-unsur nadir bumi ialah punca batuan, proses penghabluran berperingkat, peleburan separa, pencemaran mineral dan proses AFC. Walau bagaimanapun, penulis cuma membincangkan aspek punca batuan, proses penghabluran berperingkat dan peleburan separa sahaja memandangkan proses pencemaran mineral dan AFC memerlukan data sokongan dari unsur surih yang lain yang terkeluar dari skop kajian ini.

Punca Batuan

Kecerunan bagi Granit Noring menurun secara tajam dari La ke Ce, Nd dan Sm, menunjukkan pengfraksian mineral kaya LREE adalah tinggi. Ia diikuti oleh Mikrogranit Noring, Leukogranit Kenerong dan Tonalit Berangkat. Secara umumnya, punca batuan yang lebih bersifat bes mempunyai kandungan LREE yang rendah dengan darjah pengfraksian LREE yang juga rendah. Sebaliknya HREE bagi batuan bersifat bes akan

berkandungan tinggi dengan darjah pengfraksian HREE yang juga tinggi (McCarthy & Kable, 1977). Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa Tonalit Berangkat adalah lebih bersifat sedikit bes pertengahan diikuti oleh Leukogranit Kenerong, Mikrogranit Noring dan Granit Noring.

Penghabluran Berperingkat

Umumnya penghabluran berperingkat mineral menyebabkan kandungan unsur-unsur nadir bumi berkurangan (Haskin & Paster, 1979). Kewujudan mineral-mineral tertentu menaikkan unsur-unsur nadir bumi tertentu, contohnya garnet, ortopiroksen, klinpiroksen dan olivin banyak mengandungi HREE seperti Yb dan Lu. Plagioklas pula kaya dengan Eu, sementara mineral aksesori seperti sfen dan apatit kaya dengan MREE seperti Nd dan Sm. Alanit pula kaya dengan LREE seperti La dan Ce (Schnitzer & Philpotts, 1970; Henderson, 1982). Kaitan ini ditunjukkan oleh pemalar pecahan mineral/leburan atau "mineral/melt partition coefficients". Disebabkan nilai peratus berat SiO₂ adalah > 70 % berat, maka pemalar pecahan untuk leburan riolit dan magma asid digunakan seperti yang dicadangkan oleh Pearce & Noorry (1979) dan Nash & Crecraft (1985) (Jadual 2).

Didapati kesemua unit batuan mempunyai LREE yang tinggi yang disumbangkan oleh biotit yang kaya dengan La dan Ce. Granit Noring menunjukkan nilai yang paling tinggi dan mencirikan batuan kaya biotit berdasarkan pemalar pecahan mineral/leburan bagi La. Pengkayaan MREE pula dikaitkan dengan penghabluran hornblend, apatit dan klinpiroksen, iaitu melibatkan unsur-unsur Sm dan Tb. Didapati Granit Noring paling rendah nilai Sm; yang paling tinggi ialah Tonalit Berangkat. Kepekatan Sm semakin berkurang dari Tonalit Berangkat ke Leukogranit Kenerong dan Mikrogranit Noring. Keadaan ini bersesuaian dengan kandungan mineral yang menunjukkan Tonalit Berangkat kaya dengan hornblend berbanding biotit. Dijumpai juga sedikit piroksen di dalam Tonalit Berangkat. Oleh itu, proses penghabluran berperingkat yang mewujudkan mineral-mineral tertentu di dalam batuan menunjukkan tren daripada Tonalit Berangkat, Leukogranit

Kenerong, Mikrogranit Noring dan Granit Noring bersesuaian dengan punca batuan yang menunjukkan jujukan yang sama.

Peleburan Separa

Proses peleburan separa dilihat berdasarkan perbezaan kandungan LREE dan HREE antara dua batuan. Penggunaan kaitan ini adalah benar sekiranya dianggap sistem penghabluran berlaku di dalam satu sistem tertutup atau sistem penghabluran berperingkat. Penulis percaya Granit Noring terhasil daripada peleburan separa Mikrogranit Noring. Ini kerana peleburan separa Mikrogranit Noring telah menyebabkan LREE berkurang dan baki leburan kaya dengan HREE. Ini selaras dengan kenyataan bahawa peleburan separa akan menyebabkan LREE melebur terlebih dahulu dan LREE di dalam jasad adalah berkurangan tetapi kaya di dalam hasil leburan (McCarthy dan Kable, 1977).

Bagi Tonalit Berangkat pula besar kemungkinan ia telah mengalami peleburan separa membentuk Leukogranit Kenerong. Kaitan antara Leukogranit Kenerong dengan Granit Noring agak sukar diketahui kerana pengaruh pencemaran batuan keliling yang berlaku terhadap Leukogranit Kenerong.

Asalan Batuan

Aspek yang turut dikaji berdasarkan tren unsur-unsur nadir bumi ialah asalan batuan semasa proses pembentukan batuan. Ini dapat dijelaskan dengan melihat tren anomali Eu yang dibina oleh unsur-unsur nadir bumi. Ketiga-tiga litodemik Tonalit Berangkat, Leukogranit Kenerong dan Mikrogranit Noring menunjukkan tiada anomali Eu dan ini mencerminkan asalan batuan adalah granit jenis I (Rajah 3). Ini berbeza dengan Granit Noring yang menunjukkan anomali Eu negatif yang besar. Tren sebegini mencirikan asalan batuan adalah granit jenis S (Rajah 3). Namun begitu, penulis yakin Granit Noring merupakan granit jenis I berdasarkan kajian terhadap unsur kimia yang lain. Alasan tren Granit Noring sebegini adalah disebabkan ia telah mengalami pencemaran dengan batuan keliling (Formasi Gua Musang ?) yang menyebabkan ia menunjukkan anomali Eu negatif. Pencemaran ini jelas dilihat di lapangan dengan kehadiran zenolit pelbagai saiz tertabur secara meluas di dalam jasad Granit Noring.

KESIMPULAN

Berdasarkan tren unsur-unsur nadir bumi bagi keempat-empat unit batuan di dalam Suit Stong, penulis mendapati tren evolusi batuan adalah daripada Tonalit Berangkat kepada Leukogranit Kenerong, Mikrogranit Noring dan Granit Noring. Kesimpulan ini dijangka akan lebih pasti apabila penentuan usia secara radiometri K-Ar mineral biotit yang sedang ditentukan diperolehi nanti.

PENGHARGAAN

Kertas kerja ini adalah sebahagian daripada Projek Penyelidikan UKM berkod S/2/2000 bertajuk "Kompleks Stong: Pendekatan Baru Secara Geokimia Unsur-Unsur Surih bagi memastikan semula petrogenesis batuan". Pengarang mengucapkan terima kasih kepada Dr. Suhaimi Hamzah dan Institut Penyelidikan Nuklear Malaysia atas kesudian menganalisis sampel dengan kaedah INAA.

RUJUKAN

- ABDUL HALIM HAMZAH, 1990. Survei Geokimia Tinjauan bagi Kawasan Kuala Gris, Syit 34, Kelantan. *Laporan Tahunan Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia*.
- AZMAN ABDUL GHANI, 1998. Chemistry of biotite from the Noring pluton, Stong Complex, north Peninsular Malaysia. *Warta Geologi*, 24(5), 249-257.
- BOYNTON, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorites studies. In: Henderson P. (Ed.), *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, 63-114.
- CULLERS, R.L. & ARNOLD, B., 1981. The petrogenesis of the Tertiary Spanish Peaks Igneous Complex, Colorado, U.S.A. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare earth element geochemistry*, Elsevier.
- CHU, L.H., 1973. Field Record — Traverse along Sg. Terang, Sg. Sepek and Sg. Balah (Sheet 33, including parts of sheet 21, 22 and 23). Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia (tidak diterbitkan).
- GLEASON, J.D., MILLER, C.F., WOODEN, J.L. & BENNET, V.C., 1994. Petrogenesis of the highly potassic 1.42 Ga Barrel Spring Pluton, Southeastern California, with implication for mid Proterozoic magma genesis in Southwestern USA. *Contribut. Mineral. Petrol.* 118, 182-197.
- HASKIN, L.A., HASKIN, M.A., FREY, F.A. & WILDMAN, T.R., 1968. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: Ahrens, L.H. (Ed.), *Origin and distribution of the elements*, 1. Pergamon, Oxford.
- HASKIN, L.A. & PASTER, T.P., 1979. Geochemistry and mineralogy of the rare earths. In: Gschneidner, K.A. & Eyring, L. (Eds.), *Handbook on the physics and chemistry of rare earth*. Amsterdam, North-Holland.
- HENDERSON, P., 1982. *Inorganic geochemistry*. Pergamon Press, Oxford.
- HUTCHISON, C.S., 1969. Some note on the Stong Complex. *Newletter. Geol. Soc. Malaysia*. 21, 8-11.
- KAY, R.W. & GAST, P.W., 1973. The rare earth elements content and origin of alkali-rich basalt. *Journal Geology* 81, 653-682.
- MACDONALD, 1967. The geology and mineral resources of North Kelantan and North Terengganu. *Geo. Surv. Malaysia. District Memoir* 10, 202p.
- MASUDA, A., NAKAMURA, N. & TANAKA, T., 1973. Fine structures of mutually normalized rare earth patterns of chondrites. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 37, 239-248.
- MCCARTHY, T.S. & KABLE, E.J.D., 1977. The behaviour of rare elements during partial melting of the granitic rocks. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 40, 1351-1358.
- MOHD ROZI UMOR DAN HAMZAH MOHAMAD, 2001. Penamaan semula Kompleks Stong secara stratigrafi kepada unit Suit Stong berdasarkan cerapan lapangan. *Persidangan Tahunan Geologi 2001. Persatuan Geologi Malaysia* m/s 69-74.

- NAKAMURA, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 38, 757-775.
- NASH, W.P. & CRECRAFT, H.R., 1985. Partition coefficients for trace elements in silicic magmas. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 49, 2309-2322.
- PEARCE, J.A. & NOORY, M.J., 1979. Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contribution Mineralogy and Petrology*, 69, 33-47.
- SCHNETZER, C.C. & PHILPOTTS, J.A., 1970. Partition coefficients of some rare earth elements between igneous matrix material and rock forming mineral phenocrysts. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 34, 331-334.
- SINGH, D.S., 1963. Progress report on geological survey work done in the area of sheet 34 in Kelantan. *Geo. Surv. Malaysia Prof. Paper E-63, 2-G*, 13-17.
- SINGH, D.S., CHU, L.H., TEOH, L.H., LOGANATHAN, P., COBBING, E.J., AND MALLICK, D.I.J., 1984. The Stong Complex : A Reassessment. *Geo. Soc. Malaysia Bulletin*, 17, 61-77.
- WAKITA, H., REY, P. & SCHMITT, R.A., 1971. Abundances of the 14 rare earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples: Five igneous and one breccia rocks and four soils. *Proceeding 2nd Lunar Science Conference*. Pergamon Press, Oxford.