

DISTRIBUSI SPASIAL BASAL KALK-ALKALIN DAN BASAL POTASSIK BERUMUR PALEOSEN - EOSEN DI SUMATRA, INDONESIA

Oleh :
Sutanto*)

SARI

Sumatra merupakan pulau paling barat pada busur gunungapi Sunda, yang sebagian besar terbentuk oleh proses subduksi lempeng Samudera India di bawah tepi benua Eurasia. Kegiatan gunungapi di Sumatra telah terjadi paling tidak sejak Akhir Trias, di dalam tulisan ini dibahas batuan gunungapi yang berumur 64 hingga 37 Ma, atau Paleosen hingga Eosen di mana kandungan potassium pada batuan gunungapinya sangat kontras. Batuan gunungapi yang tersingkap berupa lava dan retas ini menunjukkan afinitas "low potassium calc-alkaline" di daerah Aceh dan Padang, dan "potassic calc-alkaline" di daerah Natal. Beberapa retas dan tuf basal di dalam Formasi Bentaro di daerah Aceh berturut-turut memberikan umur 60.5 Ma, 55.5 Ma dan 51.3 Ma. Di dataran tinggi Padang, diperoleh umur 63.5 Ma dari lava basal di dalam Formasi Siliungkang, sementara retas basal yang memotong formasi yang sama memberikan umur 46 Ma dan 37 Ma. Sementara di daerah Natal, Kelompok Woyla yang terdiri dari peridotit, batuan klastika gunungapi dan batuan argilit yang merupakan anggota endapan turbidit dari Formasi Muarasoma serta mélange dan batugamping terpotong oleh beberapa retas basal potassik. Penanggalan tiga contoh retas tersebut memberikan umur 62.5 Ma, 59.6 Ma dan 51.1 Ma. Sedangkan sebuah retas basal potassik yang memotong Formasi Langsung berumur 37.4 Ma. Batuan basal kalium tinggi ini sebelumnya disebut "absarokite". Batuan gunungapi berafinitas "low-potassium" hingga "normal calc alkaline" dan basal kaya potassium yang tersebar di daerah Aceh, Natal dan Padang, mempunyai penyebaran unsur jejak pada "spider diagram" dan perbandingan unsur jejak yang spesifik. Hal ini merupakan bahan diskusi berkenaan dengan sumber magma dan lingkungan geodinamikya.

Kata Kunci: magma kalk-alkali potassik, paleosen-eosen, sumatra

ABSTRACT

Sumatra is the westernmost island of the Sunda magmatic arc, and majority results from the subduction of the Indian ocean plate beneath the margin of the Eurasian continental block. Magmatic activities occurred in the island at least since Upper Triassic, we focus on basaltic volcanism, dated from 64 Ma to 37 Ma, that displays contrasted potassium contents. The volcanic rocks that exposed as lava flows and dykes, are typically low potassium calc-alkaline in Aceh and Padang regions and potassic calc-alkaline in Natal region. In Aceh region, basaltic dykes and a basaltic tuff within the Bentaro Formation are dated respectively at 60.5 Ma, 55.5 Ma and 51.3 Ma. Ages of 63.5 Ma were obtained for basaltic flows within the Siliungkang Formation from the Padang plateau and younger ages (46 Ma and 37 Ma) were determined for basaltic dykes in the same formation. In Natal region, numerous dykes are intruding the turbiditic formation of the Woyla Group, represented here by peridotites, volcaniclastic rock and argillaceous rocks of the turbiditic member, and clay-shale of Muarasoma Formation, melange and limestones cut by some K-basaltic dykes. Whole-rock ages are respectively 62.5 Ma, 59.6 Ma and 51.1 Ma. We confirm the potassic character of these lavas previously described as absarokites. A potassic basaltic dyke cutting the Langsung volcanic Formation, that overlies the Woyla Group, is dated at 37.4 Ma. The geographic distribution of low-potassium to normal calc alkaline basalts and of potassium-enriched basalts, characterized by their Mantle-normalized trace element patterns and typical element ratios can be discussed in terms of different magmatic sources and geodynamic environments.

Keywords: calc-alkaline to potassic magmas, paleocene-eocene, sumatra

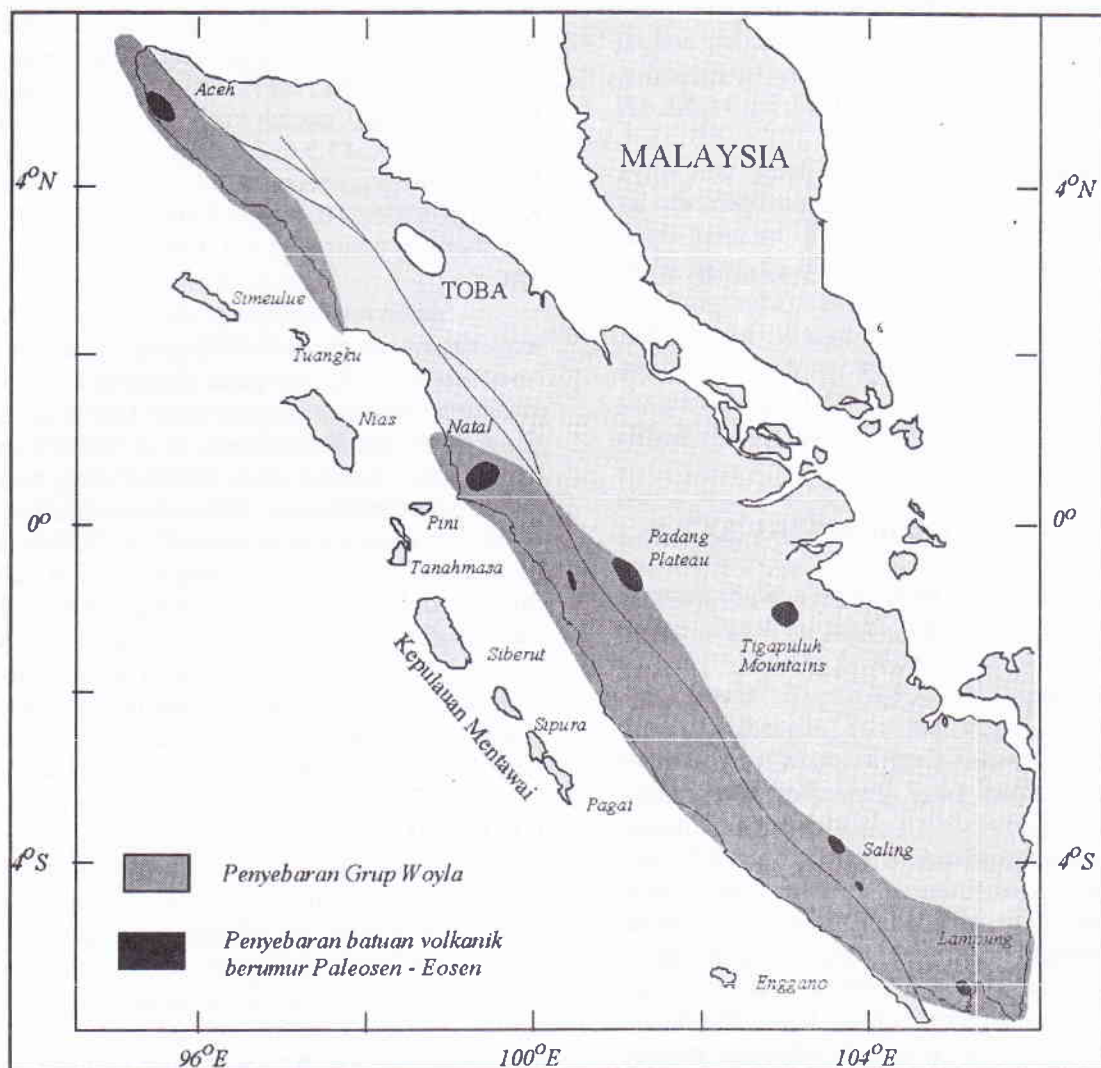
*)Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta,
Jln. SWK 104 Condong Catur 55283 Yogyakarta, Indonesia Telp./Fax.: (0274) 487816E-mail: sutanto@upnyk.ac.id

PENDAHULUAN

Pulau Sumatra terletak pada batas paling barat pada kepulauan Indonesia. Di sebelah barat pulau Sumatra terdapat rangkaian pulau-pulau yang memanjang dari utara ke selatan berturut-turut adalah: pulau Simeulue, pulau Banyak dan Nias, kepulauan Batu, kepulauan Mentawai (Siberut, Pagai) dan pulau Enggano (Gambar 1). Di depan rangkaian kepulauan tersebut terdapat palung Sunda di mana litosfer samudera India menunjam di bawah Sumatra dan menandai pertemuan antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Benua Australia dan beberapa blok-blok benua (*micro continent*) telah menumbuk secara "collisional" terhadap Indonesia bagian timur sejak beberapa juta tahun. Di Indonesia bagian barat tumbukan secara

"collisional" terhadap tepi benua Eurasia telah terjadi jauh lebih awal. Peristiwa tersebut ditandai dengan terdapatnya sutur Mutus sebagai batuan dasar cekungan Sumatra Tengah, sutur Kla dan Takengon di Aceh yang merupakan batas timur Kelompok Woyla di daerah ini. Sementara singkapan serupa dijumpai di Sungai Natal, Gadis Pasaman, dan sutur Lematang (Eubank and Makki, 1981; Cameron et al, 1980; Pulunggono and Cameron, 1984).

Beberapa bagian Sumatra merupakan blok-blok benua yang berasal dari fragmentasi tepi benua Australia bagian barat laut pada saat stadium "rifting" zaman Mesozoikum (Metcalf, 1996). Sementara itu, topografi samudera India Bagian timur didominasi oleh punggungan 90°E, punggungan Investigator dan fosil punggungan tengah Samudera Wharton



Gambar 1. Penyebaran batuan gunungapi berumur Paleosen Eosen di Sumatra.

serta beberapa punggung kecil. Punggung Investigator yang berarah utara-selatan berpotongan dengan punggung Wharton di selatan pulau Nias (Liu et al, 1983; Newcomb & McCann, 1987). Litosfer samodera yang menunjam mempunyai ketebalan sedimen berbeda-beda (Moore et al, 1980; Moore et al., 1982; Curray, 1989; Davies et al, 1995)

PENYEBARAN BATUAN GUNUNGAPI PALEOGEN

Batuan gunungapi berumur Paleosen hingga Eosen tersebar melimpah di pantai barat Sumatra dari daerah Aceh hingga Natal. Di daerah Aceh batuan tersebut tersingkap baik di sekitar desa Lamnau, berupa tuf (L 116), lava (L 116, L 130) dan retas (L 118, L 124) pada Formasi Bentaro yang termasuk dalam Kelompok Woyla. Di daerah Natal batuan gunungapi pada Kelompok Woyla tersingkap di sepanjang sungai Natal antara desa Langsung dan Muarasoma, berupa retas (NL 36, NL 40, NL 37, NL 41, NL 43, SU 49) dan lava (NL 44).

Basal-basal tersebut pada umumnya porfiritik dengan fenokris klinopiroksin, olivin, plagioklas dan kadang-kadang mineral opak dengan masadasar mikrolitik yang kaya akan gelas (L 120, NL 40). Kebanyakan klinopiroksin, dan olivin teralterasi menjadi klorit dan serpentin, sebagian masa dasar yang umumnya bertekstur intergranular, teralterasi menjadi klorit, karbonat dan lempung. (L 124, L 130, NL 36, NL 44, SU 49).

PENANGGALAN RADIOMETRI $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$

Keuntungan metode ini adalah: unsur K melimpah pada kerak, hampir dalam setiap mineral pembentuk batuan; waktu desintegrasinya adalah $1,31 \times 10^9$ tahun, oleh karenanya metode ini bisa digunakan untuk penanggalan contoh-contoh batuan yang berumur sangat tua sampai yang muda. Hal yang kurang menguntungkan adalah bahwa pembentukan Argon tergantung keadaan sistem "termik": pada saat pendinginan mineral di mana Argon akan tersimpan. Jika ada pemanasan lagi (proses metamorfosa misalnya) maka Argon dapat meninggalkan sistem tersebut. Hal semacam inilah yang bisa menyebabkan kesalahan dalam penentuan umur suatu contoh, sehingga metode ini sangat sulit dipakai untuk batuan

polimetamorf, tetapi sangat baik untuk batuan gunungapi yang mempunyai pendinginan cepat.

Dalam penelitian ini, penanggalan dilakukan pada batuan (*whole rock*) dengan ukuran granulometri 0,50 - 0,16 mm, pengukuran ^{40}Ar , ^{36}Ar , dan ^{38}Ar dengan menggunakan spektrometer massa THOMSON CAMECA 205 SE (Bellon et al, 1981) di laboratorium geokronologi UBO, Brest, dilaksanakan bersama J.C. Philippet dengan penanggung jawab Profesor H. Bellon. Sedang K_2O dinyatakan dalam % berat dan pengukurannya menggunakan metode AAS. Perhitungan umur menggunakan persamaan:

$$t = 4154,04 \log(1 + 142,69 \times \frac{^{40}\text{Ar}^*}{\text{Kt}})$$
$$^{40}\text{Ar}^* = ^{40}\text{Ar radiogenik}$$
$$t = \text{umur (Ma)}$$

Hasil analisa penanggalan radiometri $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ (Tabel 1) menunjukkan umur retas (L 118 dan L 124) dan tuf (L 116A) basal di dalam Formasi Bentaro, daerah Aceh memberikan umur $63,5 \pm 1,6$ Ma; $55,5 \pm 1,3$ Ma; $51,3 \pm 1,5$ Ma. Sedangkan retas-retas basal yang memotong Kelompok Woyla di daerah Natal (NL 40, SU 49) memberikan umur $62,5 \pm 1,4$ Ma dan $52,1 \pm 1,2$ Ma.

Aktivitas magma di daerah Natal menerus hingga $41,1 \pm 0,9$ Ma yang diwakili oleh retas andesit (NL 36) pada Kelompok Woyla. Hasil ini sebanding dengan umur $41,1 \pm 1,6$ Ma yang diperoleh oleh Wajzer et al, (1991) dari contoh retas andesit pada formasi yang sama. Harbury and Kallanger (1991) dan Aspden et al (1982) juga memperoleh umur $40,1 \pm 2,7$ Ma dan $35,4 \pm 3,6$ Ma dari gabro yang diambil di pulau Sitaban (di lepas pantai Simeulue), dan $43 \pm 3,2$ Ma Madari pulau Sitaban (di lepas pantai Sibolga). Umur-umur ini menunjukkan bahwa pada kala Paleosen hingga Eosen terdapat busur gunungapi yang memanjang dari pantai barat Aceh hingga daerah Natal.

GEOKIMIA

Analisa kimia unsur utama dan unsur jejak dilaksanakan di laboratorium universitas yang sama bersama dengan J. Cotten. Unsur utama dan unsur jejak dianalisa dengan metode ICP - AES. Prinsip metoda ini adalah menggunakan larutan plasma untuk mengionisasi contoh batuan yang dianalisa dengan

Tabel 1. Hasil pentarikan radiometri ^{40}K - ^{40}Ar (total batuan), batuan gunungapi berkomposisi basal dan andesi dari daerah Aceh, Natal dan Padang.

Daerah	Batuan				Umur \square Umur \pm kesalahan (Ma)	K_2O %	^{40}Ar E-7 cm ³ /g	^{40}Ar (%)	^{36}Ar E-9 cm ³ /g
	No.	Alami	Tipe	Affinitas					
ACEH	L 116A	tuf	basal	CAK	51,3 \pm 1,5	0,31	5,2	35,2	2,24
	L 124	retas	basal	CA	55,5 \pm 1,5	0,78	14,08	70,6	1,98
	L 118	lava	basal	CAK	57,9 \pm 1,4	0,80	16,6	54,0	4,88
					63,1 \pm 1,5	0,80	18,2	83,5	1,37
NATAL	NL 37	retas	basal	SH	37,4 \pm 0,9	2,30	28,25	67,4	4,58
	NL 36	retas	andesit	CA	41,1 \pm 0,9	1,06	27,25	89,3	1,10
	SU 49	retas	basal	SH	52,1 \pm 1,2	2,53	43,13	93,0	1,09
	NL 41	retas	andesit	CA	59,6 \pm 1,4	3,45	67,43	82,9	4,72
	NL 40	retas	basal	CA	62,5 \pm 1,4	1,33	27,27	86,8	1,40
PADANG	RD 13	lava	basal	TH	37,3 \pm 1,0	0,49	5,94	42,4	2,73
	RD 11	lava	basal	TH	63,7 \pm 1,5	0,58	12,10	61,9	2,53

menggunakan *spectrometer polycromatic* dan *monochromatic*. *Spectrometer* dapat untuk menganalisa duapuluh elemen secara cepat dan simultan. *Spectrometer polycromatic* untuk menganalisa elemen utama dan Sr, sedang *spectrometer monochromatic* untuk P, Sc, V, Cr, Co, Ni, Ba, Y, Zr, Nb, La, Ce, Nd, Eu, Dy, Er, dan Yb. Hasil analisa contoh batuan dari kedua daerah tersebut di atas disajikan dalam Tabel 2.

UNSUR UTAMA

Hasil analisa kimia (Tabel 2) menunjukkan bahwa kandungan unsur-unsur pada retas dan lava dari Aceh dan Natal merupakan basal dan andesit dengan SiO_2 berkisar antara 45,80% hingga 58,00% dan Al_2O_3 antara 7,20% hingga 17,90%. Diagram K_2O - SiO_2 (Peccerillo and Taylor, 1976), menunjukkan bahwa contoh-contoh batuan dari Aceh berafinitas tholeiit dan kalk alkali, sedang batuan dari Natal sebagian berafinitas kalk alkalin tetapi terutama shoshonitik (Gambar 2).

UNSUR JEJAK

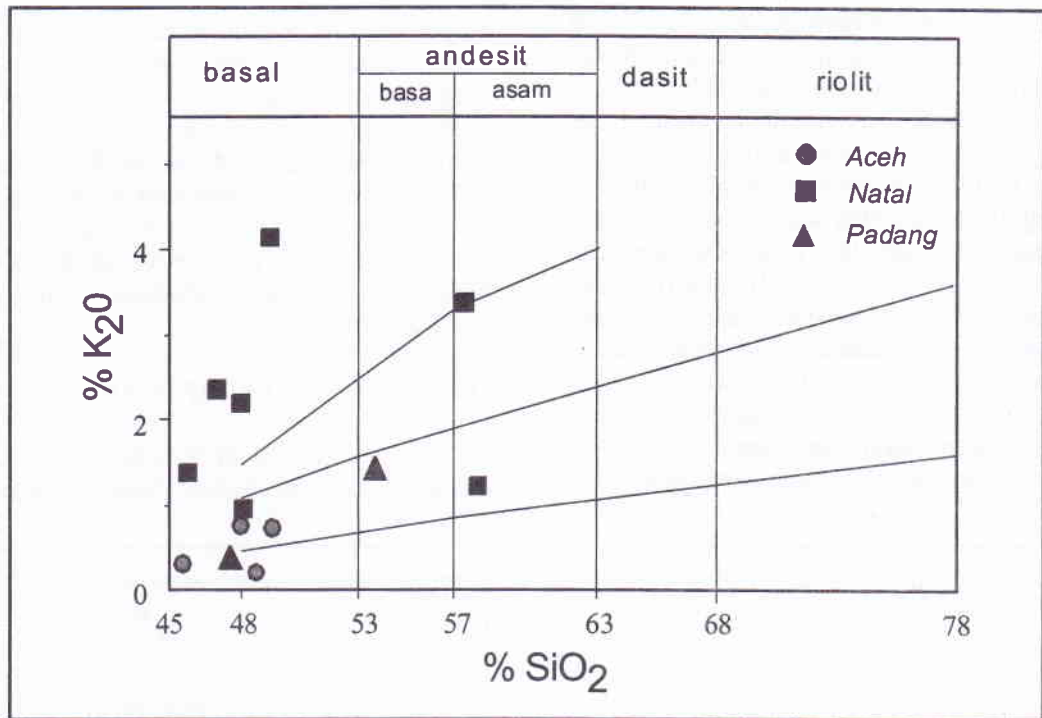
Tabel 2 menunjukkan kandungan unsur jejak kompatibel (Cr, Ni, Co, V dan Sc) pada contoh batuan dari daerah Aceh dan Natal relatif rendah (< 70 ppm), kecuali lava basal L 120 yang kaya akan Cr (930 ppm) dan Ni (245 ppm). Harga-harga tersebut menunjukkan batuan-batuan dari daerah Aceh dan Natal sudah terevolusi. Contoh nomer L 120 merupakan lava paling primitif yang kaya unsur-unsur Cr dan Ni dan lebih kaya akan olivin dari pada yang lain.

Unsur-unsur jejak *incompatible* terdiri dari unsur alkalin (K dan Rb), alkali tanah (Sr dan Ba) yang mempunyai radius ion tinggi (LILE), unsur-unsur Nb, Zr, Y dengan radius ion kecil tetapi dengan muatan tinggi (HFSE) serta unsur-unsur tanah langka (REE) La, Ce, Nd, Eu, Dy, Er, Yb. Distribusi unsur-unsur tersebut disajikan dalam diagram multi elemen dan diagram unsur tanah langka dan masing-masing dinormalisasi dengan selubung primitif dan chondrit (Gambar 3).

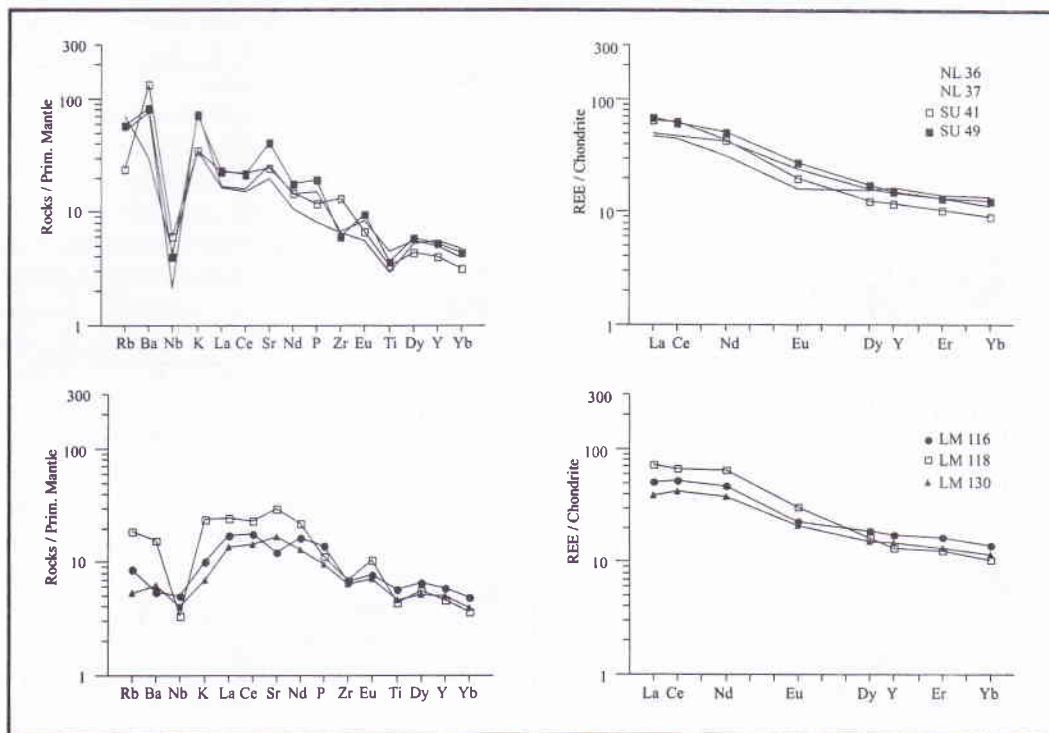
Diagram multi elemen dari contoh batuan dari Aceh maupun dari Natal menunjukkan anomali negatif pada Ti, Nb,

Tabel 2. Hasil analisa kimia unsur utama dan unsur jejak batuan basaltik dan andesitik dari daerah Aceh, Natal dan Padang.

Lokasi	Aceh (Formasi Bentaro)					Natal					PADANG	
No. Contoh	L120	L116	L124	L 130	L 118	NL 40	NL 37	SU 49	NL 44	NL 36	RD 13	RD 11
Age (Ma)		51,3	55,5		63,1	62,5	37,4	52,1		41,1	37,3	63,7
SiO ₂	43,80	45,60	48,00	48,60	49,30	45,80	47,00	48,00	48,10	58,00	53,20	58,00
TiO ₂	0,57	1,24	1,06	1,00	0,95	0,93	0,98	0,79	1,13	0,63	0,62	0,63
Al ₂ O ₃	7,20	18,10	15,10	13,18	14,05	14,10	14,80	16,55	17,12	17,90	14,50	17,90
Fe ₂ O ₃ *	10,15	13,00	13,40	11,90	11,00	12,90	12,37	10,65	11,70	6,92	9,27	6,92
MnO	0,16	0,20	0,17	0,18	0,18	0,20	0,20	0,22	0,09	0,13	0,16	0,13
MgO	15,45	8,00	6,26	7,57	8,30	7,85	6,47	4,96	4,50	3,09	7,80	3,09
CaO	15,70	6,95	7,75	9,24	8,65	11,25	9,60	10,45	4,45	6,70	8,10	6,70
Na ₂ O	0,80	2,65	3,92	3,62	3,85	2,64	2,85	3,05	5,58	3,29	2,51	3,29
K ₂ O	0,02	0,30	0,76	0,21	0,72	1,22	2,33	2,17	0,80	1,06	1,40	1,06
P ₂ O ₅	0,18	0,31	0,29	0,21	0,25	0,29	0,33	0,42	0,15	0,18	0,56	0,18
LOI	6,10	3,16	2,83	3,46	2,64	2,69	2,56	2,58	6,14	2,46	2,07	2,46
Total	100,13	99,41	99,54	99,77	99,89	99,87	99,76	99,94	99,76	100,36	99,89	100,36
Cr	930	77	52	162	235	50	75	10	345	9	285	9
Ni	245	40	27	67	52	48	30	15	85	5	89	5
Co	60	44	47	46	38	47	38	34	39	19	30	19
Sc	38	33	30	35	36,5	40	36	26	37,5	17,3	24,5	17,3
V	205	360	370	300	266	345	325	320	225	160	264	160
Rb	1	6	13	3	12	19,2	33,5	36	15,5	44	40	44
Ba	40	38	167	43	108	300	533	575	205	205	265	205
Nb	1,2	3,6	2,5	2,9	2,4	1,3	1,5	2,9	6,2	3,1	500	3,1
La	4,8	12,6	9,9	9,3	17	9,4	11,6	16,2	6,6	11,2	16	11,2
Ce	13,5	32	27,5	25,5	41	24	28,5	38	17	27	2,4	27
Sr	95	260	930	357	630	615	546	855	594	420	32	420
Nd	8,7	22	18,5	17,5	78	16	19,5	24	9	14,5	17,5	14,5
Zr	36	76	66	72	30	53	76	68	58	74	33	74
Eu	0,69	1,3	1,3	1,2	1,75	1,25	1,4	1,6	0,73	0,93	1,02	0,93
Dy	2,2	4,8	3,9	3,8	4,15	3,8	4,1	4,4	3,2	3,9	14,5	3,9
Y	11,3	27	22,5	23	21	21	23	24	15,7	25,5	2,5	25,5
Er	1,1	2,7	2,1	2,2	2,1	1,9	2,2	2,2	1,5	2,3	1,5	2,3
Yb	1	2,4	1,95	1,95	1,78	1,85	1,94	2,15	1,55	2,34	1,4	2,34



Gambar 2. Posisi contoh-contoh batuan dari Aceh, Natal, dan Padang dalam diagram K₂O - SiO₂ (Peccerillo and Taylor, 1976).



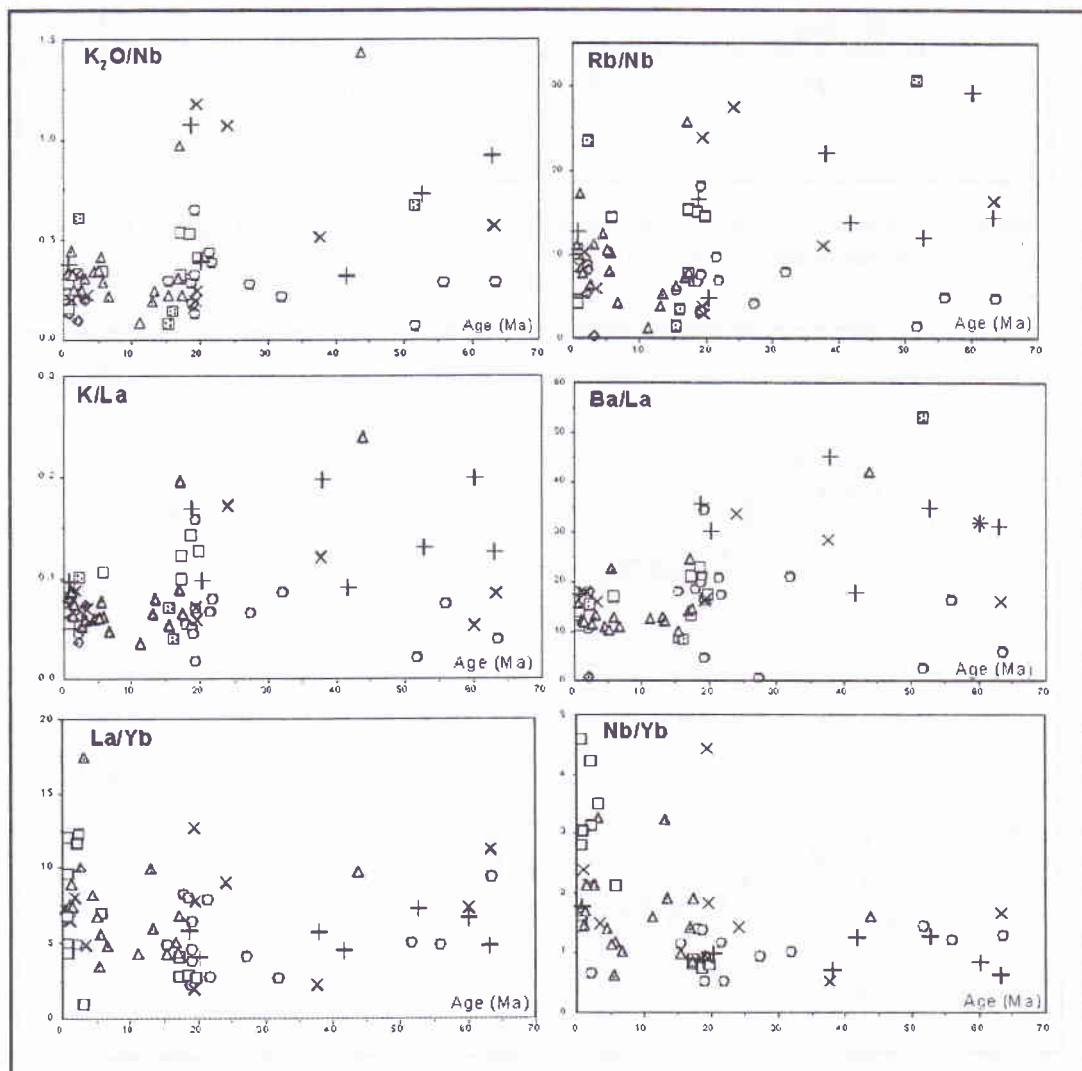
Gambar 3. Diagram multi elemen yang menunjukkan perbedaan yang signifikan antara batuan gunungapi dari Aceh dan Natal, sementara diagram unsur tanah langka menunjukkan penyebaran hampir sama.

sedang anomali positif pada Sr, K and Ba hanya ditunjukkan oleh contoh-contoh dari Natal. Anomali negatif pada unsur-unsur HFSE tersebut sangat khas untuk magmatisme pada batas lempeng konvergen, sedang anomali positif pada Sr, K and Ba bisa jadi dipengaruhi oleh maturitas busur kepulauan atau oleh kerak yang menunjam. Melimpahnya plagioklas dalam batuan eras hubungannya dengan anomali positif pada strontium. Dalam hal ini sifat batuan gunungapi dari Aceh sangat berbeda dengan batuan seumur dari Natal. Sementara itu diagram unsur tanah langka (REE) dari kedua daerah tersebut mempunyai penyebaran yang hampir sama; yaitu sama-sama mengalami pengkayaan pada REE

ringan. Hal ini menunjukkan, kedua kelompok batuan tersebut mempunyai kesamaan evolusi magma. Secara tektonik, daerah Aceh dan Natal mempunyai posisi terhadap sistem busur sama. Sehingga pengkayaan Sr, K, dan Ba bisa jadi erat kaitannya dengan perbedaan komposisi kerak litosfer yang menunjam atau mungkin dipengaruhi jenis dan ketebalan kerak benua yang menunjukkan perbedaan maturasi dari busur gunungapinya.

DISKUSI DAN KESIMPULAN

Basal kaya akan potasium dan LILE dari daerah Natal mempunyai harga perbandingan



Gambar 4. Diagram yang memperlihatkan harga perbandingan La/Yb , Nb/Yb , K_2O/Nb , Rb/Nb , K/La dan Ba/La batuan gunungapi sejak Paleosen hingga sekarang di Sumatra; basal dari Natal dan Aceh mempunyai harga La/Yb rendah, tetapi contoh dari Natal mempunyai harga La/Yb , Nb/Yb , K_2O/Nb , Rb/Nb , K/La tinggi tidak seperti basal dari Aceh.

tinggi pada La/Yb, Nb/Yb, K₂O/Nb, Rb/Nb, K/La dan Ba/La dan berlawanan dengan basal dari Aceh (Gambar 4). Contoh dari kedua daerah tersebut mempunyai harga La/Yb rendah. Pengkayaan LILE dan unsur tanah langka ringan kemungkinan dipengaruhi oleh kontribusi penting larutan hasil hidrasi dari kerak yang menunjam atau bisa jadi oleh proses kristalisasi, asimilasi atau hibritisasi yang secara sistematis akan memberikan kontribusi atas kenaikan LILE dan REE tersebut. Untuk basal dari daerah Natal, pengkayaan LILE jauh lebih signifikan dibanding unsur tanah langkanya, sementara basal dari Aceh hal tersebut tidak terlihat.

Bukti ini menunjukkan bahwa pengkayaan penting LILE untuk lava dari daerah Natal lebih dipengaruhi oleh sumber magmanya. Pengkayaan unsur-unsur tersebut mungkin sekali merupakan hasil penambahan dari lapisan sedimen di atas kerak samudera yang menunjam.

Batuan dasar di daerah Natal adalah Kelompok Woyla yaitu formasi batuan yang tersusun oleh endapan gunungapi dan keratan-keratan kerak samodera. Perbandingan La/Yb yang tetap kecil menunjukkan bahwa proses deferensiasi maupun kontaminasi kurang penting. Konfigurasi geologi saat ini memperlihatkan bahwa kerak samodra yang menunjam di bawah Sumatra mempunyai umur 70 Ma pada bagian selatan dan berumur 40 Ma pada fosil punggung tengah samudera Wharton (Sclater and Fisher, 1974, Liu *et al*, 1983; Newcomb and McCann, 1987; Daly *et al*, 1987). Daerah Natal merupakan tempat menunjamnya fosil MOR tersebut bersama-sama punggung Investigator (Gambar 1). Distribusi batuan sedimen menunjukkan bahwa MOR, dan punggung 90°E didominasi oleh lumpur karbonat (*calcareous ooze*) (Davies *et al*, 1995). Sedimen-sedimen biogenik tersebut akan memperkaya elemen *incompatible* tipe LILE (Ben Othman *et al*, 1989). Terdapatnya lava yang kaya akan K, Ba, Rb dan La, tetapi miskin elemen *incompatible* tipe HFSE memberikan spekulasi bahwa punggung (mungkin *fracture zone*) seperti halnya punggung Investigator (atau punggung Investigator itu sendiri) telah menunjam di bawah Sumatra sejak Paleosen (63 Ma). Elemen-elemen K, Ba, Rb, La yang berasal dari batuan sedimen terrigen atau biogen akan mengalami dehidrasi dan terbawa ke atas dalam batuan gunungapi, sedang elemen-elemen tipe HFSE tidak akan terpendahkan oleh proses

dehidrasi, oleh karenanya selalu kecil kandungannya dalam lava yang naik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aspden, J.A, Kartawa, W, Aldiss, D.T, Djunuddin, A, Whandoyo, R, Diatma, D, and Clarke, M.C.G. 1982, *The Geology of the Padangsidempuan and Sibolga Quadrangle, Sumatra*, Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Bellon, H, Quoc Buù, N, Chaumont, J, and Philippet, J.C, 1981, Implication ionique d'argon dans une cible support. Application au traçage isotopique de l'argon contenu dans les minéraux et roches, *C.R. Acad. Sci*, vol. 292, Sér. II: 977-980.
- Ben Othman, D, White, W.M, and Patchett, J, 1989, The geochemistry of marine sediments, island arc magma genesis, and crust - mantle recycling, *Earth and Planet. Sci. Let*, vol. 94: 1 - 21.
- Cameron, N. R, Clarke, M.C.G, Aldiss, D.T, Aspden, J.A. and Djunuddin, A, 1980, The Geology Evolution of Northern Sumatra, *Proc. Indonesian Petrol. Assoc*, vol. 9: 149 - 188.
- Curry, J. R, 1989, The Sunda Arc : a model for oblique plate convergence, *Nederland Journal of Sea Research*, vol. 24 (2/3): 131 - 140.
- Daly, M. C, Hooper, B.G.D. and Smith, D.G, 1987, Tertiary Plate Tectonic and Basin Evolution in Indonesia, *Proc. Indonesian Petrol. Assoc*, vol. 16: 399 - 428.
- Davies, T. A, Kidd, R.B, and Ramsay, A.T.S, 1995, A time-slice approach to the history of Cenozoic sedimentation in the Indian Ocean, *Sedimentary Geology*, vol. 96: 157 - 159.
- Eubank, R. T, and Makki, A.Ch, 1981, Structural Geology of the Central Sumatra back-arc basin, *Proc. Indonesian Petroleum Assoc*, 10th: 153 - 196.
- Harbury, N. A, and Kallanger, H.J, 1991, The Sunda Outer-Arc Ridge, North Sumatra, Indonesia, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, vol. 6, No. 3/4: 463 - 476.
- Liu, C. S, Curry, J.R, and McDonald, J.M, 1983, New constraints on the tectonic evolution

- of the eastern Indian Ocean, *Earth and Planet. Sci. Let*, vol. 65: 331 - 342.
- Metcalf, I, 1996, Pre-Cretaceous evolution of SE Asian terranes, *Geological Society Special Publication*, No. 106: 97 - 122.
- Moore, G. F, and Karig, E.D, 1980, Structural geology of Nias island, Indonesia: implications for subduction zone tectonics, *American Journal of Science*, vol. 280: 193 - 223.
- Moore, G. F, Curray, J.R, and Emmel, F.J, 1982, Sedimentation in the Sunda Trench and fore arc region, *Trench-Forearc Geology, Geol. Soc. London Spec. Pub*, No. 10: 245 - 257.
- Newcomb, K. R, and McCann, W.R, 1987, Seismic history and seismotectonics of the Sunda arc, *Jour. Geophys. Research*, vol. 92: 421 - 439.
- Peccerillo, A, and Taylor, S.R, 1976, Geochemistry of Eocene Calk-Alcaline Volcanic Rocks from the Kastamonu area Northern Turkey, *Contrib. Mineral. Petrol*, vol. 58: 63-81.
- Pulunggono, A, and Cameron, N.R, 1984, Sumatran Microplates : theirs characteristics and their role in the evolution of the Central and South Sumatra basins, *Proc. Indonesian Petrol. Assoc*, vol. 13: 121 - 143.
- Sclater, J. G, and Fisher, R.L., 1974, Evolution of the East-Central Indian Ocean, with emphasis on the tectonic setting of the Ninety-East Ridge, *Geol. Soc. America Bull*, vol. 85: 683-702.
- Wajzer, M. R, Barber, A.J, Hidayat, S. and Suharsono, 1991, Accretion, collision and strike-slip faulting: the Woyla Group as a key to the tectonic evolution of North Sumatra, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, Vol. 6. No. 3/4: 447 - 461.

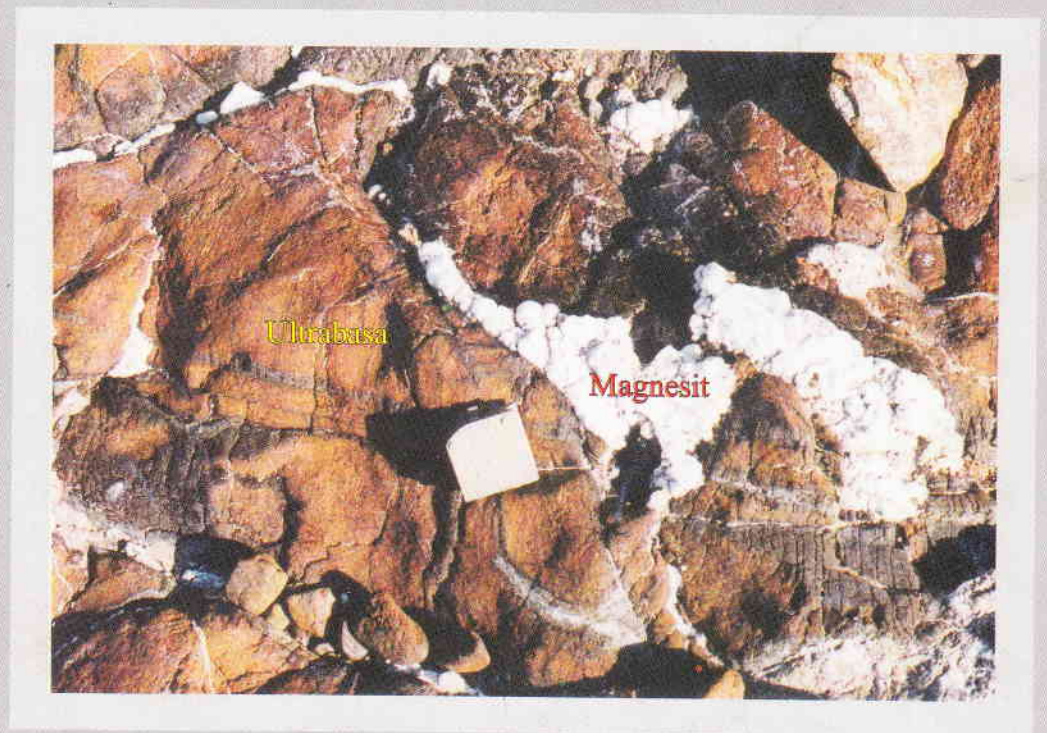
B.7

ISSN 0216-1061



MAJALAH GEOLOGI INDONESIA

Vol. 19, No. 1, April 2004



Penerbit/Publisher:
IKATAN AHLI GEOLOGI INDONESIA
Indonesian Association of Geologists

Majalah Geol. Indo	Vol. 19	No. 1	Hlm. 1 - 74	Jakarta April 2004	ISSN 0216-1061
-----------------------	---------	-------	-------------	-----------------------	----------------