

## BATUAN VOLKANIK TERSIER DI DAERAH PACITAN DAN SEKITARNYA

Oleh:  
Sutanto<sup>\*)</sup>

### SARI

Batuan vulkanik tersebar luas di daerah Pacitan dan sekitarnya. Bukti lapangan menunjukkan telah terjadi beberapa episode aktivitas gunungapi dan tersimpan dalam Formasi Besole, Jaten, Wuni, Nampol dan Punung. Penanggalan radiometri K/Ar menunjukkan kegiatan vulkanisme tersebut telah dimulai pada kala Eosin dan berlangsung hingga Miosin Akhir. Kegiatan gunungapi tersebut menghasilkan lava, dike, dome dan volcanic neck berkomposisi basalt, andesit, dasit dan riolit. Mereka mempunyai afinitas toleit busur kepulauan yang dicirikan oleh kadar potasium rendah dan anomali negatif pada unsur niobium. Pengkayaan unsur-unsur Rb, Ba dan K (LILE) pada batuan dari Eosin hingga Miosin Awal mencirikan proses pendewasaan (maturity) sebuah busur kepulauan. Terdapatnya batuan andesitik hingga dasitik berumur Miosin Tengah hingga Miosin Akhir, yang mempunyai kandungan strontium (Sr) sangat tinggi dan unsur tanah langka berat (Dy, Er, Yb) sangat rendah merupakan batuan yang bersifat adakitik. Secara genetik batuan adakitik tersebut sumber magmanya berasal dari peleburan sebagian kerak litosfer samodra berumur muda dan panas yang menunjam.

Kata kunci : Pacitan, batuan gunungapi, orogenesis, adakitik

### ABSTRACT

The eosene to upper miocene volcanic edifices are widely distributed in Pacitan and surrounding area. They are represented by lava flows, dykes, volcanic necks, volcanic breccias and tuffs. These volcanic edifices well preserved in the Besole, Jaten, Wuni, Nampol and Punung Formations, with the composition are mainly andesite with some basalts dacites and rhyolites. The K/Ar isotopic dating of the dykes and, lava flow showed that the volcanoes were active during 42 to 9 Ma (eosene to upper miocen). Geochemically, these rocks are typical of magma orogenic of the island arc, that showed by negative anomaly in niobium and zirconium on the multi-element diagrams. The enrichment of the large ionic lithophile elements (LILE) Rb, Ba, and K are typical of the mature of island arc. This early tertiary magma orogenic activity is the response the subducted Indo-Australian oceanic lithospheric plate beneath the Jawa island arc, with the spreading centre lies between Australia and Antarctica that was active since 53 Ma ago. The presence of middle to upper Miocene andesitic to dacitic rocks which very rich on strontium (Sr) and depleted on heavy rare earth elements (Dy, Er, Yb) are typical of the rocks derived from adakitic magma, from the melting of young and hot subducted lithospheric plate.

Key words : Pacitan, volcanic rocks, orogenic, adakitic

### PENDAHULUAN

Daerah penelitian, merupakan bagian dari pegunungan selatan Jawa Timur, antara kota Pacitan dan Trenggalek. Menurut Van Bemmelen (1949), formasi-formasi yang terdapat di daerah ini adalah; formasi Andesit Tua (OAF) yang didaerah ini disebut dengan Formasi Besole, dan formasi batugamping dan sedimen berumur Miosin. Pengamatan lebih teliti menunjukkan

bahwa batuan *intrusive hypabisal* berupa *sill* dan *dyke* yang semula dianggap bagian dari Formasi Besole ternyata banyak diantaranya memotong Formasi Punung, Formasi Jaten dan Formasi Wuni, Formasi Nampol yang berumur Miocen tengah. dan banyak material gunungapi yang berupa lava, tuf dan breksi terdapat pada formasi-formasi yang lebih muda dari Formasi Besole tersebut.

<sup>\*)</sup> Jurusan Teknik Geologi UPN "Veteran" Yogyakarta 55283; E-mail: sutanto@upnyk.ac.id

## GEOLOGI

Daerah Pacitan-Trenggalek, secara stratigrafi terdiri dari Formasi Besole, Punung, Jaten, dan Wuni. Formasi Besole disusun oleh batuan sedimen turbiditik, lava bantal, dan breksi vulkanik. Himpunan foraminifera plangtonik dalam endapan turbiditnya memberikan umur Oligosin Akhir sampai Miosin Awal (N3-N5). Formasi Punung dan Jaten yang saling menjemari terletak tak selaras di atas Formasi Besole. Formasi Punung terdiri dari batugamping dan napal kaya akan fosil foraminifera plangtonik berumur Miosin Tengah (N9-N14), sedang Formasi Jaten merupakan kelompok batuan sedimen berfasies littoral (batupasir kuarsa, lempung hitam batubara di mana fosil yang dikandungnya menunjukkan umur awal Miosin Awal (N9). Formasi Wuni terletak selaras di atas Formasi Jaten, dan menjari dengan Formasi Punung. Satuan ini terdiri dari tuf, batulempng, konglomerat, aglomerat dengan beberapa lensa batugamping yang mengandung fosil berumur Miosin Tengah (N10-N11).

Intrusi hypabisal berupa *volcanic neck*, *dyke* dan *sill* dan lebih muda dari Formasi Besole banyak terdapat di daerah antara Pacitan hingga Trenggalek, diantaranya adalah Gunung Sepang (Pacitan), dan Gunung Watulimo (Trenggalek), yang memotong Formasi Punung, kompleks *volcanic neck* Watulimo memotong Formasi Punung dan Jaten yang terdapat di sekitar desa Mantren, sebelah timur Kota Pacitan, dan *dyke* Gunung Manikoro (Trenggalek) yang mengintrusi Formasi Jaten dan Formasi Punung.

## CONTOH BATUAN

Empat belas contoh batuan vulkanik dari daerah ini telah dianalisa kimia, petrografi dan sebagian ditentukan umurnya. Dua contoh batuan yang diambil pada tahun 1980, yaitu liparit (80J85) dari endapan awan panas dari sebelah Barat Slahung, dan riolit (80J83) dari *lava dome* di sebelah utara Slahung. Dua belas contoh lainnya diambil pada tahun 1990 bersama dengan R. Maury, R. Soeria-Atmadja. Dari sebelah Barat kota Pacitan diambil lava andesit PC 1 dan PC 3, keduanya termasuk dalam Formasi Besole, terletak di bawah Formasi Punung, enam kilometer di sebelah barat Pacitan. Di sepanjang sungai Grindulu diambil dua

contoh lava basaltik (PC6A dan PC6B) berstruktur bantal di dekat desa Arjosari dan PC 20 di desa Gedangan. Lava tersebut lapuk, berwarna kehijauan, dan lubang-lubang gasnya terisi oleh zeolit.

Di dusun Mantren, sebelah timur kota Pacitan, contoh batuan berkomposisi dasitik (PC 7) diambil pada *volcanic neck* Gunung Watulimo yang memotong Formasi Punung dan Jaten. Sementara contoh nomer PC13A dan PC13C diambil dari dike andesitik Gunung Sepang yang menyebabkan kontak metamorfosa sehingga batugamping Formasi Punung berubah menjadi marmer. PC 14 adalah lava andesitik berstruktur kekar tiang di desa Wonoanti, sebelah barat laut Gunung Sepang merupakan bagian dari Formasi Jaten. Dari daerah Trenggalek, contoh batuan diambil pada dike andesitik Gunung Manikoro (PC 34) yang memotong Formasi Punung dan dome riolitik pada Formasi Besole (PC 35) di sebelah utara kota tersebut.

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

Metode penanggalan potassium-argon berpedoman pada prinsip disintegrasi radioaktif secara alamiah dari unsur  $^{40}\text{K}$  menjadi  $^{40}\text{Ar}$ . Potasium mempunyai tiga isotop, yaitu:  $^{41}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{39}\text{K}$ .  $^{40}\text{K}$  adalah sebuah isotop radioaktif dan juga kurang melimpah di alam ( $^{39}\text{K} = 93,2581\%$ ;  $^{40}\text{K} = 0,01167\%$ ;  $^{41}\text{K} = 6,7302\%$ ), desintegrasinya (*branching decays*) akan melahirkan dua elemen, yaitu:  $^{40}\text{Ar}$  (11,0%) dan  $^{40}\text{Ca}$  (88,8%).  $^{40}\text{Ca}$  terbentuk oleh emisi partikel  $\beta^-$ . Apabila inti (atom) melepaskan sebuah elektron dari "kulit-K", unsur tersebut berdesintegrasi menjadi  $^{40}\text{Ar}$ . Unsur yang baru terbentuk tersebut dalam keadaan tidak stabil, dan akan mencapai keadaan stabil setelah memancarkan partikel  $\gamma$ . Pasangan  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  digunakan untuk penanggalan.

Keuntungan metode ini adalah: unsur K melimpah pada kerak, hampir dalam setiap mineral pembentuk batuan; periode 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 vulkanik yang mempunyai pendinginan cepat.

Dalam penelitian ini, penanggalan dilakukan pada batuan (*whole rock*) dengan ukuran granulometri 0,50 - 0,16 mm, pengukuran <sup>40</sup>Ar, <sup>36</sup>Ar, dan <sup>38</sup>Ar dengan menggunakan spektrometer massa THOMSON CAMECA 205 SE (Bellon et al, 1981) di laboratorium geokronologi UBO, Brest. Sedang K<sub>2</sub>O dinyatakan dalam % berat dan pengukurannya menggunakan metode AAS.

Perhitungan umur menggunakan persamaan:

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

<sup>40</sup>Ar\* = <sup>40</sup>Ar radiogenik

t = umur (Ma)

Soeria-Atmadja et al, 1991, telah mempublikasikan umur isotopik <sup>40</sup>K/<sup>40</sup>Ar dari contoh batuan PC6, PC6B, PC6C, PC3, PC34, PC35 dan 80J83 (Tabel 1), sedang dua data baru (PC 1 dan PC 7) telah dianalisa pada penelitian

ini. Keseluruhan data memberikan umur antara 42,7 Ma dan 8,94 Ma.

PC 6A dan PC 6B; adalah dua lava basaltik berstruktur bantal dalam Formasi Besole memberikan umur 33,56 ± 9,69 dan 42,73 ± 9,78 Ma. Kedua lava tersebut teralterasi (LOI, 5,25 % dan 3,5 %) dan sangat miskin K<sub>2</sub>O (0,03 % à 0,06 %), oleh karenanya ratio <sup>40</sup>Ar radiogenik/ <sup>40</sup>Ar total sangat kecil (8,6 dan 6,5 %). Meskipun demikian konsentrasi isotop <sup>36</sup>Ar normal: 1,93.10<sup>-9</sup> cm<sup>3</sup>/g. dan 2,37.10<sup>-9</sup> cm<sup>3</sup>/g, tetapi hasil tersebut tidak mencerminkan umur persis lava tersebut. Contoh dike basaltik (PC 6C) yang memotong kedua lava bantal jauh lebih kaya akan K<sub>2</sub>O (0,30 %) dan ratio <sup>40</sup>Ar radiogenik/<sup>40</sup>Ar total (29,00 %), meskipun batuan ini juga teralterasi (LOI = 3,24 %), tetapi umur yang didapat (28,00 ± 1,53 Ma) lebih meyakinkan.

Contoh batuan PC3, PC35 dan 80J83 relatif segar dengan harga LOI; 1,51 %, 1,50 % dan 1,19 %, sedang PC 34 lebih teralterasi (LOI; 3,85 %). Mereka mempunyai kandungan K<sub>2</sub>O relatif tinggi (0,77 %, 1,34 %, 6,35 % dan 1,00 %) dan ratio <sup>40</sup>Ar radiogenik bervariasi dari 28,9 % hingga 80,1%. Dengan konsentrasi <sup>36</sup>Ar rendah, maka pengukuran ini baik untuk menentukan umur batuan-batuan tersebut. Contoh intrusi basaltik di sebelah barat kota Pacitan (PC1) dan dari G. Watulimo (PC7) memberikan umur 15,79

Tabel 1. Umur radiometri Potasium - Argon batuan vulkanik dari daerah Pacitan dan sekitarnya

Lokasi	No. contoh	Umur		K <sub>2</sub> O %	<sup>40</sup> Ar* (%)	<sup>36</sup> Ar sam. E-9 cm <sup>3</sup> /g
		Kala	(Ma)			
Arjosari	PC6B	Eosin Akhir	42.73±9.78	0.055	8.3	2.37
	PC6A	Oligosin Awal	33.56±9.69	0.045	6.5	1.93
	PC6C	Oligosin Awal	28.00±1.53	0.30	29.0	1.80
Slahung	80J83	Miosin Awal	19.20±0.37	6.40	80.1	2.77
Trenggalek	PC35	Miosin Awal	18.99±0.54	1.34	50.4	2.15
Pacitan	PC1	Miosin Tengah	15.80±0.44	0.86	41.6	1.75
	PC3	Miosin Tengah	15.30±0.88	0.77	28.9	2.67
G. Watulimo	PC7	Miosin Tengah	12.07±0.58	0.67	21.3	2.41
G. Manikoro	PC34	Miosin Akhir	8.94±0.40	1.00	32.4	1.49

dan 12.07 Ma. Kedua contoh tersebut mempunyai harga  $K_2O$  0.86 % dan 0.65 % dengan hilang dibakar (LOI) 2.38 % dan 2.27 % dan ratio  $^{40}Ar$  radiogenik/ $^{40}Ar$  total 21.3 dan 41.6 %. Dengan konsentrasi isotop  $^{36}Ar$   $2.41 \cdot 10^9$   $cm^3/g$  dan  $1.75 \cdot 10^9$   $cm^3/g$ , umur yang diperoleh sangat baik.

## GEOKIMIA

Unsur utama dan unsur jejak dianalisa dengan metode ICP - AES. Prinsip metoda ini adalah menggunakan larutan plasma untuk mengionisasi contoh batuan yang dianalisa dengan menggunakan *spectrometer polychromatic* dan *monochromatic*. *Spectrometer* dapat untuk menganalisa duapuluhan elemen secara cepat dan simultan. *Spectrometer polychromatic* 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 kimia 11 contoh batuan dari daerah Pacitan dan sekitarnya disajikan dalam Tabel 2.

## UNSUR UTAMA

Hasil analisa kimia menunjukkan bahwa contoh-contoh batuan PC1, PC6A, PC6B, PC6C, PC7, PC20 dan PC34 mempunyai harga habis dibakar (LOI) lebih besar dari 2 %, sedang PC3, PC35, 80J83 dan 80J85 memberikan harga LOI kurang dari 2 %, yang berarti lebih segar. Dalam diagram  $K_2O$  vs  $SiO_2$  (Gambar 1) semua batuan termasuk dalam tholeitik busur kepulauan. PC6A dan PC 14 berkomposisi basaltik; PC6C, PC13C dan PC20 adalah andesit basal; PC1, PC3, PC6B, PC13A dan PC34 andesit; PC 7 adalah dasit; dan PC 35 dan 80J83 adalah riolit.

Contoh-contoh PC6A, PC 6B, PC6C dan PC 20 kaya akan  $TiO_2$  (1.05, 1.26, 1.35, dan 1.34 %), harga ini cukup tinggi untuk batuan jenis tholeit busur kepulauan, nilai ini lebih mendekati lava jenis MORB(N). Harga  $Al_2O_3$  (15.81, 14.03, 14.24 dan 14.00 %) yang rendah juga mendukung pernyataan di atas. Di lain pihak beberapa batuan mempunyai kandungan  $TiO_2$  sangat rendah (0.29 - 0.77 %), dan lebih kaya akan  $Al_2O_3$  (16.48 - 18.18 %) kecuali PC35 yang  $Al_2O_3$  sangat rendah (12.34 %). Diagram variasi elemen utama terhadap  $SiO_2$  (Gambar 2) memperlihatkan

bahwa  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3^*$ ,  $MgO$ ,  $MnO$  dan  $CaO$  cenderung menurun,  $K_2O$  mempunyai kecenderungan meningkat sedang  $Na_2O$  selalu konstan terhadap kenaikan  $SiO_2$ .

## Unsur Jejak Compatible

Unsur jejak yang lebih suka pada fasa mineral atau lebih dikenal dengan unsur jejak *compatible* yang dianalisa dalam penelitian ini adalah Cr, Co, dan Ni. Contoh-contoh basalt yang dianalisa memberikan kandungan Cr, Co dan Ni sangat sedikit (20 - 24 ppm Cr; 1 - 24 ppm Co dan 5 - 16 ppm Ni). Hal ini menunjukkan bahwa basalt tersebut telah terevolusi. Dalam diagram diskriminan Ti/Cr (Pearce, 1982) mereka termasuk dalam kelompok basalt tholeit potasium rendah (Gambar 3).

## Unsur Jejak Incompatible

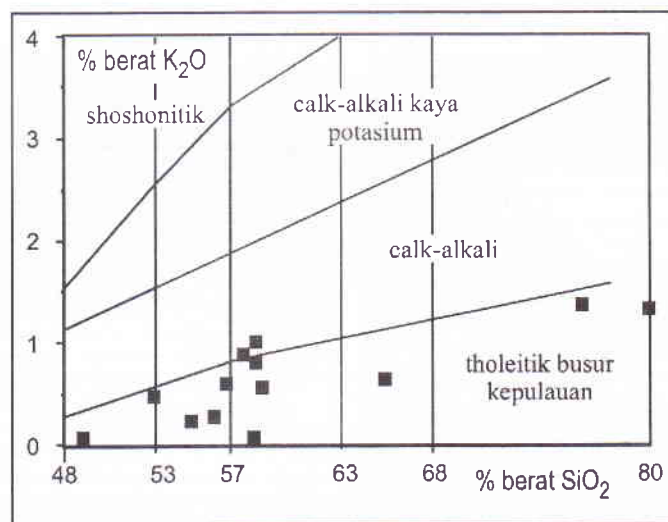
Unsur-unsur yang lebih suka dalam fasa larutan yang dianalisa meliputi Rb, Ba, K, Nb, Sr, Zr, Ti dan Y serta unsur tanah langka (REE); La, Nd, Eu, Dy, Er, dan Yb. Diskusi tentang kelakuan dalam batuan unsur-unsur tersebut ditampilkan dalam diagram multi elemen (spider diagram) dan diagram unsur tanah langka. Kedua diagram tersebut dinormalisasi dengan harga unsur yang sama pada mantel primitif dari Sun dan McDonough (1989) (Gambar 4). Diagram yang didapat menunjukkan ada 4 (empat) tipe distribusi semua unsur *incompatible* maupun REE.

Diagram tipe pertama, pada gambar paling atas, meliputi basalt berstruktur bantal PC6A, PC6B, dan PC6C. Umur batuan tersebut berkisar antara 42,7 Ma dan 28,0 Ma atau Eosin - Oligosin Akhir. Diagram unsur tanah langka menunjukkan penyebaran datar dengan sedikit anomali negatif pada unsur europium. PC6A dan PC6B mempunyai kandungan unsur tanah langka 5 (lima) kali unsur yang sama pada mantel primitif, sementara contoh PC6C lebih terevolusi dengan harga unsur tanah langkanya 6 (enam) kali mantel primitif. Diagram multi elemen menunjukkan penyebaran datar dengan anomali negatif pada unsur-unsur K, Nb, Zr dan Eu.

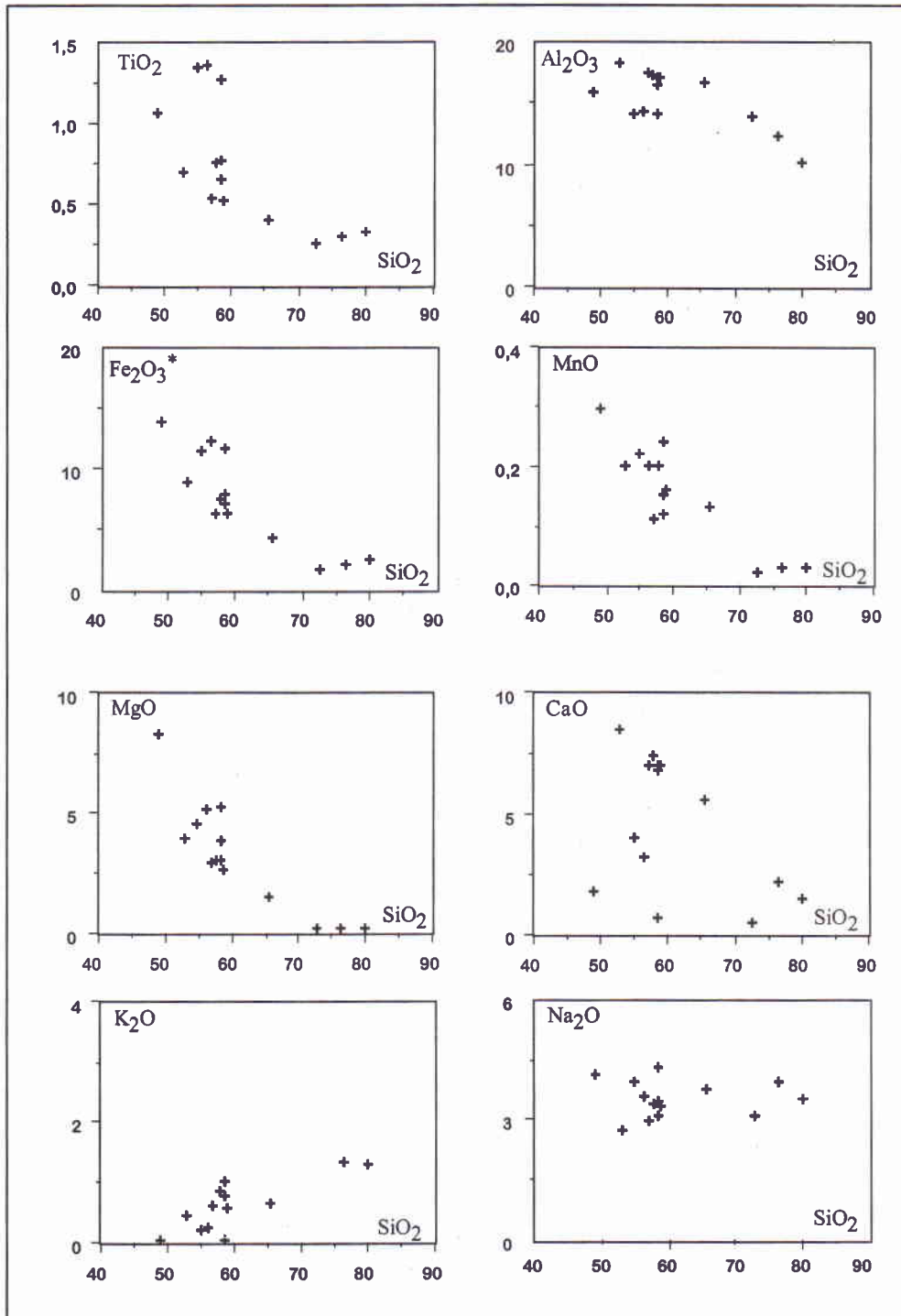
Penyebaran datar pada kedua diagram di atas menunjukkan batuan-batuan belum banyak terkontaminasi oleh unsur-unsur jejak pada kerak benua. Kandungan potasium rendah mencirikan afinitas tholeitik, sedang anomali

Tabel 2. Komposisi kimia unsur utama dan unsur jejak batuan vulkanik dari daerah Pacitan dan sekitarnya.

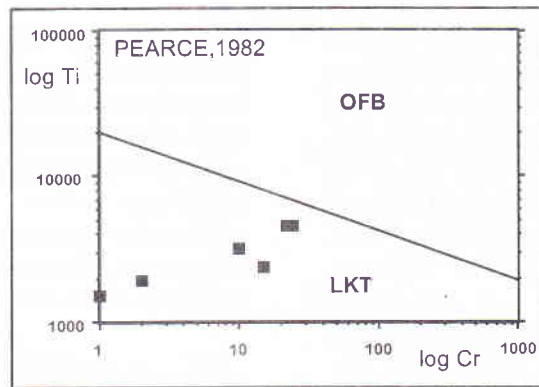
	PC 1	PC 3	PC 6A	PC 6B	PC6C	PC-7	PC 14	PC 20	PC 34	PC-35	80J83
Age (Ma)	15.79	15.30	33.56	42.73	28.00	12.07			8.94	18.99	19.20
SiO <sub>2</sub>	57.75	58.50	49.00	58.40	56.20	65.50	52.85	54.90	58.50	76.35	72.75
TiO <sub>2</sub>	0.75	0.77	1.06	1.26	1.35	0.40	0.69	1.34	0.65	0.29	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.20	17.10	15.81	14.03	14.24	16.55	18.18	14.00	16.48	12.34	13.94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	7.37	7.75	13.72	11.67	12.25	4.23	8.88	11.40	7.03	2.01	1.51
MnO	0.20	0.12	0.30	0.24	0.20	0.13	0.20	0.22	0.15	0.03	0.02
MgO	3.07	3.86	8.25	5.24	5.18	1.50	3.89	4.50	3.03	0.18	0.24
CaO	7.44	7.05	1.81	0.70	3.23	5.65	8.53	3.96	6.75	2.17	0.5
Na <sub>2</sub> O	3.41	3.46	4.12	4.28	3.55	3.75	2.72	3.96	3.07	3.95	3.08
K <sub>2</sub> O	0.84	0.77	0.03	0.06	0.25	0.63	0.43	0.22	1.00	1.34	6.35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.15	0.19	0.22	0.17	0.05	0.16	1.19	0.13	0.00	0.01
LOI	2.38	1.51	5.25	3.52	3.24	2.27	3.31	4.53	3.85	1.5	1.19
TOTAL	100.49	101.04	99.54	99.62	99.86	100.66	99.84	99.22	100.64	100.16	99.84
Sc	20	21	42	29	32	8	18	30	17	9	4.5
V	145	155	290	260	270	60	140	275	120	25	12.5
Cr	22	24	10	10	10	15	10	10	10	10	1
Co	26	21	43	29	29	6	22	30	17	3	7
Ni	16	15	9	7	7	6	8	10	7	5	2.5
Rb	19	18	1	1	3.5	17	10	3.5	21	25	81
Sr	320	307	88	86	158	365	357	156	310	150	46.5
Ba	147	131	32	36	88	170	87	55	120	192	212.5
Y	18	17	26	23	34	12.5	17	37	24	36	24.5
Zr	57	70	36	52	79	37	49	56	84	103	135
Nb	1	1	0.5	1	1	1.2	1	1.5	1	1.5	2.6
La	5.2	5.3	3.4	3.6	5	7	5.1	5.6	6	12	13.8
Nd	11	11	9	9.5	13	10.3	10	13	11.5	18	14
Eu	0.6	0.7	0.65	0.5	1.1	0.6	0.8	0.8	0.8	1.2	0.8
Dy	3	3	4	4.1	5.7	1.7	2.8	5.5	3.8	5.6	3.6
Er	1.31	1.4	2.2	1.9	2.8	0.8	1.25	3.1	2.0	2.9	2.5
Yb	1.52	1.45	2.51	2.38	3.05	1.10	1.58	3.07	2.51	3.16	2.65



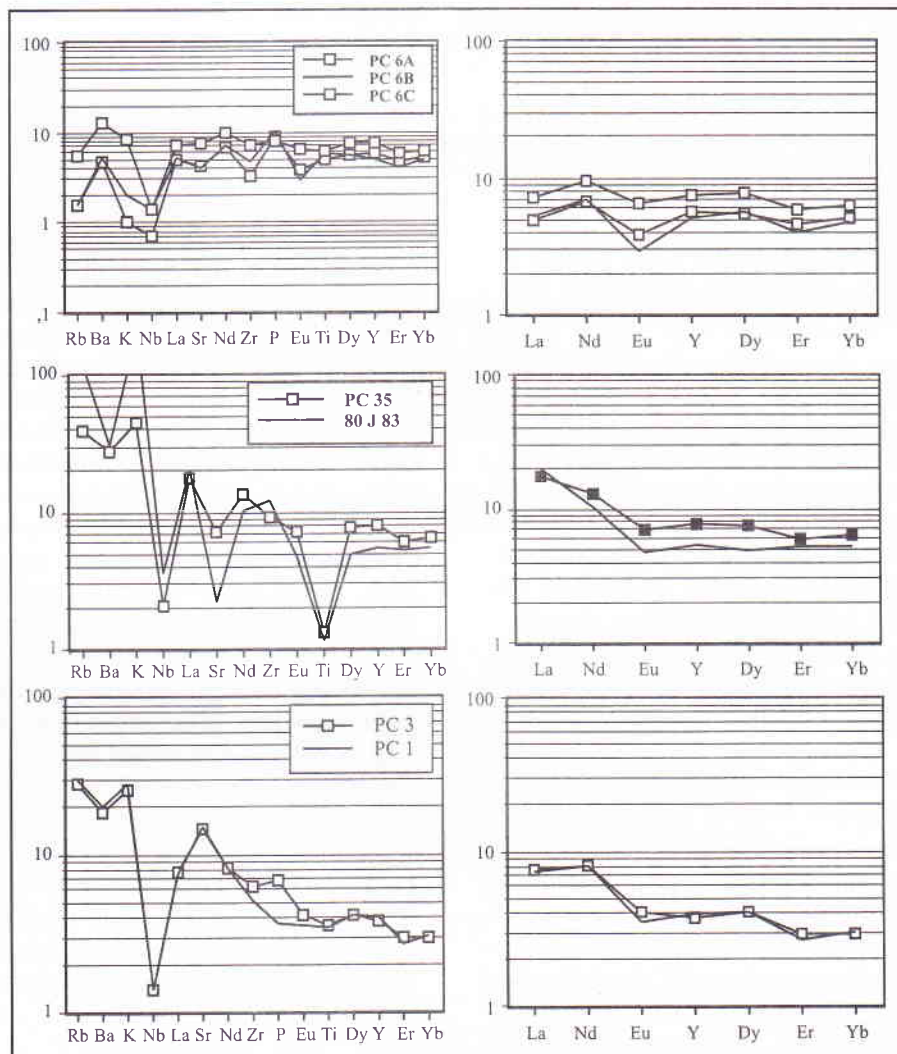
Gambar 1. Posisi contoh-contoh batuan vulkanik dari daerah Pacitan dalam diagram SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O (Peccerillo dan Taylor, 1976; Maury, 1984).



Gambar 2. Diagram unsur utama terhadap SiO<sub>2</sub>, batuan vulkanik daerah Pacitan dan sekitarnya.



Gambar 3. Posisi contoh batuan dari daerah Pacitan dalam diagram diskriminan Ti/Cr (Pearce, 1982).



Gambar 4. Penyebaran unsur-unsur *incompatible* dalam diagram multi elemen (spider diagram) dan diagram unsur tanah langka (REE) yang dinormalisasi terhadap mantel primitif dari contoh-contoh batuan vulkanik daerah Pacitan dan sekitarnya. Harga normalisasi diambil dari Sun dan McDonough (1989).

negatif pada Nb dan Zr merupakan ciri magma yang bergenerasi pada jalur tunjaman, dimana unsur-unsur HFSE (*high field strenght element*) tidak terbawa naik pada saat deshidrasi (Briqueu, Bougault, and Joron, 1984; McCulloch & Gamble, 1991; Arculus, 1994). Sedang anomali negatif pada europium menunjukkan tidak banyaknya kristalisasi plagioklas (Wilson, 1989).

PC35 dan 80J83 adalah dua contoh batuan riolitik berumur sekitar 19 Ma atau Miosin awal. Dapat diamati di sini bahwa ke dua contoh mempunyai penyebaran datar pada unsur tanah langka berat (Dy, Er, Yb) dan terjadi pengkayaan pada unsur tanah langka ringan (La, Nd, Eu) Dalam diagram multi elemen menunjukkan pengkayaan pada unsur-unsur Rb, Ba, K (LILE) dan anomali negatif cukup signifikan pada unsur-unsur Nb dan Ti, serta pada strontium dan fosfor. Pengkayaan unsur LILE menunjukkan bahwa batuan ini sudah terevolusi, sedang anomali negatif pada Nb dan Ti adalah ciri khas magma orogenik, serta anomali negatif pada Sr dan P dipengaruhi oleh kristalisasi plagioklas dan apatit (McCulloch & Gamble, 1991; Wilson, 1989).

Kelompok ke tiga diwakili oleh lava berkomposisi andesitik (PC1 dan PC3) berumur sekitar 15 Ma. Diagram unsur tanah langka yang dinormalisasi terhadap mantel primitif menunjukkan pengkayaan sistematis dari unsur tanah langka berat ke unsur tanah langka ringan; yaitu tiga kali untuk Yb dan 8 kali untuk La terhadap mantel primitif. Sementara diagram multi elemen yang dinormalisasi terhadap mantel primitif menunjukkan pengkayaan unsur-unsur Rb, Ba, K, La, dan Sr serta anomali negatif pada niobium. Batuan khas orogenik dengan anomali niobium ini miskin akan Er dan Yb yang mungkin disebabkan banyak terdapat garnet pada sumber magmanya. Sedang pengkayaan Rb, Ba, K, La, dan Sr menunjukkan batuan ini telah mengalami evolusi.

Kelompok ke empat adalah batuan vulkanik berumur antara 12.07 Ma dan 8.94 Ma. Mereka berkomposisi dasitik dari *volcanic neck* G. Watulimo (PC 7) dan *dike* G. Manikoro (PC 34). Seperti kelompok sebelumnya, pada diagram unsur tanah langka maupun diagram multi elemen yang dinormalisasi terhadap mantel primitif menunjukkan pengkayaan sistematis dari unsur tanah langka berat ke unsur

tanah langka ringan serta menunjukkan pengkayaan unsur-unsur Rb, Ba, K, La, dan Sr. Pengkayaan unsur Sr dan pemiskinan unsur tanah langka berat (Er dan Yb) memberikan ciri magma adakitik sebagai sumbernya. Dimana kehadiran batuan adakitik ini erat dengan penunjaman kerak samodra yang masih panas (Defant and Drummond, 1990; Defant et al, 1991; Drummond and Defant, 1990).

## KESIMPULAN

Batuan vulkanik di daerah Pacitan dan sekitarnya mempunyai umur 42 Ma sampai 8.97 Ma atau dari kala Eosin hingga Miosin Akhir. Kegiatan gunungapi yang menghasilkan lava bantal, lava dengan kekar tiang, *dike*, *dome* dan *volcanic neck* dengan komposisi basalt, andesit, dasit dan riolit tersebut berafinitas tholeit busur kepulauan dan umurnya dapat dikorelasikan dengan Formasi Besole, Formasi Jaten dan Formasi Punung.

Aktivitas gunungapi di daerah Pacitan dan sekitarnya dimulai pada kala Eosin, yang diwakili oleh gunungapi submarine menghasilkan lava toleitik berstruktur bantal dan dicirikan oleh penyebaran datar pada diagram unsur tanah langka. Ciri khas magma busur kepulauan diperlihatkan oleh anomali negatif pada niobium dan titan. Pada kala Miosin Awal, kegiatan gunungapi menghasilkan lava yang terevolusi hingga riolit tetapi tetap berafinitas toleit. Pengkayaan unsur-unsur Rb, Ba dan K (LILE) mencirikan pendewasaan (*maturity*) sebuah busur kepulauan.

Pada kala Miosin Tengah sampai Miosin Akhir, aktivitas vulkanismenya bersifat andesitik hingga dasitik dan selalu berafinitas tholeitik. Penyebaran unsur-unsur jejak *incompatible* menunjukkan ciri khas batuan busur kepulauan. Batuan-batuan yang berumur 12 Ma mempunyai kandungan Sr sangat melimpah dan unsur tanah langka berat sangat sedikit (miskin). Batuan adakitik ini dipengaruhi oleh penunjaman litosfer samodra yang masih muda dan panas.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arculus R. J. 1994 *Aspects of magma genesis in arcs*. Lithos. vol. 33: pp. 189 - 208.
- 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. 292 Sér. II: 977 - 980.
- Briqueu L. Bougault H. and Joron J.L. 1984 *Qualification of Nb, Ta, Ti and V Anomalies in Magmas Associated with Subduction Zone : Petrogenetic Implication*, Earth and Planetary Science Letters 68: pp. 297-308.
- Defant M. J. and Drummond M.S. 1990 *Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere* Nature 347: pp. 662 - 665.
- Defant M. J. Richerson P.M. De Boer J.Z. Stewart R.H. Maury R.C. Bellon H. Drummond M.S. Feigenson M.D. and Jackson T.E. 1991 *Dacite Genesis via both Slab Melting and Differentiation: Petrogenesis of La Yeguada Volcanic Complex, Panama* Journal of Petrology 32: pp. 1101 - 1142.
- Drummond M. S. and Defant M.J. 1990 *A model for the trondhjemitic-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: archaic to modern comparisons* Journal of Geophysical Research vol. 95: pp. 21503 - 21521.
- Gill J. B. 1981 *Orogenic andesites and plate tectonic*. Spinger Berlin 390 p.
- Kelemen P.B. Shimizu N. and Dunn T. 1993 *Relative depletion of niobium in some arc magmas and the continental crust : partitioning of K, Nb, La and Ce during melt/rock reaction in the upper mantle* Earth and Planet. Scien. Let. vol. 120: pp. 111 - 134.
- Maury R. C. 1984 *Les Conséquences Volcaniques de la Subduction* Bull.Soc.geol.France t.XXVI no. 3: pp. 489-500.
- McCulloch M. T. and Gamble J.A. 1991 *Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatisme*. Earth and Planetary Science Letters vol. 102: 358 - 374.
- Pearce J. A. 1982 *Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. Andesites : Orogenic Andesite and Related Rocks* Eds. R. S. Thorpe. New York John Wiley & Sons. pp. 525-548.
- Pearce J. A. and Norry M.J. 1979 *Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Volcanic Rocks* Contrib. Mineral. Petrol. 69: pp. 33 - 47.
- Peccerillo A. and Taylor S.R. 1976 *Geochemistry of Eocene Calk-Alcaline Volcanic Rocks from the Kastamonu area Northern Turkey*. Contrib. Mineral. Petrol. 58: 63-81.
- Soeria-Atmadja R. Maury R. C. Bellon H. Pringgoprawiro H. Polvé M. and Priadi B. 1991 *The Tertiary Magmatic Belt in Java* The Proceeding of the Silver Jubilee Symposium On the Dynamics of Subduction and Its Products Yogyakarta: pp. 98-121.
- Steiger R. H. and Jäger E. 1977 *Subcommission on geochronology : convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology* -Earth and Planet. Scien. Let. vol. 36: 359 - 362.
- Sun S. S. and McDonough W.F. 1989 *Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes* -in "Magmatism in the Ocean Basin" Saunders A.D. Norry M.J. (eds.) Geological Society Special Publication No. 42: 313 - 345.
- Van Bemmelen R. W. 1970 *The Geology of Indonesia* The Hague Government Printing Office. 732 p.
- Wilson M. 1989 *Igneous Petrogenesis A Global Tectonic Approach*. London Unwin Hyman. 446p.