



Magmatisme Tholeitik pada *Active Continental Margin* (ACM) di Serayu Bagian Utara dan Selatan – Banyumas, Jawa Tengah

Active Continental Margin (ACM) Origin of Tholeiitic Magmatism in Northern and Southern Serayu-Banyumas, Central Java

Fadlin¹ Shaban Godang² and Wildan Nur Hamzah¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

²Independent Geochemist, Rare Minerals and REEs Researcher

email : fadhli_idrus@yahoo.com

Naskah diterima : 16 Juni 2016, Revisi terakhir : 22 Januari 2018, Disetujui : 29 Januari 2018, Online : 06 Februari 2018

Abstrak - Di Daerah Jawa Tengah terutama pada fisiografi Serayu cukup banyak ditemukan lava basal berumur Eosen hingga Miosen. Berdasarkan fenomena geologi serta karakter lava basal yang dapat terbentuk pada berbagai macam posisi tektonik menjadikan lava basal menarik untuk diteliti. Maksud penelitian ini adalah untuk mendapatkan data geologi berupa data petrologi dan data geokimia lava basal dari daerah Ponjen (Serayu Utara) dan Kalisoka (Serayu Selatan) yang tersebar di fisiografi tersebut. Tujuan penelitian untuk mengetahui petrogenesa pembentukan lava basal yang ada di daerah penelitian. Metode penelitian yaitu analisis petrografi dan geokimia unsur menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Inductively Coupled Plasma Emission Mass Spectrometry* (ICP-MS). Hasil pemrosesan data geokimia major element lava basal untuk kedua zona tersebut menunjukkan magma asal tholeitik dengan jenis plagioklas labradorit. Magmatisme Ponjen-Kalisoka terbentuk dari tatanan tektonik *Active Continental Margin* (ACM) dengan karakteristik anomali unsur Ta (Tantalum) yang cukup signifikan ($Ta = 0,70 - 1,98$ ppm) dibanding dengan basal vulkanik Gede (Jawa Barat; $Ta = 0,26 - 0,40$ ppm) yang bersifat kalk-alkalin yang sama-sama terbentuk dari tatanan tektonik ACM. Batuan *tholeiitic basalt* Ponjen-Kalisoka diusulkan terkontaminasi dengan magma mantel yang dimungkinkan berupa *intracontinental rifting* yang mengakibatkan *trace element* Ponjen-Kalisoka menjadi lebih ke fase *transitional tholeiitic/calc-alkaline*. Lava basal Ponjen-Kalisoka adalah magmatisme fase transisi (*back arc volcanism*) dari *southern volcanism* (bersifat *tholeiitic*) menuju *northern part volcanism* yang bersifat *calc-alkaline*, seperti vulkanik Ungaran yang bersifat *potassic calc-alkaline*.

Kata Kunci : Fisiografi Serayu , *Active Continental Margin* (ACM), *tholeiitic* / *transitional tholeiitic* / kalk-alkali, kontaminasi magma.

Abstract - The significant amount of basaltic lava with geological age from Eocene to Miocene is found in Serayu Physiographic, Central Java. The basaltic lava has become a very interesting to observe due to its geological phenomenon and characteristics of the basaltic lava found in various tectonic positions. The objective of this research is to obtain the geological data in the form of petrological data and geochemical data from Ponjen (northern Serayu) and Kalisoka (southern Serayu) that spreading in the physiographic. The survey aimed to deduce the petrogenesis of basalt lava in the research area. The research method is using petrographic analysis and geochemical analysis by *X-Ray Fluorescence* (XRF), and *Inductive Couple Plasma Mass Emission Spectrometry* (ICP-MS). The data processing results of basalt lava by using geochemical major oxides for both zones indicating the tholeiitic origin magma and the type of plagioclase in form of labradorite. The magmatism of Ponjen-Kalisoka was formed from the tectonic setting of *Active Continental Margin* (ACM) with significant anomaly characteristic of Ta (Tantalum; $Ta = 0,70 - 1,98$ ppm) compares with basalt Gede volcanic (West Java; $Ta = 0,26 - 0,40$ ppm) which is calc-alkaline which are both formed from ACM. The tholeiitic basalt of Ponjen-Kalisoka is proposed has contaminated with mantle magma which is possibly in form of *intracontinental rifting* resulted in Ponjen-Kalisoka's trace element becoming more into the *transitional tholeiitic/calc-alkaline*. The magmatism of Ponjen-Kalisoka's volcanic is a transitional magmatism (*back arc volcanism*) from southern volcanism (*tholeiitic series*) toward a calc-alkaline at northern part volcanism, such as the potassic calc-alkaline of Ungaran volcanic.

Keyword: Serayu physiographic, *Active Continental Margin* (ACM), *tholeiitic* / *transitional tholeiitic* / calc-alkaline, magma contamination

© JGSM. This is an open access article under the CC-BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Active continental margin (ACM) merupakan istilah yang menjelaskan keberadaan zona subduksi yang dihasilkan dari interaksi lempeng samudera yang menunjani di bawah lempeng benua (Lallemand, 2014). Secara regional keberadaan *active continental margin* meliputi wilayah *circum-Pacific* (Jepang, Kuril, Aleutian, Amerika Utara, Tengah, Selatan), southeast Asia (Ryuku, Filipina, New Guinea), Indian Ocean (Jawa, Sumatera, Makran), Mediteranian (Aegea, Calabria) (Lallemand, 2014). Dalam hal ini, sebagian peneliti masih kontradiksi tentang *tectonic setting* pulau Jawa, apakah berupa produk ACM atau *island arc*?. Seperti halnya Wilson, 1989 berpendapat bahwa wilayah Samudera Pasifik, Atlantik, dan Indonesia (Sunda-Banda; pulau Jawa sampai Nusa Tenggara Timur (NTT)) merupakan sistem tektonik *active oceanic-island arc* sedangkan berdasarkan data geokimia vulkanik basal gunung Gede (Jawa Barat; Handley, 2006) terbentuk dari tatanan tektonik ACM dan kumpulan data geokimia vulkanik yang terdapat Jawa Barat (vulkanik Patuha, Galunggung, Tangkuban Perahu), vulkanik Agung (pulau Bali) pada Dempsey, 2013 serta vulkanik Batur (pulau Bali; Wheller, 1986) semuanya terbentuk dari tatanan tektonik ACM.

Pulau Jawa merupakan salah satu daerah di Indonesia yang menyingkapkan produk paleomagnetisme-paleovolkanisme dari umur Eosen-Pliosen yang ditunjukkan oleh kehadiran produk vulkanik berupa lava dan vulkaniklastik (Soeria-atmadja *et al.*, 1994). Daerah Jawa Tengah sendiri cukup banyak tersebar produk vulkanisme, terutama pada Fisiografi Serayu, baik Serayu Utara maupun Serayu Selatan cukup banyak ditemukan lava basal, baik yang berumur Oligosen hingga Pliosen (Van Bemmelen, 1949; Asikin *et al.*, 1992; Djuri *et al.*, 1996). Berdasarkan fenomena geologi tersebut batuan beku basal dipilih menjadi target penelitian karena karakternya yang cukup unik secara petrogenesis, yaitu dapat terbentuk pada berbagai macam posisi tektonik.

Maksud dan Tujuan

Maksud penelitian adalah mendapatkan data geologi terutama geokimia batuan basal yang relatif banyak tersebar di kedua fisiografi tersebut. Tujuan penelitian untuk mengetahui petrogenesis basal yang ada di daerah Ponjen (Fisiografi Serayu Utara) dan Kalisoka (Fisiografi Serayu Selatan). Dengan diketahuinya

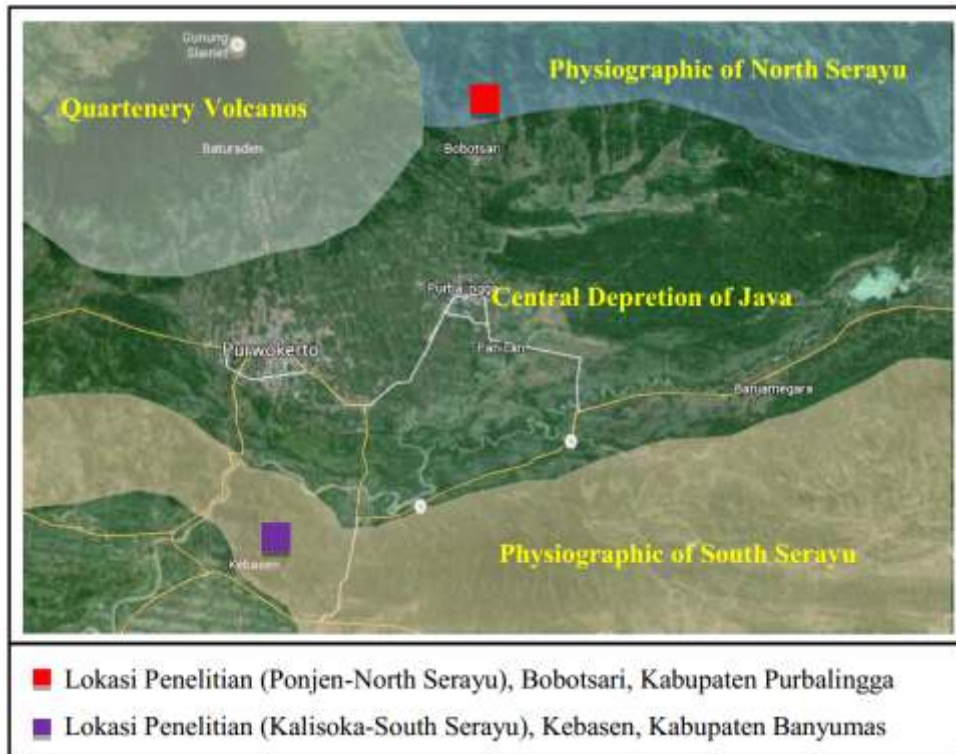
petrogenesis basal di daerah Ponjen dan Kalisoka, maka dapat ditentukan secara pasti kelompok batuanannya, tatanan tektonik dan proses pembentukannya sehingga dapat dijadikan acuan dalam mempelajari evolusi tektonik Pulau Jawa secara keseluruhan, khususnya Pulau Jawa bagian tengah.

Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

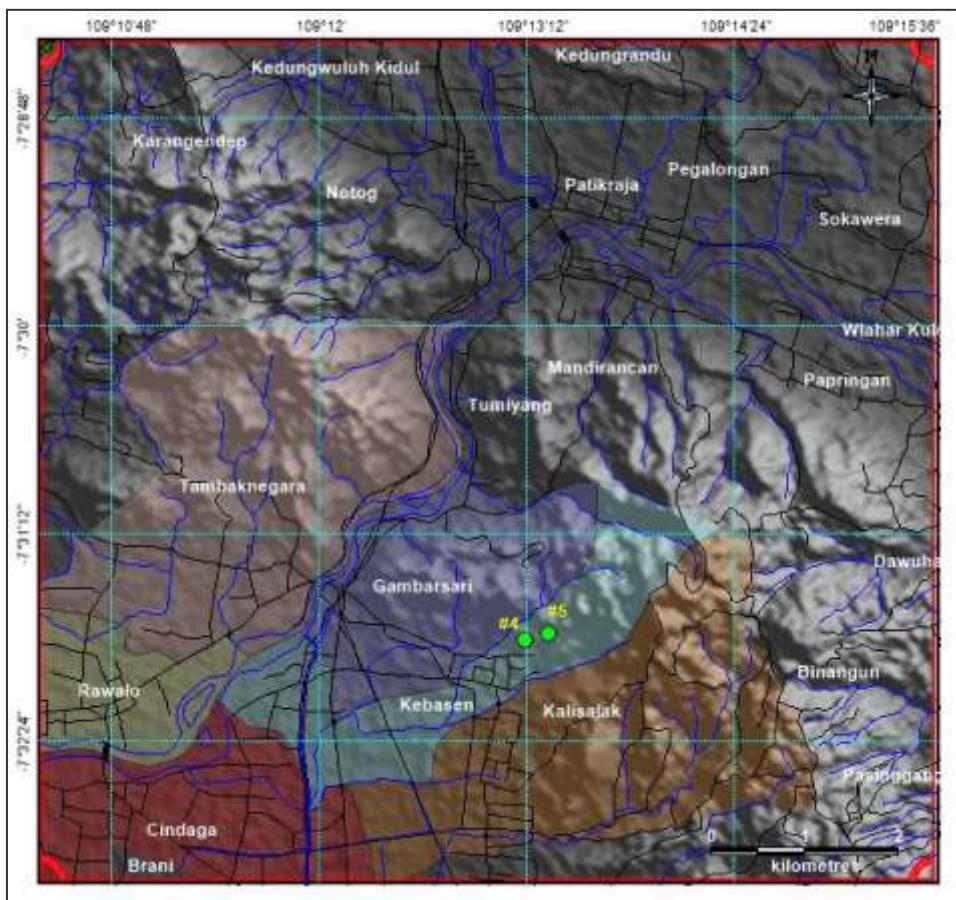
Daerah penelitian berada di dua tempat yang relatif berjauhan yaitu yang pertama di daerah Ponjen, Purbalingga (Fisiografi Serayu Utara - *North Serayu*) dan daerah Kalisoka, Banyumas (Fisiografi Serayu Selatan - *South Serayu*), keduanya masuk ke dalam wilayah administratif Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1).

METODE PENELITIAN

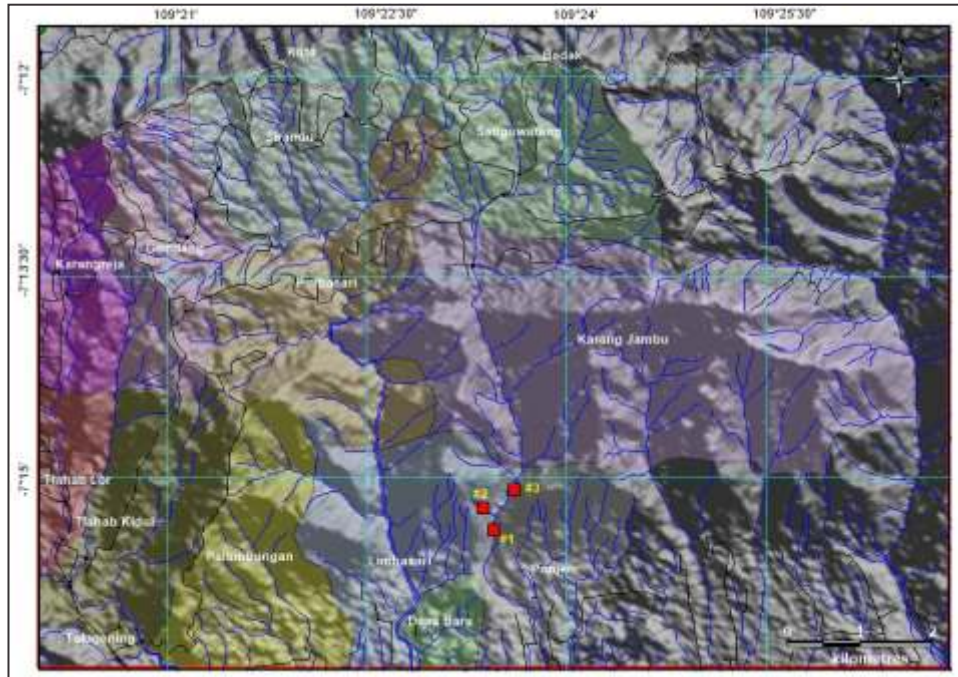
Metode penelitian yang digunakan adalah pengkajian data sekunder yang berhubungan dengan lokasi dan tema yang dibahas, mengenai data penelitian geologi terdahulu serta data pembandingan hasil analisa geokimia. Kegiatan lapangan berupa pengambilan sampel yang representatif dengan sistem *random sampling* pada singkapan lava basal di kedua lokasi tersebut (Gambar 2 dan 3). Pengambilan sampel singkapan sebanyak 5 (lima) sampel untuk analisis geokimia dan hanya 2 (dua) sampel yang dilakukan analisis petrografi. Pertimbangan biaya riset yang sangat terbatas adalah alasan kenapa hanya 5 (lima) sampel yang dianalisis geokimia. Pengambilan sampel singkapan lava basal dilakukan secara selektif pada bagian yang relatif masih segar. Sampel batuan dipisahkan berdasarkan karakteristik fisik yang meliputi warna, tekstur dan struktur batuan. Sampel batuan tersebut kemudian dianalisis petrografi untuk menentukan jenis mineral penyusun batuan dan dilakukan analisis geokimia yang meliputi geokimia unsur utama (*major element*) dan unsur jejak (*trace element*) serta REE (*rare earth element*) di laboratorium Intertek (Jakarta). Analisis unsur utama menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), sedangkan analisis unsur jejak dan REE menggunakan *Inductive Couple Plasma Emission Mass Spectrometry* (ICP-MS). Pemrosesan data geokimia menggunakan pendekatan multi diagram dan terdapat beberapa grafik diskriminasi model diagram yang dimodifikasi oleh penulis. Hasil output multi diagram dan petrografi dikombinasikan untuk mengetahui petrogenesis batuanannya secara tepat.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di dua lokasi yaitu 1.) Ponjen, Bobotsari, Kabupaten Purbalingga, 2.) Kalisoka, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel lokasi Kalisoka, Kebasen, Jawa Tengah.



Gambar 3. Lokasi Pengambilan Sampel di daerah Ponjen, Bobotsari, Jawa Tengah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Petrologi lava basal daerah penelitian

Lava basal daerah Kalisoka (Serayu Selatan)

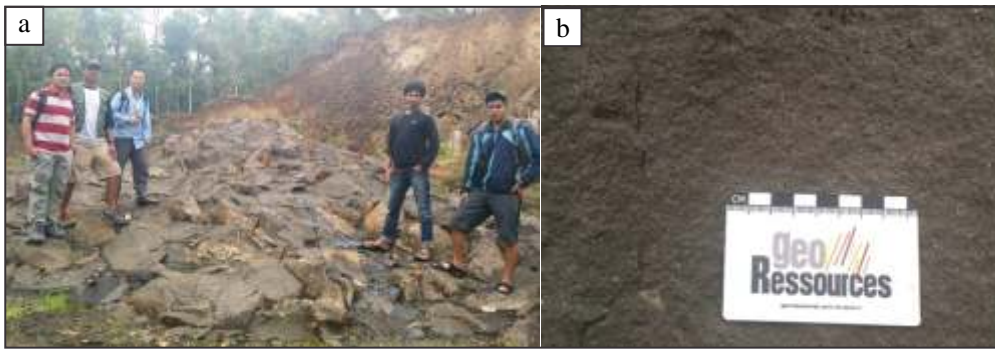
Berwarna abu-abu gelap, struktur kekar kolom, terdapat lubang vesikuler yang terisi oleh zeolit. Secara mikroskopis memperlihatkan tekstur intersertal, hipokristalin, yang komposisi mineralnya terdiri atas plagioklas jenis labradorit (piroksen, dan mineral-mineral sekunder zeolit yang tertanam dalam massa dasar mikrolit plagioklas (Gambar 4 & 5). Tekstur khusus pada mineral plagioklas berupa *sieve*, dan *zoning*.

Lava trakitik basal daerah Ponjen (Serayu Utara)

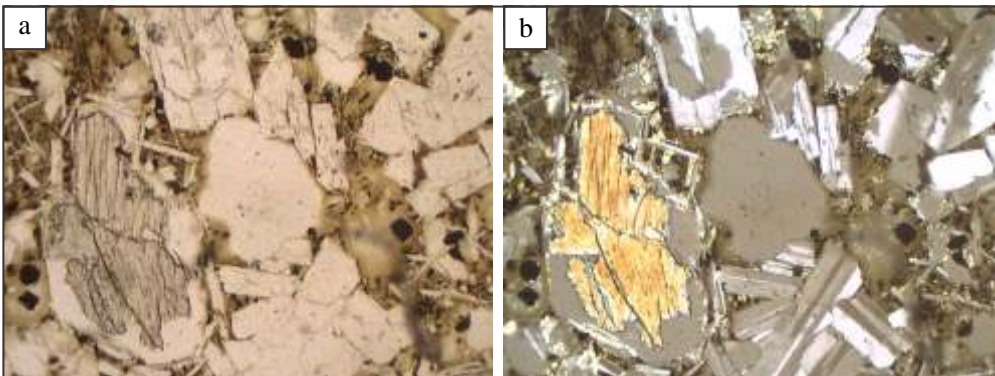
Berwarna abu-abu gelap, struktur relatif masif dan sebagian membulat, pada permukaan dibungkus oleh lapisan gelas (*glassy rim*), karakteristik lain yang ditunjukkan oleh lava ini, yaitu dijumpai peperit yang terjebak diantara bodi lava basal itu sendiri (Gambar 6). Secara mikroskopis sampel tersebut bertekstur porfiro-afanitik, fenokris plagioklas (*labradorite*), serta leusit yang tertanam dalam massa dasar berupa mikrolit plagioklas dan piroksen yang mengisi vesikuler serta gelas, hadir mineral sekunder seperti zeolit, karbonat. tekstur lain yang dijumpai pada sayatan ini berupa *intersertal*, *sieve* dan *zoning* pada fenokris plagioklas (Gambar 7).

Secara petrografi evolusi plagioklas pada sampel basal Ponjen dan Kalisoka menunjukkan nilai An 60-70, dengan jenis plagioklas berupa labradorit, hal tersebut didukung hasil *ploting* secara *normative mineralogy* (C.I.P.W; Cross, Iddings, Pirsson and Washington, 1902) pada grafik *Ternary System of Alkali-feldspar Series* (after Deer *et al.*, 1963) pada *Ternary Diagram An-Or-Ab*, (*in mineralogy*, %) pada Gambar 8 memperlihatkan jenis plagioklas labradorit. Hasil petrologi tidak teramati adanya kemunculan K-feldspar dan quartz, hal ini menunjukkan bahwa batuan basal Ponjen-Kalisoka belum mengalami terfraksinasi.

Kehadiran mineral *foid* berupa mineral leusit yang bersamaan dengan plagioklas (labradorit) pada hasil analisis petrografi sampel trakitik basal yang muncul pada sisipan batuan basal di zona Ponjen-Kalisoka menjadi sangat menarik, dimana kehadiran leusit sendiri secara umum berasosiasi dengan batuan mafik maupun ultramafik yang kaya akan potasium dan juga sering berasosiasi dengan mineral potasium feldspar dan nefelin (Antony *et al.*, 1995). Dalam hal ini dapat diinterpretasikan bahwa kehadiran leusit (*undersaturated mineral*) dan labradorit (*oversaturated mineral*) yang bersamaan pada sampel trakitik basal tersebut mengindikasikan adanya kontaminasi /interaksi antara lava basal Ponjen-Kalisoka dengan magma mantel yang kaya akan potasium (Gambar 7; *microphotograph*).



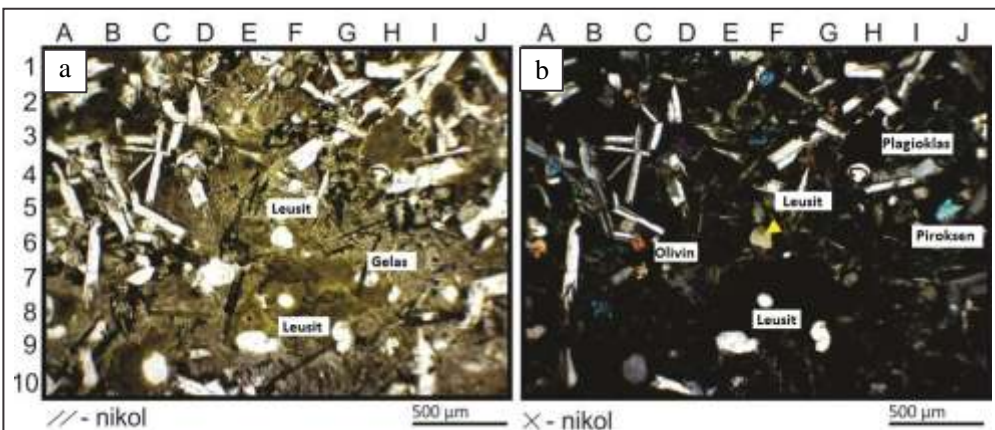
Gambar 4. a) Singkapan lava basal dari daerah Kalisoka, Fisografi Serayu Selatan. b) Megaskopis lava basal yang memperlihatkan lubang vesikuler.



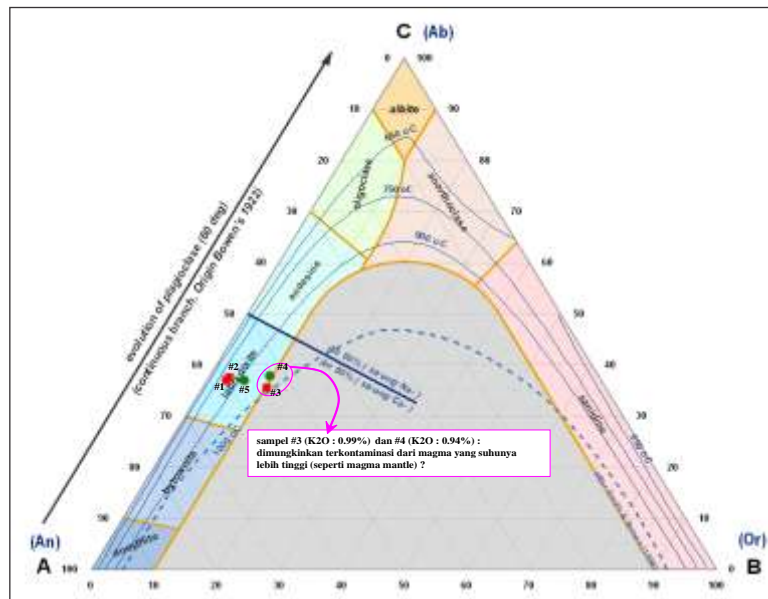
Gambar 5. *Microphotograph* sampel lava basal dari daerah Kalisoka, Fisografi Serayu Utara, a) nikol sejajar, b) nikol silang.



Gambar 6. a) Singkapan lava basal dari daerah Ponjen, Fisografi Serayu Utara, b) Megaskopis lava basal yang memperlihatkan vesikuler, tekstur afanitik dengan kehadiran *boulder peperit*.



Gambar 7. a) *Microphotograph* sampel lava basal dari daerah Ponjen, Fisografi Serayu Utara, a) nikol sejajar. b) nikol silang.



Gambar 8. Grafik Ternary System of Alkali-feldspar Series (after Deer et al., 1963) pada Ternary Diagram An-Or-Ab, (in mineralogy, %), yang memperlihatkan evolusi plagioklas pada level labradorit.

Geokimia Batuan

Data geokimia batuan dikelompokkan berdasarkan kelimpahan dalam hasil analisis, yang terbagi menjadi 2 (dua), yaitu unsur utama (*major element*) dan unsur jejak (*trace element*), sedangkan hasil analisis geokimia sampel basalt seperti terlihat pada Tabel 1.

Unsur utama (*major element*)

Selain digunakan untuk klasifikasi batuan beku, pemanfaatan data unsur utama juga untuk membedakan tingkat alkalinitas batuan. Tingkat alkalinitas pada daerah penelitian menggunakan diagram *Alkalinity Index* (after Wright, 1969; dimodifikasi dalam artikel ini), “*non logarithmic plots : AR vs SiO₂ (in wt %)*” serta

Tabel 1. Analisis geokimia unsur utama lava basalt dari daerah penelitian (wt %).

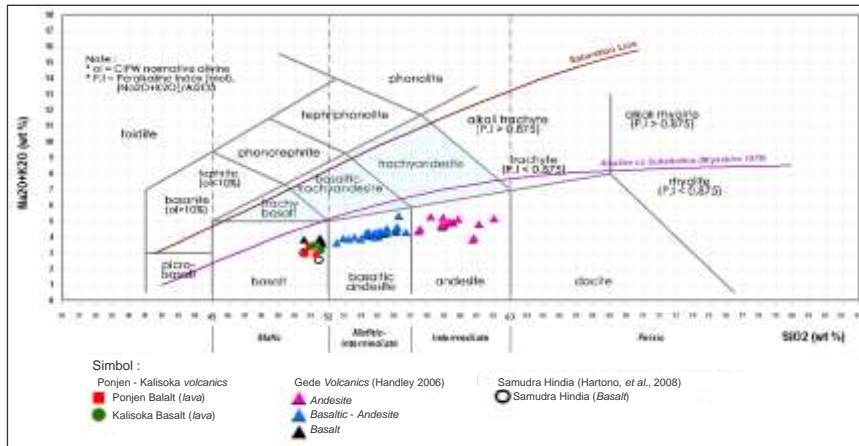
Unsur	Code# Rock types				
	#1 Ponjen Basalt	#2 Ponjen Basalt	#3 Ponjen Basalt	#4 Kalisoka Basalt	#5 Kalisoka Basalt
SiO ₂	51,29	50,62	50,88	51,14	51,59
TiO ₂	1,06	1,05	1,09	1,03	0,97
Al ₂ O ₃	17,69	17,57	16,31	16,19	17,35
Fe ₂ O ₃ (t)	10,02	10,24	11,71	10,99	10,19
FeO					
MnO	0,13	0,13	0,15	0,15	0,16
MgO	4,44	4,53	5,13	5,51	4,06
CaO	10,63	10,61	10,10	10,14	10,56
Na ₂ O	2,61	2,64	2,40	2,56	2,60
K ₂ O	0,31	0,33	0,99	0,94	0,60
P ₂ O ₅	0,21	0,21	0,22	0,18	0,16
LOI	1,70	1,60	0,90	0,80	1,30
Total	100,09	99,54	99,90	99,67	99,57
Na ₂ O+K ₂ O	2,92	2,97	3,39	3,50	3,20

ternary diagram AFM calc-alkaline vs tholeiitic (Irvine and Baragar, 1971).

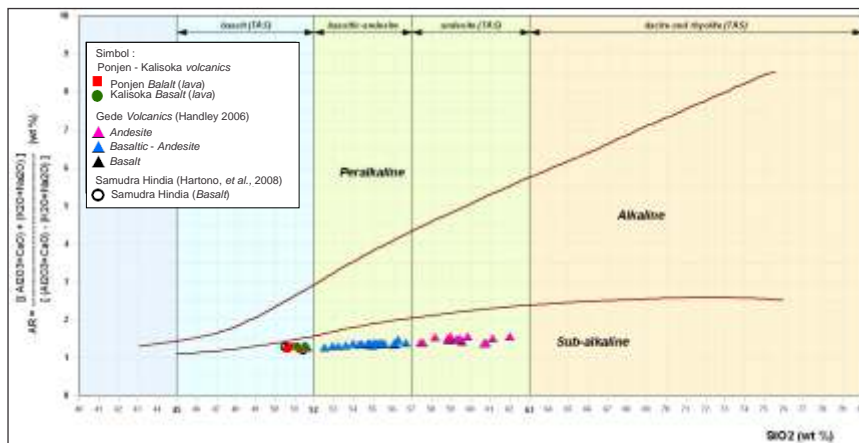
Klasifikasi batuan beku (lava basalt) daerah penelitian berdasarkan plotting sampel pada diagram TAS (after Le Bas et al., 1986) memperlihatkan bahwa sampel lava basalt dari Ponjen dan Kalisoka merupakan batuan beku vulkanik tipe basalt *Sub-alkaline* yang bisa berupa *calc-alkaline* “or” *tholeiitic* (Gambar 9).

Dari hasil plotting berdasarkan diagram *Alkalinity Index* (after Wright, 1969) “*non logarithmic plots : AR vs SiO₂ (in wt %)*”, sampel basalt Ponjen-Kalisoka memperlihatkan kesamaan tingkat alkalinitas, yaitu sama-sama termasuk ke dalam basalt dengan tingkat alkalinitas *sub-alkaline* (Gambar 10) yang mungkin berupa *calc-alkaline* maupun *tholeiitic*, penulis melakukan modifikasi pada grafik diskriminan menjadi *non logarithmic diagram* ini dimaksudkan agar lebih memudahkan dalam pembacaan dan pengeplotan. Berdasarkan hasil plotting pada ternary diagram AFM *calc-alkaline vs tholeiitic* (Irvine and Baragar, 1971), maka sampel batuan basalt daerah Ponjen dan Kalisoka termasuk ke dalam magma tholeititik (Gambar 11), konsisten dengan pendapat dari Hartono et al., 2008 untuk dua sampel basalt dari Bobotsari.

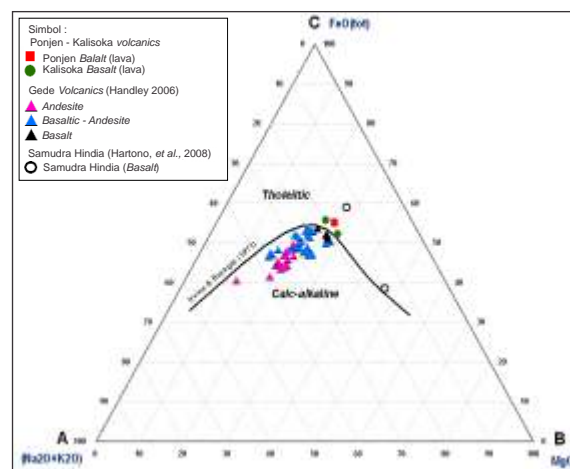
Untuk mengantisipasi (*mengcounter*) dalam penginterpretasian antara magma seri *tholeiitic* dan *calc-alkaline* maka dalam hal ini diperlukan data *trace element* untuk mendukung kesinkronan ataupun mungkin terdapat ketidaksinkronan tersebut.



Gambar 9. Grafik klasifikasi batuan beku berdasarkan TAS Diagram (SiO_2 vs $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, dalam % berat) (after LeBas et al., 1986; IUGS, 1989). Plot 5 sampel lava basal daerah Ponjen-Kalisoka, batuan vulkanik Gede (Jawa Barat) dan 2 basal dari gunung api bawah laut Samudra Hindia. Hasil plot dimana semua sampel menunjukkan magmatik alkaline series berupa sub-alkaline. Sub-alkaline pada TAS diagram bisa merupakan calc-alkaline dan/atau tholeiitic.



Gambar 10. Diagram Alkalinity Index (after Wright, 1969, dimodifikasi didalam paper ini), Non Logarithmic plots : AR vs SiO_2 (in wt %). Plot sampel lava basal daerah Ponjen-Kalisoka, batuan vulkanik Gede (Jawa Barat; Handley, 2006) dan batuan basal dari gunung api bawah laut Samudra Hindia (Hartono et al., 2008) semua menunjukkan magmatic alkalinity series berupa sub-alkaline. Sub-alkaline pada diagram after Wright, 1969 bisa merupakan calc-alkaline dan/atau tholeiitic.



Gambar 11. Klasifikasi tingkat alkalinitas batuan berdasarkan diagram AFM calc-alkaline vs tholeiitic (Irvine and Baragar, 1971). $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, MgO dan FeO (tot) dalam wt%. Pada diagram terlihat lava basal Ponjen-Kalisoka dan basal Samudra Hindia diklasifikasikan sebagai batuan tholeiitic, sedangkan batuan vulkanik Gede (Jawa Barat; basalt -- andesite) berupa batuan calc-alkaline.

Plotting trace element (Th/Yb) di dalam diagram Gambar 16a dan 16b (Maclean & Barrett, 1999; di dalam diagram after Pearce, 1983 dan after Pearce, 2008) menunjukkan magma basal Ponjen-Kalisoka berupa magma *calc-alkaline series*, sedangkan *plotting* pada Gambar 14 (Maclean & Barrett, 1999; didalam diagram Hollocher *et al.*, 2012a) dengan menggunakan rasio *trace element* (La/Yb) diinterpretasikan sebagai magma transitional. Terdapat ketidaksinkronan dalam interpretasi *tholeiitic* dan *calc-alkaline* dengan menggunakan parameter *major oxide* (*ternary* Irvine & Baragar, 1971) dan menggunakan rasio *trace element* Th/Yb dan La/Yb (Maclean & Barrett, 1999). Untuk mempelajari lebih jauh faktor apa yang menyebabkan ketidaksinkronan tersebut, maka perlu dilibatkan model diskriminan diagram lainnya, terutama model yang menggunakan *incompatible trace element* seperti Nb-Ta dan/atau Zr-Hf. Pada bagian "Unsur jejak (*trace element*)-REE" akan dibahas lebih jauh tentang hal ini. Berdasarkan klasifikasi batuan beku *multicationic plots* (Debon and Le Font, 1983), lava basal daerah Ponjen (Serayu Utara) maupun lava basal Kalisoka (Serayu Selatan) merupakan lava basal yang mengalami transisi menuju *quartz* andesit karena mengalami sedikit kejenuhan silika ($Free\ Quartz = 67.3$ sedikit diatas ambang batas 60; Gambar 12), hal ini menunjukkan bahwa magma basal Ponjen-Kalisoka adalah magma yang terbentuk dari sebuah *partial melting* dari *mafic magma* dan mengalami diferensiasi ringan sehingga terjadi peningkatan kandungan *silica* dalam skala kecil (masih dalam *range mafic oxide* $SiO_2 < 52\%$). Pada Tabel 2 terlihat bahwa rasio Rb/Sr relatif sangat kecil (sebesar : 0.0090 - 0.0610) berada di bawah ambang batas 0.35, rasio angka ini menunjukkan bahwa magma Ponjen-Kalisoka belum mengalami fraksinasi (Arth, 1976; Gambar 17). Hasil plotting pada Gambar 8 (*Ternary An-Or-Ab*; after Deer *et al.*, 1963) yang jatuhnya di *labradorite plagioclase* juga menunjukkan bahwa masih belum terjadi fraksinasi dari level *labradorite* (An 70-50) menjadi andesine (An 50-30) dan hasil petrologi yang juga menunjukkan bahwa *labradorite plagioclase* belum terfraksinasi menjadi mineral yang baru yang berupa K-feldspar.

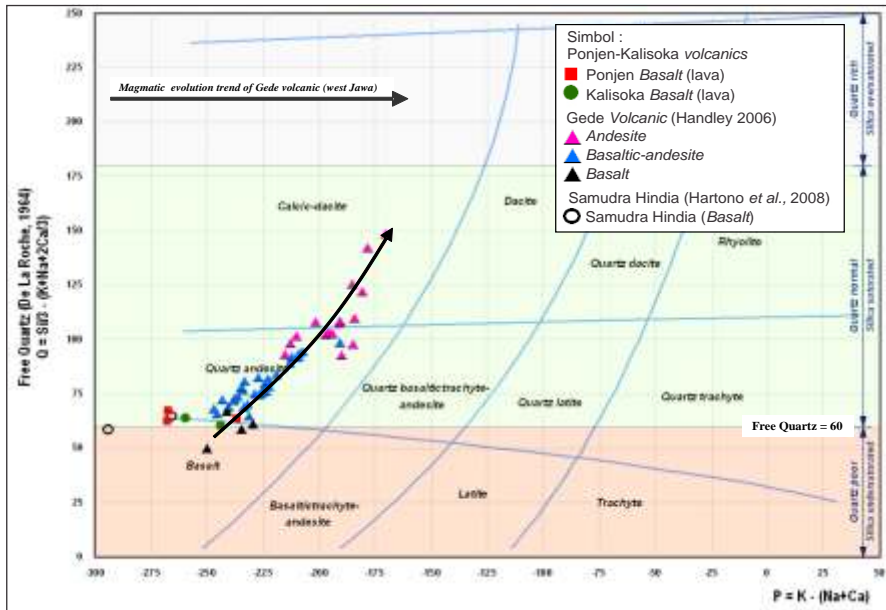
Klasifikasi batuan beku pada diagram Gambar 13 (Paccerrillo and Taylor, 1976) menampilkan dua sampel dengan nilai K (*Pottash*) yang relatif tinggi {sampel #3 dan #4; tergolong ke dalam *medium-K calc-alkaline series*} dibanding dengan sampel #1, #2 dan #5 (tergolong kedalam *low-K tholeiitic series*). Hasil *overlaying* Gambar 8 (after Deer *et al.*, 1963) dan Gambar 13 (Paccerrillo and Taylor, 1976) dimana kedua sampel #3 dan #4 terlihat konsisten terpisah dari sampel #1, #2 dan #5, hal ini kemungkinan karena adanya interaksi/kontaminasi dengan magma yang suhunya jauh lebih tinggi seperti *magma mantle* (yang mengandung *leucite*) atau memang terdapat dua jenis magmatik *series* ?

Tabel 2. Analisis *Trace element* lava basal dari daerah penelitian

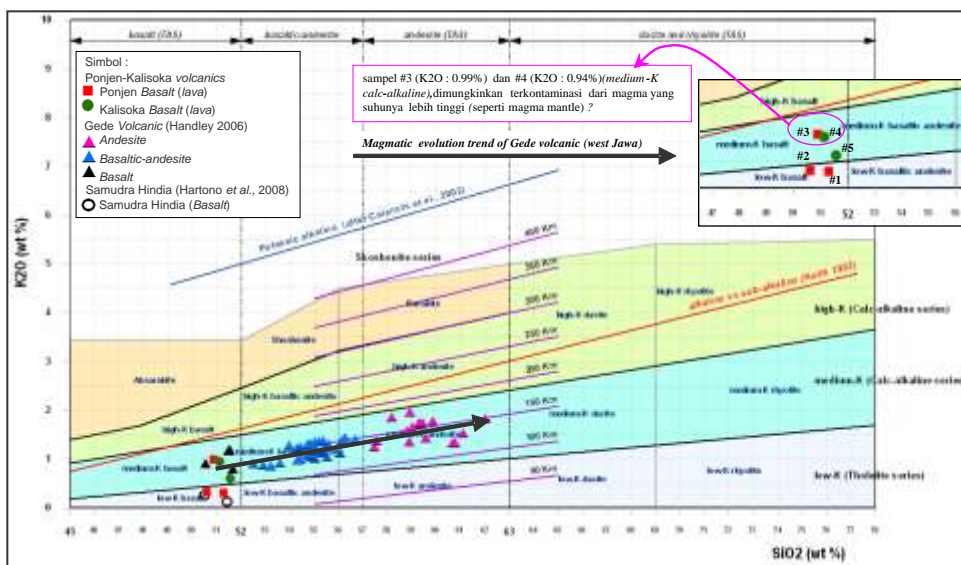
Unsur	Code#, Rock types				
	#1	#2	#3	#4	#5
	Ponjen Basal	Ponjen Basal	Ponjen Basal	Kalisoka Basal	Kalisoka Basal
Cr	49,0	46,0	27,0	84,0	24,0
Cu	198,0	191,0	200,0	190,0	169,0
Ni	35,0	35,0	24,0	48,0	22,0
P	830,0	820,0	890,0	740,0	620,0
S	130,0	220,0	220,0	170,0	620,0
Sc	26,0	26,0	31,0	32,0	30,0
V	310,0	302,0	341,0	320,0	340,0
Zn	83,0	81,0	96,0	84,0	86,0
As	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0
Ba	193,0	186,0	264,0	204,0	160,0
Co	27,0	25,0	29,0	30,0	28,0
Ga	20,2	19,3	19,6	18,7	19,8
Ge	1,5	1,4	1,5	1,7	1,8
Li	6,3	5,9	6,1	6,5	5,1
Mo	0,6	0,6	0,9	0,7	0,6
Pb	12,0	11,0	10,0	5,0	6,0
Rb	3,30	2,70	10,30	13,90	11,60
Cs	2,00	1,30	0,40	0,40	1,90
Sr	320,0	299,0	277,0	228,0	265,0
Sb	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
Sn	2,1	2,2	1,8	1,8	1,9
W	2,2	0,6	1,3	1,8	1,1
Nb	4,60	3,40	3,50	2,90	2,40
Ta	1,98	1,47	1,07	0,93	0,70
Th	2,46	2,29	2,66	2,08	1,64
U	0,6	0,56	0,66	0,43	0,45
Zr	71,60	75,60	74,20	61,00	52,30
Hf	2,10	2,00	2,30	1,80	1,60
La	8,20	7,90	9,20	7,20	5,90
Ce	17,70	17,10	20,00	15,70	13,00
Pr	2,30	2,23	2,59	2,13	1,75
Nd	11,40	10,90	12,70	10,60	9,20
Sm	3,10	3,00	3,40	3,00	2,60
Eu	0,90	0,90	1,00	0,90	0,80
Gd	3,70	3,60	4,30	3,50	3,30
Tb	0,56	0,55	0,62	0,56	0,52
Dy	3,70	3,60	4,10	3,70	3,40
Ho	0,70	0,70	0,80	0,70	0,60
Er	2,10	2,00	2,40	2,10	2,00
Tm	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Yb	1,90	1,80	2,20	2,00	1,80
Lu	0,31	0,29	0,35	0,30	0,28
Y	19,80	19,50	22,70	19,80	18,40
TRE (15 element)	76,7	74,4	86,7	72,5	63,9
TREO	86,4	83,9	97,7	81,8	72,1
TRExOy	92,4	89,7	104,5	87,4	77,0
TRE2O3	91,3	88,6	103,3	86,4	76,2
dEu	0,81	0,84	0,80	0,85	0,83
dCe	0,99	0,99	0,99	0,97	0,98

* Nilai *Free quartz* (Q) adalah hitungan dari *multicationic* { $Q = Si/3 - (K+Na+2Ca/3)$ }

* Nilai *Free quartz* (Q) pada 2 sampel basal gunung api bawah laut Sumatra Hindia yaitu : 58,45 dan 64,58 (Hartono *et al.*, 2008)



Gambar 12. Diagram klasifikasi batuan beku *multicationic plots* (Debon and Le Font, 1983). Pada diagram terlihat lava basal Ponjen-Kalisoka dan basal Samudra Hindia sedikit mengalami diferensiasi magma (dengan nilai *free quartz* tertinggi pada Tabel 2 masing-masing 67,36 dan 64,58) sedikit diatas ambang batas 60.



Gambar 13. Klasifikasi batuan beku untuk *orogenic zone*, (SiO₂ vs K₂O wt%), Paccerrillo and Taylor, 1976 with *Benioff zone* after Hatherton and Dickinson, 1969 (dimodifikasi Fadlin & Godang, 2015 di dalam paper Godang et al., 2016). Pada diagram terlihat bahwa lava basal Ponjen-Kalisoka terdiri atas dua magma series (*medium-K calc-alkaline* dan *low-K (Tholeiitic series)*) dan 2 sampel basal Samudra Hindia menunjukkan *low-K (Tholeiitic series)*, sedangkan batuan vulkanik Gede (*basalt -- andesite*) menunjukkan magma *medium-K calc-alkaline*.

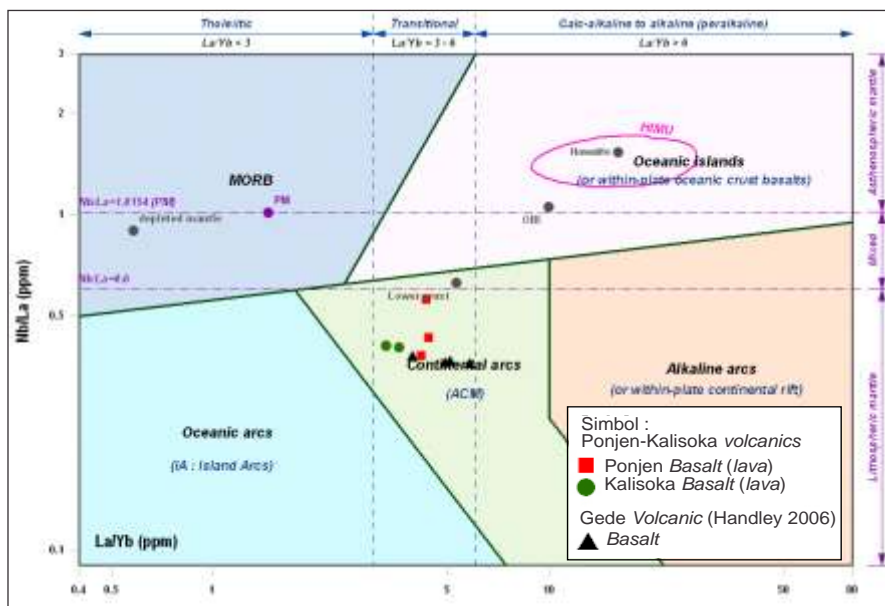
Unsur jejak (trace element)-REE

Unsur jejak dan unsur tanah jarang (REE) sangat berguna dalam studi evolusi batuan, terutama unsur-unsur seperti La, Yb, Y, Th, Nb-Ta, Zr-Hf yang sering dipakai dalam diskriminasi tatanan tektonik pada batuan *basalt/basaltic*. Adapun hasil analisis kimia unsur jejak dan tanah jarang dari sampel lava basal daerah Ponjen dan Kalisoka dapat dilihat pada Tabel 2.

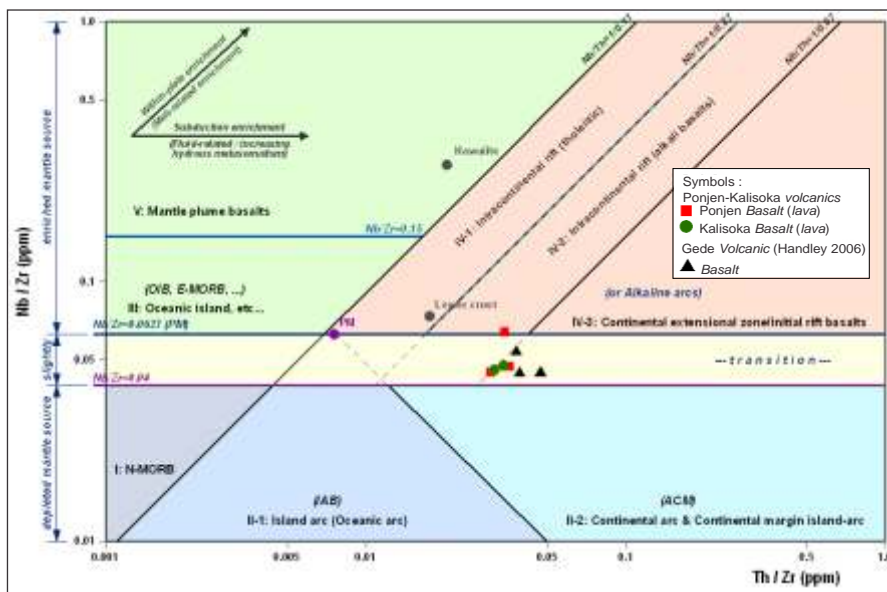
Plotting basal Ponjen-Kalisoka dan basal vulkanik gunung Gede (Jawa Barat; Handley, 2006; sebagai pembanding) pada diagram yang menggunakan *incompatible trace element* Nb pada Gambar 14, 15a dan 16a (diagram Hollocher et al., 2012a; diagram after Sun et al., 2006 dan after Pearce, 2008), ketiga diagram tersebut menunjukkan tektonik setting berupa *Active Continental Margin (ACM)*.

Sedangkan jika menggunakan *incompatible trace element* Ta pada Gambar 15b dan 16b (diagram after Wang *et al.*, 2001 dan diagram after Pearce, 1983), dimana basal vulkanik gunung Gede menunjukkan tektonik *setting* berupa *Active Continental Margin* (ACM) sebagai produk dari konvergensi lempeng Samudera/*Oceanic crust* (Hindia-Australia) dengan *microcontinent* (*Sunda arc*), sedangkan basal Ponjen-Kalisoka menunjukkan tektonik *setting* yang sangat

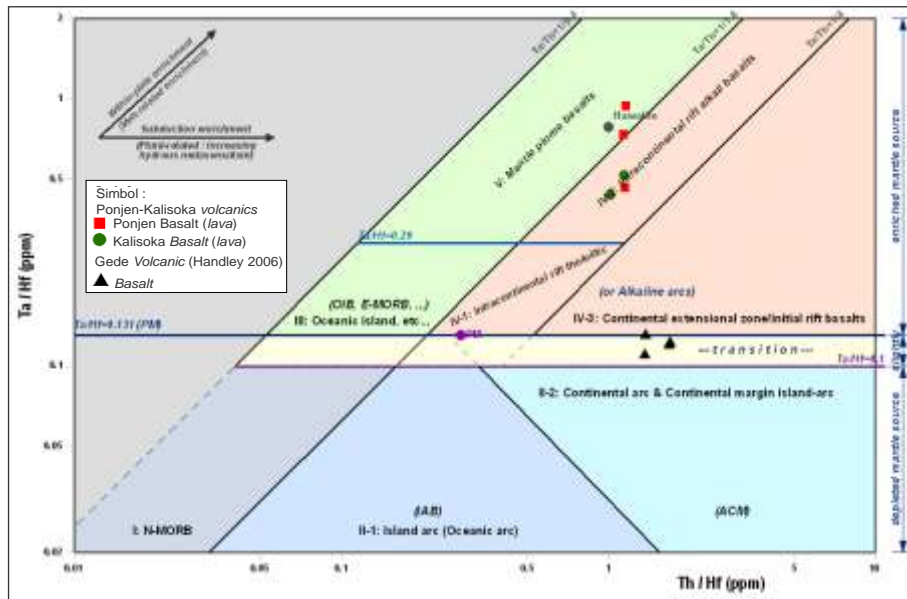
berbeda yaitu berupa *magma mantle*. Terdapat ketidaksinkronan yang sangat mencolok antara Gambar 15a dan 16a dengan Gambar 15b dan 16b, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa adanya interaksi/kontaminasi antara basal Ponjen-Kalisoka (sebagai yang terkontaminasi) dengan *magma mantle* (sebagai kontaminan). Penggabungan metode interpretasi tersebut di atas mengacu pada Godang *et al.*, (2016).



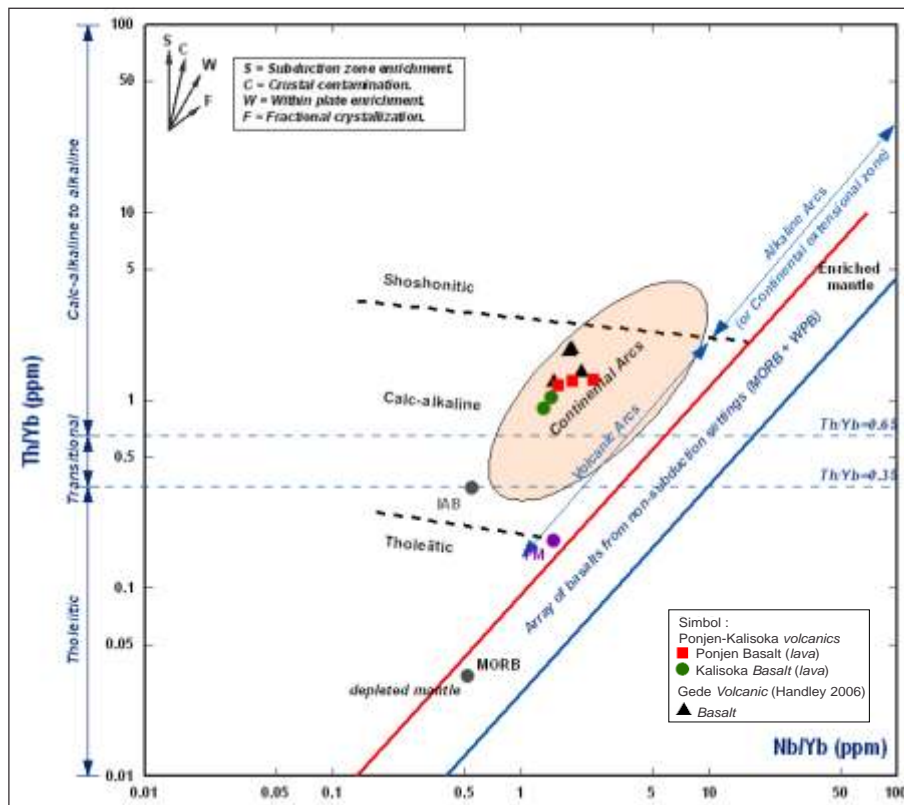
Gambar 14. Diagram Hollocher *et al.*, 2012a menunjukkan bahwa lava basal Ponjen-Kalisoka dan basal Gede *Volcanic Complex* (Jawa Barat) terbentuk dari tatanan tektonik ACM (*Continental Arc*). *Magmatic Affinity* : rasio La/Yb (MacLean & Barrett, 1999). Rasio Nb/La dari Abdel-Rahman, 2002.



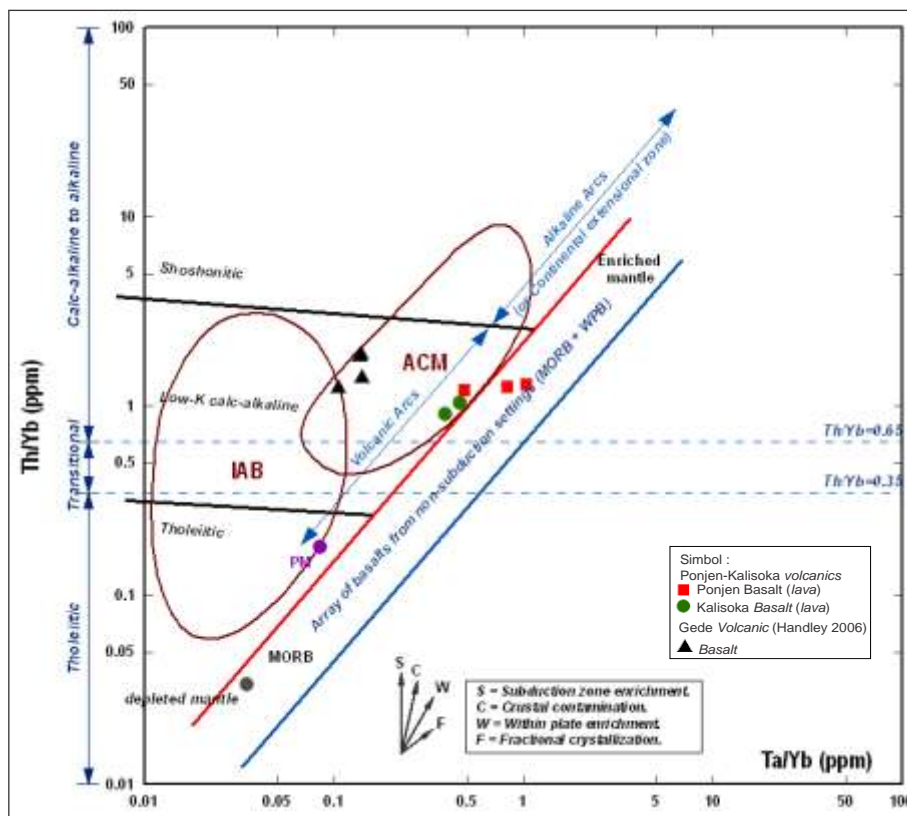
Gambar 15a. Diagram klasifikasi tektonik after Sun *et al.*, 2006 (*modified from* Godang *et al.*, 2016). Sampel lava basal Ponjen-Kalisoka dan sampel basal vulkanik Gede (Jawa Barat) menunjukkan tatanan tektonik ACM yang mengalami pengkayaan ringan.



Gambar 15b. Diagram klasifikasi tektonik *after* Wang *et al.*, 2001 (modifikasi dari Godang *et al.*, 2016). Sampel lava basal Ponjen-Kalisoka menunjukkan tatanan tektonik yang berupa produk dari *mantle* (*mantle plume and intracontinental rift*) sedangkan sampel basal vulkanik Gede menunjukkan tatanan tektonik ACM yang mengalami pengkayaan ringan.



Gambar 16a. Discriminant for mantle melting array vs Arc basal (*after* Pearce, 2008), Magma Affinity : rasio Th/Yb (Maclean & Barrett, 1999). Pada diagram menunjukkan basal Ponjen-Kalisoka maupun basal vulkanik Gede merupakan produk dari tatanan tektonik ACM.



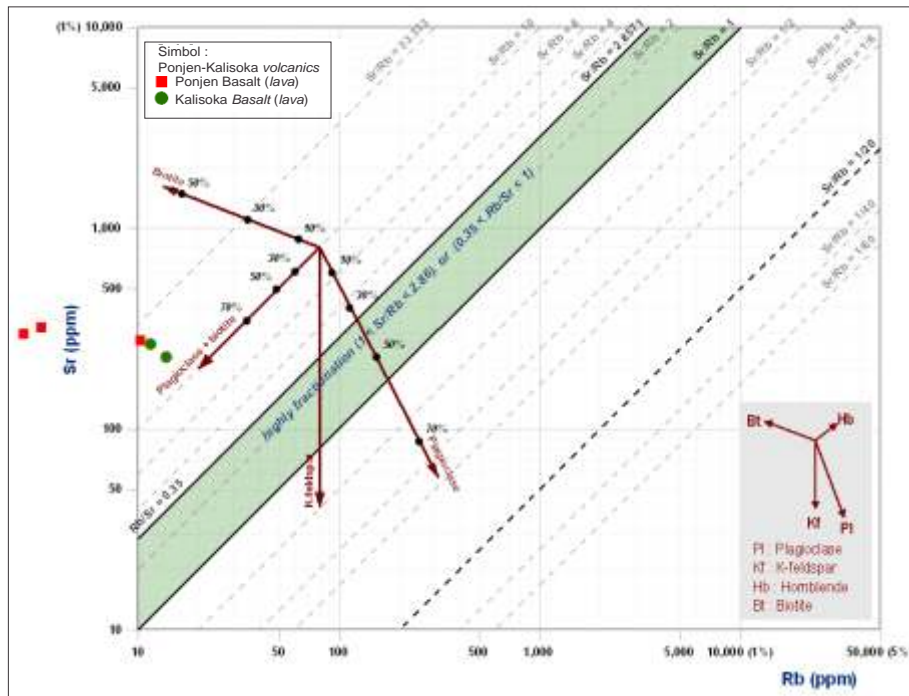
Gambar 16b. Discriminant for mantle melting array vs Arc basalt (after Pearce, 1983), *Magma Affinity* : rasio Th/Yb (Maclean & Barrett, 1999). Pada diagram menunjukkan basal Ponjen-Kalisoka terbentuk dari tatanan tektonik ACM dan *mantle* (*non-subduction*), sedangkan basal vulkanik Gede merupakan produk dari tatanan tektonik ACM.

Ketidaksinkronan dalam interpretasi magma series pada pembahasan “Unsur utama (*major element*)” dengan penggunaan *major oxide* dan pemakaian *trace element* (rasio La/Yb dan Th/Yb; Maclean & Barrett, 1999) mungkin dikarenakan adanya kontaminasi dengan magma lain (*magma mantle* yang lebih *alkaline*) sehingga konsentrasi *trace element* pada lava basal Ponjen-Kalisoka menjadi lebih ke fase transisi ataupun *calc-alkaline*.

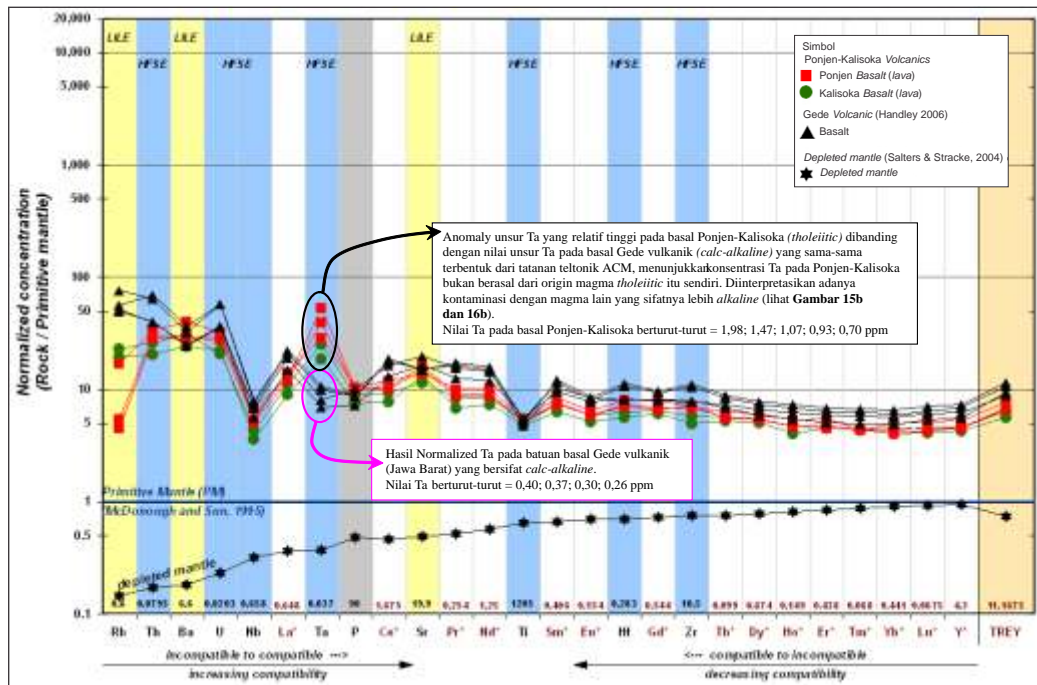
Mempertimbangkan posisi Palung Jawa (Java trench) yang letaknya jauh di selatan dari zona *subduction* antara *oceanic crust* (Samudra Hindia) dengan *continental Sunda arc* dan mengacu pada keberadaan gunung api bawah laut Samudra Hindia yang berupa *front arc volcanism* (Hartono *et al.*, 2008) serta kemunculan *magma mantle* (yang dimungkinkan berupa *continental rifting*) yang pada umumnya muncul pada zona *back arc*, maka vulkanisme zona Ponjen-Kalisoka diinterpretasikan sebagai magmatisme fase transisi (*back arc volcanism*) dari *southern volcanism* (bersifat *tholeiitic*) menuju *northern part volcanism* yang bersifat *calc-alkaline* seperti Ungaran vulkanik yang bersifat *potassic calc-alkaline* (Bellon *et al.*, 1989).

Diagram laba-laba *multi trace element* dan unsur tanah jarang (REE)

Diagram laba-laba (*spidergram*) menyajikan data berbagai unsur *incompatible* dan *compatible* yang dibandingkan dengan kondisi kimia magma asal (*primitive mantle*). Setiap tatanan tektonik memiliki pola dari kelimpahan (*enrichment*) dan pengurangan (*depleted*) unsur. Diagram laba-laba menunjukkan adanya *enrichment anomaly* pada unsur Ta (Tantalum; Ta = 0,70 – 1,98 ppm) yang cukup signifikan pada basal Ponjen-Kalisoka yang bersifat *tholeiitic* (Gambar 18) dibanding dengan nilai Ta dari basal Gede vulkanik (Jawa Barat; Ta = 0,26 – 0,40 ppm; Handley, 2006) yang bersifat *calc-alkaline* yang sama sama terbentuk dari tatanan tektonik ACM. *Enrichment anomaly* Ta pada spidergram ini mendukung hasil interpretasi dari Gambar 15b (after Wang *et al.*, 2001) dan Gambar 16b (after Pearce, 1983) yang menggunakan parameter unsur Ta dalam penentuan tektonik *setting*, yaitu kedua diagram tersebut menunjukkan tektonik *setting* berupa *magma mantle* yang sifatnya lebih *alkaline*.



Gambar 17. Fractional evolution of the plagioclase and alkali feldspar diagram (after Arth, 1976). Hasil plotting basal Ponjen-Kalisoka berada pada zona rasio Rb/Sr < 0,1 (jauh dibawah batas 0,35) menunjukkan bahwa magma basal Ponjen-Kalisoka adalah magma yang belum mengalami fraksinasi.



Gambar 18. Plotting Normalized to Primitive Mantle Diagram (modifikasi dari Godang et al., 2016) untuk sampel lava basal Ponjen-Kalisoka dan basal Gede vulkanik (Jawa Barat). Pada diagram terlihat semua nilai *normalized* HFSE, REE dan TREY basal vulkanik Gede (*calc-alkaline*) secara normal relatif lebih tinggi dibanding basal Ponjen-Kalisoka (*tholeiitic*) kecuali unsur Ta (Tantalum). Nilai *Primitive Mantle* (PM) diambil dari Mc Donough and Sun, 1995 (Rb = 0.6; Th = 0.0795; --- Y = 4.3; TREY = 11.1675 ppm) dan *Depleted Mantle* (DM) dari Salters and Stracke, 2004.

DISKUSI

Kemunculan batuan trakitik (*trachytic*) pada zona *tholeiitic basalt* di areal Ponjen-Kalisoka merupakan sebuah anomali yang sangat menarik untuk dipelajari, hal ini mengindikasikan adanya kontaminasi/interaksi *magma origin (tholeiitic basalt)* dengan magma yang lebih alkalin (magma trakitik).

Batuan *tholeiitic basalt* Ponjen-Kalisoka adalah batuan yang mengalami kontaminasi/interaksi dengan *magma mantle* yang lebih *alkaline*, mengacu pada model diagram yang menggunakan *incompatible trace element* Ta (Tantalum) pada diagram *after* Pearce, 1983; *after* Wang *et al.*, 2001; dan hasil petrografi pada sisipan batuan trakitik basal di zona Ponjen-Kalisoka menunjukkan kehadiran secara kebersamaan mineral *foiid leusit (undersaturated mineral)* dan *labradorite plagioklas (oversaturated mineral)* yang dengan jelas juga mengindikasikan adanya interaksi dari dua magma yang berbeda.

Anomali geokimia unsur jejak Ta (Tantalum; Ta = 0,70-1,98 ppm) yang relatif tinggi dan kemunculan mineral leusit (*leucite*) yang tertanam pada massa dasar serta nilai K (*Potassium*) yang relatif tinggi pada sample #3 dan #4 (masing-masing K₂O = 0.99% dan 0.94%) pada batuan origin *tholeiitic basalt* menjadi perhatian yang perlu diperdalam tentang kemungkinan interaksi dengan magma yang berbeda (yang bersifat lebih alkalin).

Pengabungan (*overlaying*) metodologi diagram “*after* Wang *et al.*, 2001 vs *after* Sun *et al.*, 2006” dan “*after* Pearce, 2008 vs *after* Pearce, 1983” menjadi sebuah metodologi baru dalam interpretasi sebuah tektonik setting yang lebih akurat.

ACUAN

- Abdel-Rahman, A. F-M., 2002. Mesozoic volcanism in the Middle East: Geochemical isotopic and petrogenetic evolution of extension-related alkali basalts from central Lebanon. *Geological Magazine* Vol 139 issue 6, 621-640.
- Anthony, J.W., Bideaux, R.A., Bladh, K.W., and Nichols, M.C., 1995 (reprinted 2003). *Handbook of Mineralogy*, Volume II (Silica, Silicates). Mineralogical society of America.
- Anthony R., Philpotts, and Ague, J.J., 1989. (2nd edition): *Principles of Petrography of Igneous and Metamorphic Rocks*. Cambridge University Press
- Arth, J.G., 1976. *Behaviour of trace elements during magmatic process summary of theoretical models and their applications*”, Revised Geophysical Space Physics, vol. 15, pp. 96-104.
- Asikin S., Handoyo A., Prastistho B., dan Gafoer S., 1992. *Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa Tengah, skala 1:100.000*. Bandung. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

KESIMPULAN

Hasil pemrosesan data geokimia *major oxide* dan *trace element* lava basal zona Ponjen-Kalisoka menunjukkan bahwa batuan basal tersebut original-nya berasal dari *magma tholeiitic* (interpretasi berdasarkan *major element*) yang mengalami differensiasi ringan dengan rasio Rb/Sr yang sangat kecil (0.0090 - 0.0610) menunjukkan bahwa *magmatism* lava basal zona Ponjen-Kalisoka adalah magma yang belum mengalami fraksinasi dan jenis *plagioclase* berupa *labradorite*. Tatanan tektonik Ponjen-Kalisoka berupa *Active Continental Margin*.

Magmatisme lava basal zona Ponjen-Kalisoka merupakan magmatisme fase transisi (*back arc volcanism*) dari *southern volcanism* yang bersifat *tholeiitic* menuju *northern part volcanism* yang bersifat *calc-alkaline*.

SARAN

Pengkajian detil dalam areal yang lebih luas sangat disarankan untuk mengetahui lebih mendalam tentang kemunculan *magma mantle* yang mungkin berupa *intracontinental rifting* atau *mantle plume* di daerah Jawa Tengah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada bapak Siswandi, ST, MT dan Adi Candra, ST, MT (Dosen Teknik Geologi UNSOED) atas saran dan diskusinya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

- Bellon, H., Muary, R.C., Soeria-Atmadja, R., Polve, M., Pringgoprawiro, H., Priadi, B., 1989. *Chronologie 40K–40Ar du volcanisme tertiaire de Java Central (Indonésie) : mise en évidence de deux épisodes distincts de magmatisme d'arc*. C. R. Acad. Sci. Paris, t.309, Serie II, 1971-1977.
- Cross, W., Iddings, J.P., Pirsson, L.V., and Washington, H.S., 1902. A Quantitative Chemico-Mineralogical Classification and Nomenclature of Igneous Rocks, *Journal of Geology*, V. 10, P.555-690
- Debon, F. and Le Fort, P., 1983. *A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations*. Transactions of Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences 73, 135-149.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1963 (1st ed), 2001 (2nd ed). *Rock-Forming Minerals : Framework Silicates (Feldspars)*, Volume 4A. Published by The Geological Society. p.46 (Ternary solid solution An-Ab-Or)
- Dempsey, S. R., 2013. *Geochemistry of volcanic rocks from the Sunda Arc* (Durham E-Theses : Thesis for the degree of Doctor of Philosophy), Data for Galunggung Volcanic, 240.
- Djuri, M., Samodra, H., Amin, T.C. dan Gafoer, S., 1996. *Peta Geologi lembar Purwokerto dan Tegal, Jawa Tengah, Skala 1:100.000*. Bandung. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Godang, S., Fadlin, Priadi, B., 2016. Geochemical Signatures of Potassic to Sodic Adang Volcanics, Western Sulawesi: Implications for Their Tectonic Setting and Origin. *Indonesian Journal on Geoscience* Vol. 3 No. 3.
- Handley, H.K., 2006. Geochemical and Sr-Nd-Hf-O isotopic constraints on volcanic petrogenesis at the Sunda arc, Indonesia (Durham E-Theses : Thesis for the degree of Doctor of Philosophy; Data for basalt of Gede Volcanic Complex (Jawa Barat), in p.220),
- Hartono, G., Sudrajat, A., Syafri, I., 2008. Gumuk gunung api purba bawah laut di Tawang Sari - Jomboran, Sukoharjo - Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 3 No. 1.
- Hollocher, K., Robinson, P., Walsh, E., and Roberts, D., 2012. Geochemistry of amphibolite-facies volcanics and gabbros of the Støren Nappe in extensions west and southwest of Trondheim, Western Gneiss Region, Norway: a key to correlations and paleotectonic settings. *American Journal of Science*, 312
- Irvine, T.N., and Baragar W.R.A., 1971. A Guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*. 8,523-548
- Lallemant, S., 2014. *Active Continental Margin*. Encyclopedia of marine geoscience. DOI 10.1007/978-94-007-6644-0_102-2. Springer science
- Le Bas, M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A Chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, Vol 27, 745–750.
- Mc Donough, W.F., and Sun, S.S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120, 223-253
- MacLean, W.H., and Barrett, T.J., 1993. Litho-geochemical technique using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration* 48(2), p.109-133.
- Peccherillo, A., and Taylor, S.R., 1976. *Geochemistry of the Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey*. Contributions to Mineralogy and Petrology. 58, p.63-81.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, UK, pp. 230–249.
- Pearce, J. A., 2008. *Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust*. Lithos 100, 14–48.
- Salters, V.J.M., and Stracke, A., 2004. Composition of the depleted mantle. *G3 (Geochemistry, Geophysics, Geosystems)* Vol. 5, No 5.
- Soeria-atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M., Priadi, B., 1994. Tertiary magmatic belt in Java. *Journal of Southeast Asian earth science*, vol 9. Great Britain. Pergamon press.
- Sun, S.Q., Zhang, C.J., Huang, R.Q., 2006. The Tectonic Settings Discrimination of the Basalts in the Convergent Margin of Plate by Th, Nb and Zr. *Advances in Earth Science*, Vol 21, No.6, 593-598.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. vol. 1A. General Geology of Indonesia and adjacent Archipelagoes, 2nd ed. Martinus Nijhoff, The Hague.
- Wang, Y.N., Zhang, C.J., Xiu, S.Z., 2001. Th/Hf-Ta/Hf identification of tectonic setting of basalts. *Acta Petrol Sin* (in Chinese), 17(3): 413-421.

- Wheller, G.E., 1986. Petrogenesis of Batur Caldera, Bali, and the geochemistry of Sunda-Banda Arcs Basalts. (Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, University of Tasmania)
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis – A Global Tectonic approach*, published by HarperCollins Academic, London, UK, 466 p
- Wright, J.B., 1969. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geological Magazine* 106(4): 370-384
-