



Karakteristik dan Petrogenesis Batuan Beku di Kecamatan Cisolok (Daerah Geopark Ciletuh-Palabuhanratu), Kabupaten Sukabumi

Characteristic and Petrogenesis of the Igneous Rocks at Cisolok District (Ciletuh-Palabuhanratu Geopark Area), Sukabumi Regency

Asti Gindasari Masse, Mega Fatimah Rosana, dan Agus Didit Haryanto

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang KM.21,
Hegarmanah, Kec. Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45363
email: astigindasari@gmail.com

Naskah diterima: 26 April 2022, Revisi terakhir: 04 Agustus 2022, Disetujui: 08 Agustus 2022, Online: 11 Agustus 2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23.3.141-153>

Abstrak - Lokasi studi yang terletak di daerah Ciletuh merupakan bagian dari *Unesco Global Geopark* dicirikan oleh batuan beku intrusif dan ekstrusif berumur Miosen. Batuan beku ini tersebar di sepanjang pantai dan sebagian membentuk perbukitan kecil. Tujuan studi ini adalah untuk mengkarakterisasi dan mengetahui petrogenesis dari batuan beku yang ada di daerah Cisolok. Metode kegiatan yang dilakukan menggunakan analisis petrografi, geokimia, XRF dan ICP-MS. Secara petrografis batuan dapat dikelompokkan menjadi batuan andesit porfiri dan dasit porfiri. Analisis kimia menunjukkan bahwa karakteristik batuan beku dibedakan menjadi jenis dasit, andesit, andesit basaltik, dan basal. Magma sebagai sumber pembentukan batuan beku memiliki komposisi metaluminous dari jenis magma seri *calc alkaline*, kecuali untuk contoh dari Pasir Randu yang merupakan jenis *high-K calc alkaline series*. Batuan tersebut terbentuk pada zona lingkungan subduksi dengan posisi *continent arc*, yang termasuk dalam tepi kontinen aktif.

Katakunci: Batuan beku, Cisolok, geopark Ciletuh Palabuhanratu.

Abstract - The study site in the Ciletuh area is part of the *Unesco Global Geopark* characterized by Miocene intrusive and extrusive igneous rocks. These igneous rocks are scattered along the coast and some small hills. This study aimed to characterize and determine the petrogenesis of igneous rocks in the Cisolok area. The method used is petrographic, geochemical, XRF and ICP-MS analysis. Petrographically, it can be seen as porphyry andesite and porphyry dacite. Chemical analysis shows that the characteristics of igneous rocks are divided into dacite, andesite, basaltic andesite, and basalt types. Magma, as a source of igneous rock formation, has a metaluminous composition of the calc alkaline series magma type, except for the example of Randu Sand which is a high-K calc alkaline series type. These rocks are formed in a subduction environmental zone with the position of the continent arc setting, which is included in the active continental margin.

Keywords: Igneous rock, Cisolok, Ciletuh Palabuhanratu geopark.

PENDAHULUAN

Daerah Cisolok dan sekitarnya merupakan bagian dari Kawasan *Ciletuh Palabuhanratu UNESCO Global Geopark* (CPUGGp) di Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat, telah mendapat pengakuan sejak 2018 (Rinaldi dkk., 2019). Geopark tersebut dimanfaatkan sebagai tempat edukasi, penelitian, dan konservasi serta aktivitas perekonomian melalui pengembangan pariwisata berkelanjutan. Ada beberapa survei yang telah dilakukan secara intensif selama kurun waktu lima tahun terakhir dan berkaitan dengan CPUGGp, bahkan (Awang dkk., 2021) telah mengoreksi sebagian besar geokronologi Ciletuh dan menyajikan data terbaru mengenai penanggalan usia dan geologi struktur daerah Ciletuh berdasarkan hasil terbaru analisis laboratorium.

Secara administratif daerah studi termasuk dalam Kecamatan Cisolok, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat dan berada di bagian utara Kawasan Geopark Ciletuh Palabuhanratu. Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Leuwidamar (Sujatmiko & Santosa, 1992), terdapat hamparan batuan beku yang cukup luas dan berumur Miosen sampai Kuartar di Kecamatan Cisolok. Sebaran batuan tersebut umumnya dijumpai di daerah tinggian dan pesisir pantai. Belum ada publikasi yang detail membahas karakteristik batuan beku khususnya tentang petrogenesis dan kaitannya dengan *tektonik setting* regionalnya, sehingga kawasan tersebut dianggap menarik untuk dikaji lebih mendalam. Studi ini bertujuan mengkarakterisasi dan mengetahui petrogenesis batuan beku yang berada di daerah Cisolok. Hasil studi ini akan menjadi bahan yang penting untuk materi edukasi sebagai muatan kurikulum lokal sekolah-sekolah di kawasan geopark dan dalam menyusun data informasi pengembangan wisata khusus di kawasan CPUGGp.

METODOLOGI

Kegiatan diawali dengan pengambilan contoh batuan beku di beberapa lokasi yang berada di sekitar daerah Cisolok. Secara geologi regional lembar Leuwidamar (Sujatmiko & Santosa, 1992), daerah ini mewakili jenis batuan beku asam dan menengah (*intermediate*). Pendeskripsian batuan secara megaskopis dilakukan di lapangan dengan bantuan loupe, untuk selanjutnya dipilih untuk dilakukan analisis secara lebih detail dengan metode petrografi. Analisis petrografi dilakukan di laboratorium Petrologi dan Mineralogi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran. Tujuan analisis ini untuk lebih spesifik mengetahui

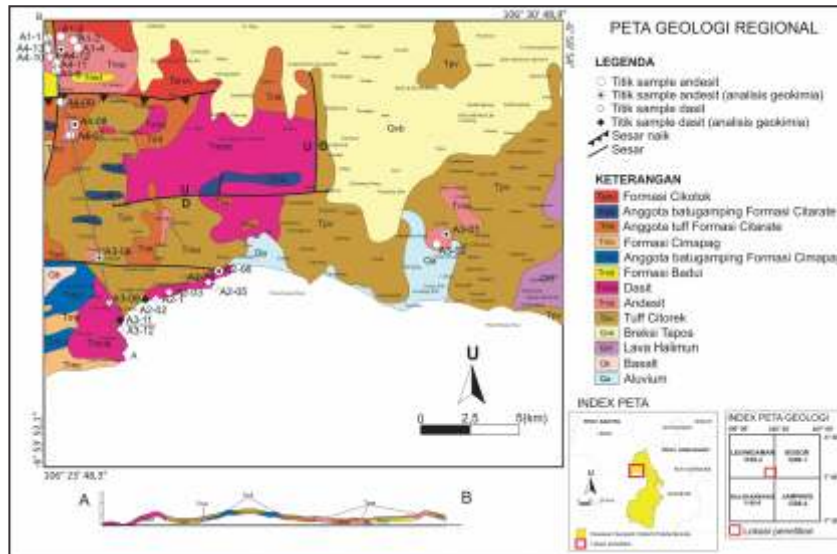
tekstur, komposisi mineral, serta hubungan antara mineral penyusun batuanya, sehingga kemudian dapat ditentukan jenis batuanya dengan menggunakan klasifikasi Travis (1955). Klasifikasi ini dipilih karena dapat memperlihatkan secara lebih detail tekstur batuanya berupa afanitik, porfiritik, ataupun faneritik. Berdasarkan analisis petrografi, beberapa contoh batuan yang belum mengalami ubahan atau relatif masih segar sehingga dapat dipilih untuk analisis geokimia batuan. Sebanyak 7 (tujuh) contoh batuan yang mewakili jenis andesit, basal, dan dasit dipilih untuk dilakukan analisis kimia batuan dengan menggunakan metode *X-ray Fluorescence* (XRF) dan *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) yang dilakukan di laboratorium PT. Intertek Indonesia, Jakarta.

TATANAN GEOLOGI

Secara fisiografi daerah ini termasuk ke dalam Jalur Pegunungan Bayah yang berumur Eosen-Kuartar, dengan bagian selatan terlipat kuat, bagian tengah terdiri atas andesit tua (*old andesit*), dan bagian utara merupakan daerah peralihan dengan zona Bogor (van Bemmelen, 1949). Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Leuwidamar (Sujatmiko & Santosa, 1992) skala 1:100.000, batuan di daerah ini berumur Miosen sampai Kuartar, yang terdiri atas batuan beku, endapan piroklastik, serta batuan sedimen. Secara stratigrafi urutan batuan dari yang tertua diwakili Formasi Cikotok berumur Miosen hingga batuan termuda berupa aluvium berumur Kuartar (Gambar 1).

Struktur regional Jawa Barat dipengaruhi oleh sistem tumbukan Lempeng Kerak Eurasia dengan lempeng Oceanic Indo-Australia (Hamilton, 1979). Struktur tua di daerah Jawa Barat terbentuk pada awal Paleogen yang berkembang pada batuan alas berumur Mesozoikum. Struktur Paleogen ini berarah arah utara-selatan (Pola Sunda) dan merupakan pembentuk cekungan Paleogen di Jawa Barat. Akibat adanya aktivitas tumbukan lempeng ini menghasilkan elemen tektonik utama di Jawa Barat berupa palung, busur luar non-vulkanik, cekungan depan busur, jalur magmatisma, cekungan belakang busur dan Paparan Sunda (Katili, 1973).

Jalur Paleosubduksi Jawa (subduksi tua) yang berada di lepas Pantai Selatan Jawa diketahui berdasarkan pemunculan palung laut di bagian Selatan Pulau Jawa dan tersingkapnya batuan *melange* berumur Kapur yang tersingkap di beberapa tempat, salah satunya, yaitu di daerah Ciletuh, Sukabumi, Jawa Barat. Hal ini juga diikuti aktivitas magmatik di sekitarnya. Daerah Cisolok, Sukabumi adalah salah satu daerah yang terpengaruh oleh Jalur Paleosubduksi Jawa.



sumber: dimodifikasi dari Sujatmiko & Santosa (1992).

Gambar 1. Peta geologi regional daerah studi dan lokasi sampel batuan beku Cisolok.

Stratigrafi di daerah studi dari tua ke muda disusun oleh Formasi Cikotok yang berumur Miosen Awal - Miosen akhir. Formasi ini menindih tidak selaras Formasi Bayah, menjemari dengan formasi Cicarucup, Formasi Cijengkol dan Formasi Citarate, serta tertindih tidak selaras oleh Formasi Cimapag. Formasi ini diterobos oleh Granodiorit Cihara yang diduga salah satu penyebab terbentuknya batuan metamorf derajat rendah. Anggota batugamping Formasi Citarate terletak di bagian bawah Formasi Citarate yang berumur Miosen Awal. Formasi Cimapag setempat tertindih tidak selaras oleh Formasi Saraweh dan menindih tidak selaras formasi batuan yang lebih tua (Anggota Batuan Formasi Cimapag). Di bagian bawah Formasi Cimapag terdapat Formasi Badui yang berumur Miosen Tengah yang tertindih tidak selaras oleh Formasi Bojongmanik dan andesit berumur Miosen Akhir. Tuf Citorek, Breksi Tapos berumur Plistosen menjemari dengan Lava Halimun, Satuan Basal, dan aluvium.

Struktur geologi yang berkembang di daerah studi menurut peta geologi regional Lembar Leuwidamar (Sujatmiko & Santosa, 1992) terdapat sesar-sesar naik dan sesar normal yang berarah hampir utara selatan dan barat timur yang melalui formasi-formasi batuan yang berumur Paleogen-Neogen (Gambar 1).

PETROGRAFI DAN GEOKIMIA

Keberadaan batuan beku di daerah studi dapat dibedakan atas batuan beku intrusi dan ekstrusi yang tersebar cukup luas mulai dari ketinggian 15 hingga

550 meter di atas permukaan laut dengan dimensi berbeda. Beberapa singkapan batuan dijumpai di sekitar pesisir pantai Cisolok dan membentuk bukit-bukit kecil. Sebagian batuan beku tersebut terlihat seperti bongkahan terdapat di sekitar daerah persawahan, kebun, maupun tepi jalan setapak. Jenis batuan beku tersebut berbeda-beda yang sebagian dapat dibedakan secara kasatmata langsung di lapangan, yaitu berdasarkan indeks warna maupun teksturnya.

Sebanyak 7 contoh batuan beku diambil untuk dilakukan perbandingan analisis petrografi dan analisis kimianya. Kelompok dasit diwakili oleh contoh dari Karang Haji, Ciwaru, Gunung Kembang, Pasir Randu, sedangkan kelompok andesit dari Simajaya, Cireunduy, Cimana, Cipeuteuy, dan Cibongkok (Tabel 1 dan Gambar 2). Dasit tersebar di ketinggian 70-340 m di atas permukaan laut yang tersebar di sekitar pinggir pantai, jalan raya dan daerah pemukiman. Andesit tersebar di ketinggian 170 - 350 m di atas permukaan laut. Berdasarkan kenampakannya, struktur batuan beku tersebut membentuk berupa intrusi (*dike*), bukit masif, *columnar joint*, dan *sheeting joint* yang berukuran bervariasi berkisar antara 4-50 m. Batuan bersifat masif, sangat keras, dan sedikit mengalami retak-retakan. Batuan dari daerah tersebut dipilih sebanyak 7 sampel untuk dilakukan analisis petrografi dan kimia dengan metode XRF dan ICP-MS (Tabel 2). Kemudian, data-data kimia diinterpretasikan dengan menggunakan berbagai diagram diskriminan untuk penentuan jenis batuan, jenis magma, afinitas magma, hingga lingkungan tektonik pembentukannya.

Tabel 1. Daftar contoh batuan beku untuk analisis petrografi dan geokimia

No.	Kode Contoh	Lokasi	Formasi batuan (Sujatmiko & Santosa, 1992)	Jenis Analisis
1	A1-1	Simajaya	Andesit	Petrografi;
2	A1-2	Simajaya	Andesit	Petrografi;
3	A1-3	Cireundeuy	Andesit	Petrografi;
4	A1-5	Cireundeuy	Andesit	Petrografi;
5	A2-1	Karang Haji	Dasit	Petrografi;
6	A2-2	Karang Haji	Dasit	Petrografi; Geokimia
7	A2-4	Ciwaru	Dasit	Petrografi;
8	A2-6	Ciwaru	Andesit	Petrografi; Geokimia
9	A3-1	Cimaja	Andesit	Petrografi; Geokimia
10	A3-2	Cimaja	Andesit	Petrografi;
11	A3-6	Cimaja/Cibongkok	Andesit	Petrografi; Geokimia
12	A3-8	Gunung Kembang	Dasit	Petrografi;
13	A3-11	Pasir Randu	Dasit	Petrografi; Geokimia
14	A3-12	Pasir Randu	Dasit	Petrografi;
15	A4-8	Cipeuteuy	Andesit	Petrografi; Geokimia
16	A4-12	Cipeuteuy	Andesit	Petrografi; Geokimia



Gambar 2. Foto singkapan batuan beku di daerah studi

Tabel 2. Rangkuman persentase mineral berdasarkan analisis petrografi dan geokimia

Lokasi	Sampel	Tekstur	Pl (Fenokris) (wt%)	Kf (wt%)	Px (wt%)	Amf (wt%)	Bio (wt%)	Q (wt%)	Gl (wt%)	Opx (wt%)	Cl (wt%)	Carb (wt%)	Massa dasar (Md)	Tipe Batuan (Travis, 1955)	TAS (Middlemost, 1994)
Karanghaji	A2-2	Porfiritik, Massa dasar halus	20	5		5		5	5	2	1		Massa dasar mikrolit plagioklas 32% kristalit feldspar dan kristalit kuarsa 25%	Dasit Porfiri	Dasit
Ciwaru	A2-6	Porfiritik, Massa dasar halus	25	2		10	7			2	5		Massa dasar sebagian mikrolit 49% plagioklas dan kristalit	Andesit Porfiri	Andesit
Cimaja	A3-1	Porfiritik, Massa dasar halus	70		5			2	10		3		Rongga vesikuler 10% massa dasar mikrolit plagioklas 10%	Andesit Porfiri	Basal
Cibongkok	A3-6	Porfiritik, Massa dasar halus	30		3			1		3	2	1	Massa dasar mikrolit plagioklas 60%	Andesit Porfiri	Andesit basaltik
Pasir Randu	A3-11	Porfiritik, Massa dasar halus	20	5		5	5	25		2	3		Kristalit kuarsa 25% kristalit feldspar plagioklas 35%	Dasit Porfiri	Dasit
Cipeuteuy	A4-8	Porfiritik, Massa dasar halus	38	2	3			3		3	7	2	Massa dasar kristalit 10% mikrolit plagioklas 32%	Andesit Porfiri	Andesit
Cipeuteuy	A4-12	Porfiritik, Massa dasar halus	40		20			3		3	2		Massa dasar 32% mikrolit plagioklas	Andesit Porfiri	Andesit basaltik

Note : Pl = Plagioklas, Kf = K-Feldspar, Px = Piroksen, Amf = Amfibol, Bio = biotit, Q = Kuarsa, Gl = Gelas, Opx = Opak, Cl = Klorit, Carb = Karbonat

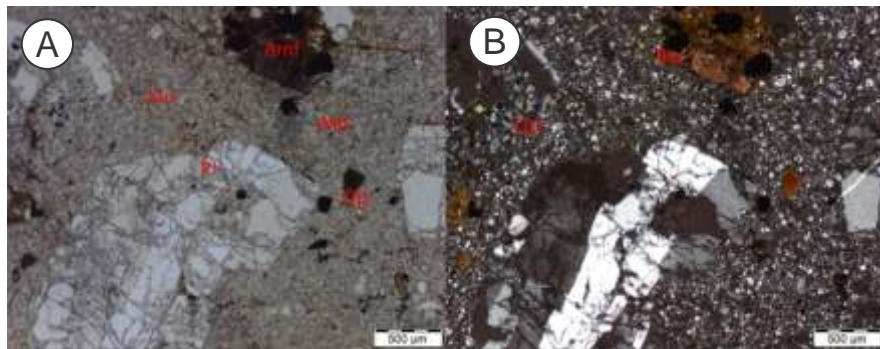
Analisis Petrografi

Hasil analisis petrografi terhadap 7 contoh batuan beku menunjukkan bahwa pada seluruh sampel batuan yang dianalisis, mineral plagioklas terbagi atas fenokris yang berada di rentang 20-70% dan massa dasar mikrolit plagioklas 10-60%, kadar plagioklas terbanyak berada pada sampel A3-6, sedangkan yang paling sedikit pada sampel A3-11. Mineral K-feldspar 0-5%, piroksen 0-20% terbagi atas ortho piroksen dan klino piroksen (termasuk ke dalam jenis augit dan hypersten), amfibol 0-10%, biotit 0-7%, kuarsa 0-25%, gelas 0-10%, opak 0-3%, klorit 1-7% dan karbonat 0-2%. Tekstur batuan relatif porfiritik dengan massa dasar afanitik berupa kristalitik plagioklas, kuarsa dan mikrolit. Mineral plagioklas menunjukkan bentuk kembar *polisintetis*, *zoning*, dan pertumbuhan mineral (*intergrowth*) plagioklas dan mineral kuarsa. Pada sampel a3-6 dan A4-8 sebagian plagioklas telah berubah menjadi mineral karbonat. Sampel A3-11 memiliki ciri khusus karena selain memiliki jenis Na-plagioklas yang tinggi, kadar kuarsanya juga cukup tinggi mencapai sekitar 60%. Menurut Gill (2010), batuan tersebut termasuk ciri khas dasit. Seluruh sampel memiliki intensitas

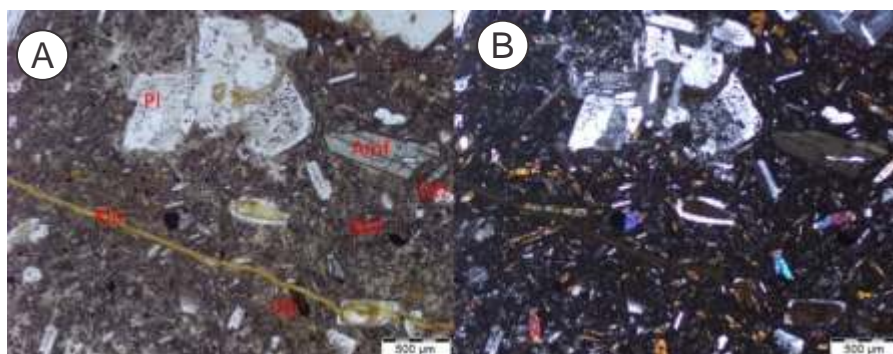
mineral klorit yang cukup beragam. Klorit hadir mengisi urat dan retakan batuan menunjukkan adanya aktivitas hidrotermal di sekitar daerah tersebut. Mineral mafik piroksen pada sampel A4-12 menunjukkan kadar terbanyak yaitu 20%, sebagian berubah menjadi klorit dan karbonat, piroksen menunjukkan pola kembar *carsbad* dan *zoning* di beberapa tempat. Mineral mafik amfibol berubah menjadi opak dan klorit (Jean, 1998).

Geokimia

Hasil analisis kimia dengan menggunakan metode XRF dilakukan untuk memberikan informasi komposisi kimia oksida-oksida utama (Major Mineral), seperti SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{FeO}_{\text{total}}$, MnO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O , K_2O , TiO_2 , dan P_2O_5 (Tabel 3). Masing-masing persen berat unsur oksida utama telah dinormalkan menjadi 100% dengan cara memisahkan nilai total setiap unsur tanpa LOI, lalu melakukan penghitungan ulang nilai total unsur di setiap contoh batuan dengan cara menjumlahkan total setiap unsurnya tanpa memasukkan nilai LOI-nya ke dalam 100% total non LOI dikalikan setiap unsurnya. Lalu dilakukan analisis unsur jejak dan tanah jarang atau *rare earth element* (REE) batuan dengan metode ICP-MS.



Gambar 3. (A) Fotomikrografis dasit porfiri A3-11 sejajar nikol skala bar 500 μm , (B) Dasit porfiri A3-11 silang nikol perbesaran 500 μm tampak fenokris plagioklas (pl), amfibol (Amf), biotit (Bio) dan mineral opak (Op), serta serta amfibol (Amf), dalam masadasar kristalitik feldspar dan kuarsa (qtz).



Gambar 4. (A) Fotomikrografis andesit porfiri A2-6 sejajar nikol skala bar 500 μm (B) Andesit porfiri A2-6 silang nikol perbesaran 500 μm tampak fenokris plagioklas (pl), amfibol (Amf), biotit (Bio), mineral opak (Op), klorit (Klo), kuarsa (Qtz), dalam masadasar kristalitik feldspar plagioklas dan kuarsa (Md).

Selanjutnya data tersebut digunakan untuk mengidentifikasi jenis batuan, karakter magma, dengan menggunakan beberapa diskriminan seperti diagram AFM (Irvine & Baragar, 1971), diagram A/CNK-A/NK (Shand, 1943) dan diagram total alkali silika/TAS (Middlemost, 1994).

Berdasarkan data Tabel 3 dan Tabel 4 di atas, dapat dilihat bahwa kandungan oksida SiO₂ umumnya di bawah 65 %, hanya 2 contoh batuan menunjukkan kandungan SiO₂ di atas 65% (sampel no. A2-2; dan A3-11). Hal yang sama terlihat pula pada kandungan unsur oksida MgO yang menunjukkan umumnya di atas 2%, akan tetapi terdapat dua contoh batuan menunjukkan kandungan MgO yang relatif lebih rendah dibandingkan sampel lainnya, yaitu sampel no. A2-2; A3-11. Sementara itu untuk 5 (lima) contoh batuan lainnya menunjukkan kandungan unsur oksida MgO bervariasi antara 2,20% sampai 3,55%. Kandungan unsur oksida besi, juga terdapat perbedaan yang signifikan antar sampel, terdapat 2 contoh batuan dengan kandungan unsur Fe total kurang dari 3.3%, yaitu sampel A2-2 dengan nilai 2,91%, dan sampel A3-11 dengan nilai 3.35%. Sehingga dari penjelasan di atas, secara umum, jenis batuanya dapat dikelompokkan atas dua jenis, kelompok pertama dengan kandungan silika <65%; dan kelompok kedua dengan kandungan silika >65%.

Tabel 3. Hasil analisis kimia unsur major batuan dengan metode XRF

Oksida Major (%)	Nomor Contoh						
	A2-2	A2-6	A3-1	A3-6	A3-11	A4-8	A4-12
SiO ₂	70,06	64,34	51,96	55,57	68,9	59,85	56,64
Al ₂ O ₃	15,01	15,39	18,93	20,06	14,82	16,76	17,47
CaO	3,32	5,21	8,90	8,71	3,08	5,95	6,54
Fe ₂ O ₃	2,91	5,46	9,14	6,83	3,35	7,37	8,09
MgO	0,80	2,81	3,55	2,22	1,09	3	3,28
K ₂ O	2,68	2,08	0,79	1,09	3,60	1,42	1,56
Na ₂ O	3,68	3,15	2,98	3,19	3,22	3,16	3,44
TiO ₂	0,36	0,54	1,06	1,01	0,36	0,65	0,72
MnO	0,80	2,81	3,55	2,22	1,09	3	3,28
P ₂ O ₅	0,082	0,09	0,174	0,217	0,081	0,105	0,157
LOI	0,75	0,46	1,61	0,71	0,52	1,3	1,62
Total	100,452	102,34	102,644	101,827	100,111	102,565	102,797

Tabel 4. Hasil analisis kimia unsur jejak dan tanah jarang *rare earth element* (REE) batuan dengan metode ICP-MS

CONTOH	A2-2	A2-6	A3-1	A3-6	A3-11	A4-8	A4-12
UNSUR	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Sc	8	16	23	24	8	20	17
V	62	98	203	194	53	161	131
Rb	81,4	70,4	21,2	33,2	93	49,3	59,2
Sr	164	190	253	407	173	236	292
Y	0,8	0,8	0,4	0,3	0,6	0,5	0,4
Zr	49,6	107	112	113	45,7	75,2	129
Nb	4,5	5,2	5,2	4,7	44	2,9	3,5
Ba	378	317	123	178	414	208	229
Th	10,9	9,51	138	4,34	12,2	4,66	6,01
U	3,48	1,83	0,79	0,95	2,36	1,29	1,6
La	15	17,4	9,6	13,9	18,5	10,3	14,1
Ce	28,5	34	21,6	29,5	32,8	22,1	30
Pr	2,76	3,5	2,62	3,67	3,15	2,53	3,36
Nd	10,5	14,4	12,4	17,2	11,6	11,5	15,2
Sm	1,9	2,9	3,1	3,8	2	2,6	3,2
Eu	0,5	0,8	1	1,1	0,6	0,8	0,9
Gd	2,1	3	3,8	4,5	2,1	3,2	3,5
Tb	0,28	0,49	0,54	0,59	0,28	0,45	0,47
Dy	1,9	3,4	3,8	4	1,9	3,2	3,3
Ho	0,4	0,5	0,7	0,8	0,4	0,6	0,6
Er	1,2	1,7	2,3	2,3	1,2	2	2
Tm	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
Yb	1,2	1,6	2,1	2,1	1,3	1,9	2
Lu	0,21	0,27	0,34	0,34	0,21	0,31	0,33

Hubungan antara komposisi SiO₂ dengan unsur oksida major diketahui bahwa terdapat hubungan yang positif antara unsur SiO₂ dengan K₂O, Na₂O, dimana adanya peningkatan nilai unsur K₂O dan Na₂O seiring dengan peningkatan SiO₂. Sementara untuk unsur lain umumnya menunjukkan hubungan yang negatif, dimana semakin tinggi kandungan SiO₂, berbanding terbalik kandungan Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, dan TiO₂ yang semakin kecil. Penurunan kandungan Al₂O₃ dan CaO terhadap peningkatan kandungan SiO₂ berhubungan dengan proses kristalisasi fraksionasi unsur tersebut dan pembentukan mineral plagioklas CaAlSiO₃O₈ (Harker, 1909). Hubungan positif unsur K₂O terhadap unsur SiO₂ berkaitan dengan pembentukan mineral *anorthoclase* (Na,K)AlSi₃O₈ dan andesin (AlSi)₄O₈. Penurunan unsur TiO₂ terhadap SiO₂ mengindikasikan proses pembentukan mineral opak seperti magnetit (Fe₃O₄), hematit (Fe₂O₃) dan ilmenit (FeTiO₃). Korelasi negatif pada unsur MgO terhadap SiO₂ menurut Pearson (1897) adalah korelasi palsu, dimana seharusnya hubungan variabel tersebut positif karena pada sistem pembentukan batuan beku yang sedang berkembang, komponen dikonsumsi oleh pertumbuhan fase padat (*solid phase*), kristalisasi mineral ferromagnesian akan mengonsumsi lebih banyak MgO daripada SiO₂ selama kristalisasi, sehingga menunjukkan hubungan penurunan relatif antar keduanya. Kristalisasi kaya Mg dalam magma basa-basaltik dicerminkan oleh korelasi negatif palsu antara silika dan magnesium berkaitan dengan pembentukan mineral hypersten (Mg,Fe)SiO₃ dan augit (Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)₂O₆.

PEMBAHASAN

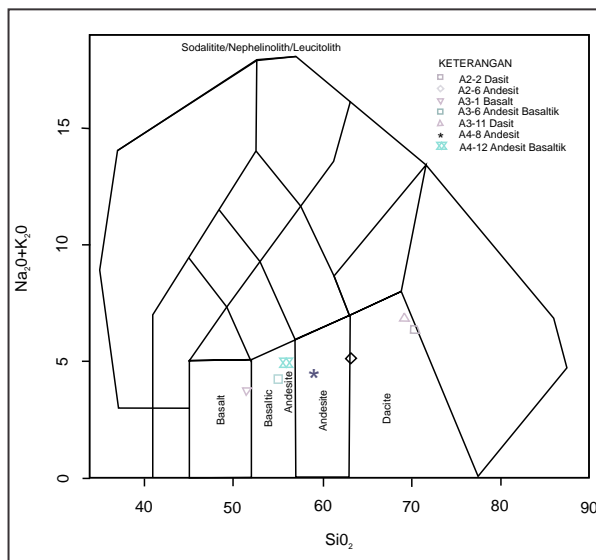
Karakter Batuan Berdasarkan Komposisi Oksida Utama

Penentuan jenis batuan dengan menggunakan diagram diskriminan TAS untuk batuan vulkanik yang di modifikasi oleh Middlemost (1994), didasarkan pada perbandingan komposisi SiO₂ dengan total alkali (Na₂O + K₂O). Berdasarkan diskriminan diagram tersebut, maka ke-7 contoh batuan yang dianalisis kimia dapat dibedakan atas 4 (empat) jenis batuan, yaitu: basal (A3-1); andesit basaltik (A3-6; dan A4-12); andesit (A4-8; dan A2-6); dan dasit (A2-2; dan A3-11) seperti terlihat pada Gambar 5.

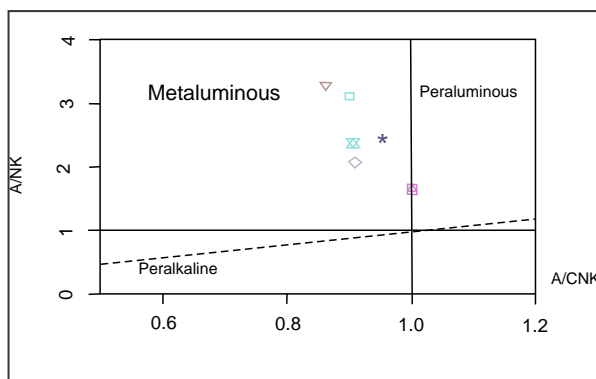
Komposisi Magma dengan diagram A/NK vs A/CNK

Dalam penentuan komposisi magma digunakan diagram diskriminan menurut Shand (1943). Metode ini menunjukkan derajat saturasi alumina batuan dengan

membaginya menjadi 3 kelompok utama, yaitu *metaluminous*, *peraluminous*, dan *peralkaline*. Perhitungan ini berdasarkan kandungan rasio molar $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ berbanding nilai rasio molar $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ yang disingkat A/NK dan A/CNK. Hasil plot diagram menunjukkan bahwa komposisi magma asal pembentuk batuan beku di daerah ini adalah berjenis *metaluminous* (Gambar 6). Seluruh sampel adalah *metaluminous* yang memiliki proporsi molar Al_2O_3 yang lebih rendah dari kombinasi molar CaO, Na_2O dan K_2O (Shand, 1943). Sebagian besar batuan mafik adalah *metaluminous*, dimana mereka tidak memiliki kelebihan kandungan aluminium maupun alkali (Frost, 2014).



Gambar 5. Plot kandungan kimia contoh batuan dari daerah Cisolok dan sekitarnya pada diagram modifikasi (TAS, Middlemost, 1994) menunjukkan berjenis dasit, andesit, andesit basaltik, dan basal.



Gambar 6. Diagram A/NK vs A/CNK membagi kelompok *metaluminous*, *peraluminous*, dan *peralkaline* (Shand, 1943).

Penentuan Jenis dan Afinitas Magma

Penentuan jenis magma menggunakan diagram diskriminan AFM (Irvine & Baragar, 1971) berdasarkan perbandingan komposisi kimia unsur total Alkali ($Na_2O + K_2O$), MgO, dan total Fe ($FeO + Fe_2O_3$). Berdasarkan diagram AFM maka batuan beku di daerah ini termasuk dalam seri *calc-alkaline* (Gambar 7A). Didukung dengan hasil diskriminan diagram Pearce & Cann (1973) menggunakan perbandingan komposisi $Ti/100-Zr-Sr/2$ menunjukkan lingkungan tektoniknya berada pada *calc alkali basalt* (CAB) seperti pada gambar 7B. Namun pada diagram diskriminan yang dikembangkan oleh Peccerillo & Taylor (1976), berdasarkan perbandingan komposisi silika (SiO_2) dengan potasium (K_2O) menunjukkan hasil plotting data geokimia sampel dari Cisolok dan sekitarnya dapat dibedakan atas dua kelompok seri magma, yaitu: *calc-alkaline series*, dan *high-K calc alkaline series* (Gambar 8). Seluruh sampel menunjukkan afinitas magma *calc-alkaline series* kecuali pada sampel A3-11 menunjukkan *high-K calc alkaline series*, yaitu pada batuan dasit dengan intensitas unsur K_2O relatif paling tinggi, kandungan mineral kuarsanya juga relatif tinggi dan TiO_2 yang paling rendah dibandingkan sampel lainnya.

Penentuan Lingkungan Tektonik

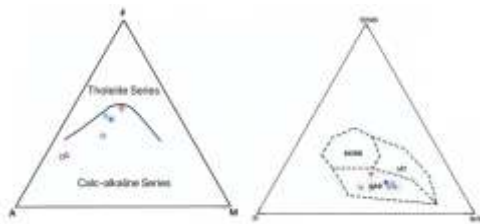
Penentuan lingkungan tektonik berdasarkan diagram diskriminan menurut Pearce (1975), yaitu perbandingan komposisi kimia K_2O , TiO_2 , dan P_2O_5 . Seluruh hasil plotting data kimia batuan beku daerah studi menunjukkan asal magmanya berasal dari *continent* (Gambar 9A). Didukung dengan hasil perhitungan berdasarkan diskriminan diagram Nb/Yb vs Th/Yb (Pearce, 2008), yang menunjukkan produk dari tatanan tektonik *continental arc* (CA) seperti diperlihatkan pada gambar 9B dan diagram Hollocher (2012) yang menggunakan perbandingan komposisi kimia La/Yb dan Lb/La juga menampilkan hasil yang serupa, yaitu zona *continental arc* (Gambar 9C). Oksida-oksida SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO, MnO, MgO, CaO, Na_2O , K_2O , P_2O_5 , dan H_2O secara geokimia dapat mendeskripsikan magma *active continental margin*, seiring dengan peningkatan total kadar alkali K_2O secara proporsional semakin besar kenaikannya (Wilson, 1989).

Unsur Jejak (Trace Element) dan Unsur Tanah Jarang (REE)

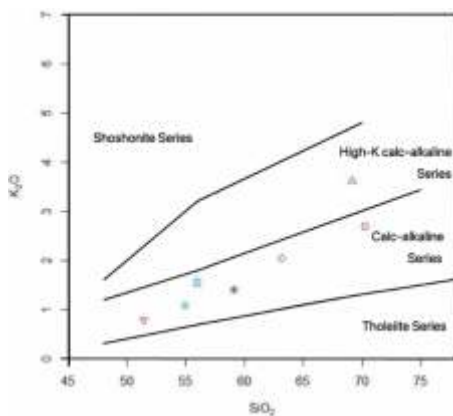
Rare earth element yang diklasifikasi sebagai bagian dari *lithophile* (kerak dan mantel) dan terdistribusi secara luas dan relatif mudah dijangkau di permukaan bumi (Atwood, 2013). Letak unsur *rare earth element* (REE) pada tabel periodik unsur berada pada bagian bawah

tabel, yang terdiri dari unsur La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu dan di bagian kiri pada tabel periodik yang terdiri dari unsur Sc dan Y (Voncken, 2016).

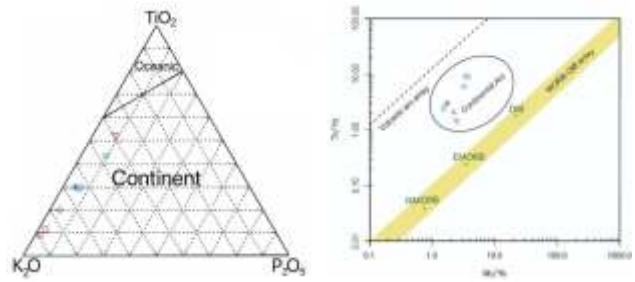
Analisis geokimia dilakukan untuk melengkapi informasi mengenai kandungan unsur jejak dan tanah jarang (REE) pada ketujuh contoh batuan. Hasil plotting data unsur jejak telah di normalisasi terhadap *mid ocean ridge basalt* (MORB) menurut Pearce (1983). Unsur REE dinormalisasi terhadap *chondrite* (Nakamura, 1974) seperti pada Gambar 10. *Rare earth element* dan Yttrium (REY) adalah kelompok unsur logam transisi atau bagian dari deret lantanida berdasarkan tabel periodik (Humphries, 2010). Nilai unsur jejak dalam sampel menunjukkan perbedaan yang signifikan di beberapa batuan beku Cisolok. Sampel kaya mineral silikat seperti Al, K, Ba, Bi, Rb, Th, Ti, Ce diperkirakan dari batuan beku felsik/ yang lebih asam (dasit) yang dapat ditunjukkan dengan adanya mineral khas batuan asam plagioklas, k-feldspar, dan kuarsa, sedangkan sampel yang lebih kaya Ca, Cr, Mg, Na, diduga berasal dari batuan yang lebih basa ditunjukkan dengan adanya mineral amfibol, piroksen, biotit dan pirit (Le Maitre, 2002).



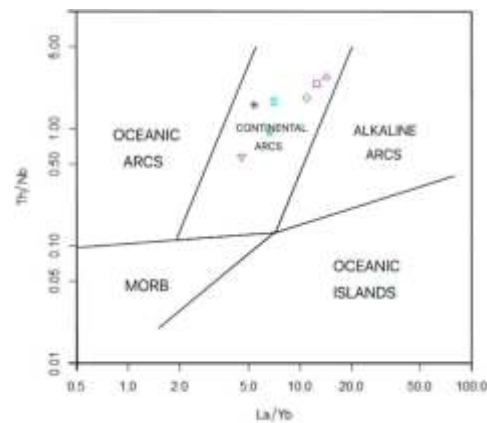
Gambar 7. (A) Plot kandungan kimia contoh batuan pada diagram AFM (Irvine & Baragar, 1971) dari daerah Cisolok dan sekitarnya yang menunjukkan bahwa contoh seluruhnya berkategori *calc-alkaline series* (B). Diagram diskriminan (Pearce & Cann, 1973) menunjukkan basal di lokasi A3-1 dan seluruh contoh sampel di daerah ini memiliki lingkungan asal dari *calc alkali basalt* (CAB).



Gambar 8. Diagram SiO_2 dan K_2O (Peccerillo & Taylor, 1976) menunjukkan bahwa batuan beku Cibangban dan sekitarnya (Sukabumi) afinitas magmanya *calc-alkaline series* dan *high-K calc alkaline*.



Gambar 9. (A) Diagram K_2O , TiO_2 dan P_2O_5 (Pearce, 1975) menunjukkan bahwa batuan beku daerah Cisolok dan sekitarnya terbentuk dari tatanan tektonik *continental arc* (B). Diagram variasi Nb/Yb vs Th/Yb (after Pearce, 2008) yang menunjukkan *continental arc*.



Gambar 9. C. Diagram Hollocher (2012) menunjukkan bahwa batuan beku daerah Cisolok dan sekitarnya berasal dari *continental arc*.

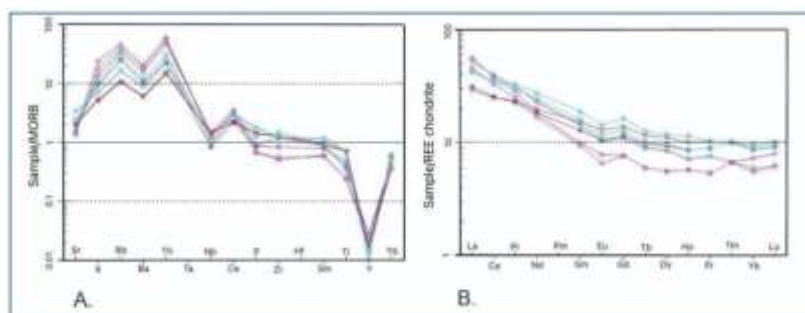
Unsur tanah jarang dengan ion yang lebih besar atau *large ion lithophile elements* (LILE) dan unsur *high field strength element* (HFSE) merupakan kelompok yang umum digunakan untuk mengidentifikasi geokimia dan setting tektonik khas vulkanik. L-REE (*light-rare element*) yang merupakan golongan khusus unsur logam transisi atau bagian dari deret lantanida menunjukkan kelimpahan yang relatif banyak, lalu menurun hingga unsur Lu. Gambar diagram laba-laba contoh batuan daerah studi menunjukkan grafik plot hampir seluruhnya sampel menunjukkan kecenderungan pola yang sama, yaitu linear dengan pola nilai elemen jejak khas *island arc*, adanya peningkatan *elemen incompatible* HFSE, yaitu Th, Sr, La, Ce, Pr dan kelimpahan yang rendah untuk element potensial ion tinggi, LILE yaitu di Y, Ti, zr dan Nb pada diagram elemen jejak yang telah dinormalisasi (Pearce dkk., 1983; Gambar 10A). Pola khas busur benua (*continental arc*) tampak dari ciri khas pengayaan pada LREE dimana unsur La adalah unsur yang paling tidak kompetibel dan menurun hingga Eu dan setelah itu memanjang perlahan sejajar dengan garis batas komposisi REE *chondrite* dengan pola linier. (Gambar 10B). Meskipun proses pembuatan dan data

elemen majornya memiliki kisaran komposisi yang serupa antara pada sistem *island arc* dan *continental arc*, namun distribusi jenis batuan dan efek yang berkembang pada kerak kontinen lebih diperkaya oleh seri magma *calc-alkaline* hingga *alkaline* yang terlihat jelas dipermukaan. Andesit basaltik dan basal adalah jenis batuan yang lebih umum pada zona *continental*, begitu juga pada batuan dasit-andesit dan jenis *ignimbrite* dasit-riolit (Winter, 2001). Sebagian pola membentuk *spiked* merekam jejak dari keterkaitan sumber mantel basal oleh aliran fluida hidrotermal atau sekitar zona subduksi, dipertegas dengan adanya nilai transfer khas yang umum untuk semua contoh magmatisme terkait subduksi, yaitu Sr, K, Rb, Ba, Th, Ce, dan Sm (Anderson, 1980; Hawkesworth & Powell 1980; Wilson & Davidson, 1984). Karakter kerak (*arc*) pada busur benua/ *continental arc* yang terkait dengan zona subduksi juga relatif lebih tebal dari *island arc* karena memungkinkan terakumulasinya hasil magma subduksi di kedalaman (*underplating magmatic*). Komponen mengandung Ta, Nb, Zr, dan Hf yang meningkat, hadir lebih banyak pada magma busur benua (*continental arc*) dalam jumlah yang lebih tinggi (Winter, 2001). Unsur Th (yang termasuk ke dalam kelompok HFSE) adalah elemen yang paling tidak bergerak karena memiliki rasio z/r - (ion dan muatan) yang paling rendah. Unsur ini menyerupai elemen tidak kompetibel yang sulit untuk disubstitusikan ke dalam struktur kristal mineral pembentuk batuan. Ta dan Th adalah salah satu dari unsur ciri utama yang digunakan untuk mengidentifikasi zona subduksi dan setting ACM, dimana pada lingkungan ini biasanya di per kaya dengan unsur Rb & Th dibandingkan Ta nya (Pearce & Peate, 1995; Winter, 2001).

Tabel 4 di atas memperlihatkan terdapat perbedaan nama batuan antara hasil analisis petrografi dengan hasil analisis kimia batuan. Seperti pada contoh batuan yang berasal dari daerah Cimaja dan Cipeuteuy,

dimana contoh batuan A3-1 (Cimaja), analisis petrografi menunjukkan jenis andesit, sementara hasil analisis kimia memberikan hasil jenis batuanya adalah basal. Berdasarkan analisis petrografi contoh dari daerah Cimaja (A3-6) dan Cipeuteuy (A4-12) menunjukkan jenis batuanya andesit, sedangkan hasil analisis kimia jenis batuanya andesit basaltik. Perbedaan ini bisa terjadi karena dalam penentuan jenis batuan melalui analisis petrografi komposisi jenis batuan andesit dan basal adalah sama yang membedakan adalah dari jenis plagioklasnya. Sementara itu, pada hasil analisis petrografi jenis plagioklas tidak bisa ditentukan karena kondisi sayatannya tidak memungkinkan untuk menentukan jenis plagioklasnya. Selain itu, karena tekstur batuan umumnya dengan masadasar afanitik, sehingga sulit untuk mengidentifikasi secara pasti jenis mineraloginya. Berdasarkan kombinasi hasil analisis petrografi dan kimia batuan, secara umum batuan beku dari daerah studi dapat dibedakan atas empat kelompok batuan berdasarkan kandungan silikanya, yaitu dasit, andesit, andesit basaltik dan basal.

Berdasarkan hasil plotting pada berbagai diskriminan diagram, diketahui bahwa afinitas magma yang membentuk batuan beku di daerah Kecamatan Cisolok umumnya termasuk pada kelompok *calc alkaline series*, kecuali satu contoh batuan dasit dari daerah Pasir Randu (A3-11) yang menunjukkan afinitas magma *high-K calc alkaline series*. Sementara diagram diskriminan penentuan komposisi magma seluruhnya contoh batuan dari daerah ini menunjukkan komposisi yang seragam dari jenis *metaluminous*. Diskriminan diagram juga menunjukkan bahwa magma asal pembentukan batuan di daerah Cisolok adalah berasal dari lingkungan *continent arc*. Dengan karakteristik magma tersebut menurut (Wilson, 1989) diklasifikasikan ke dalam lempeng benua aktif (*active continental margin* atau ACM). Menurut Best (1982) karakteristik magmanya menunjukkan posisi tektoniknya termasuk zona subduksi.



Gambar 10. Diagram laba-laba (A) unsur tanah jarang contoh batuan dari daerah Cisolok yang telah dinormalisasi terhadap MORB (Pearce, 1983); (B) unsur REE contoh batuan dari daerah Cisolok yang telah dinormalisasi terhadap *chondrite* (Nakamura, 1974)

Tabel 4. Rangkuman hasil analisis kimia batuan beku Cisolok dan sekitarnya

Kode Contoh	Lokasi	Jenis batuan	Seri magma	Komposisi magma	Lingkungan Tektonik
A2-2	Karang Haji	Dasit	Calc-Alkaline Series	Metaluminous	Continental Arc
A2-6	Cimaja	Andesit	Calc-Alkaline Series	Metaluminous	Continental Arc
A3-1	Cimaja	Basal	Calc-Alkaline Series	Metaluminous	Continental Arc
A3-6	Cimaja	Andesit Basaltik	Calc-Alkaline Series	Metaluminous	Continental Arc
A3-11	Pasir Randu	Dasit	High K -Calc Alkaline	Metaluminous	Continental Arc
A4-8	Cipeuteuy	Andesit	Calc-Alkaline Series	Metaluminous	Continental Arc
A4-12	Cipeuteuy	Andesit Basaltik	Calc-Alkaline Series	Metaluminous	Continental Arc

Petrogenesis Antar Variasi Batuan

Mode paragenetik mineral adalah hasil proses alami kumpulan atom dalam bentuk padat dan/atau cair yang telah dikonfigurasi ulang menjadi satu atau lebih bentuk padat baru. Definisi ini menekankan cara pembentukan mineral individu dari kumpulan mineral atau urutan mineralisasinya (Hazen & Morrison, 2021).

Terdapat beberapa tekstur dan struktur geologi (dengan pendekatan mikroskopis) yang dapat digunakan sebagai petunjuk proses geologi dan genesis yang terjadi di daerah ini. Berdasarkan data geokimia di daerah ini dapat disimpulkan bahwa seluruh jenis batuan beku yang menunjukkan kesamaan sumber dan jenis magmanya yaitu berasal dari busur benua (*continental arc*) yang terkait subduksi dan bersifat dominan *metaluminous*. Batuan beku di daerah Cisolok adalah produk dominan dari kompleks vulkanik daerah Cisolok, dengan ciri khas batuan memiliki tekstur porfiritik. Porfiritik menunjukkan perbedaan signifikan pada ukuran kristal/mineral yang dapat mengidentifikasi perbedaan tahapan kristalisasi pada proses magmatisme dan indikasi terjadi proses pencampuran (*differensiasi*) magma.

Proses naiknya magma dimulai dari sumber mantel menuju permukaan yang tertunda sementara akibat proses kristalisasi yang terjadi di dapur magma. Ketika magma mafik produk subduksi naik melalui kerak benua yang cenderung bersifat felsik, ia akan mengasimilasi batuan tersebut dan bermigrasi menjadi magma menengah (sub-alkali) ketika sampai ke permukaan. Proses ini terjadi lebih lambat sehingga memungkinkan memberikan banyak waktu untuk bereaksi dengan batuan samping (*country*) sekitar. Saat suhu turun, beberapa mineral mengendap di dapur magma dan mineral mafik mengkristal lebih dahulu sehingga lelehan yang terjadi lebih kaya silika. Lava andesitik memiliki tekstur umum porfiritik dan beberapa menunjukkan tekstur trakhitik pada batuan andesit dan sebagian obsidian/gelas yang

terdevitrifikasi pada batuan basal sebagai ciri khas pertumbuhan kristal yang cepat pada lava basal. Dapat disimpulkan batuan masif daerah Cisolok terdiri dari 2 episode letusan, yaitu pada fase pertama saat intrusi dasit (Tmda) memotong Formasi Cimapag (Tmc) terbentuk batuan dasit; fase kedua terjadi pada saat intrusi andesit (Tma) memotong Formasi Badui (Tmd). Karena dipengaruhi sesar naik, maka terbentuklah kelompok batuan andesit, andesit basaltik dan basal. Rangkuman mode petrogenesis daerah Cisolok dimulai dari:

1. Kristal fraksinasi (*fractionation*) dan asimilasi pada magma kelompok *sub-alkalin (high calc-alkaline)* yang menghasilkan batuan dasit. Batuan ini menjadi lebih kaya silika dengan ciri khas terjadi pengayaan K_2O , Na_2O , unsur jejak *incompatible* & penurunan unsur Ti, Fe, Mg, Ca, dan unsur jejak *compatible*. Dasit Cisolok kaya unsur pembentuk mineral silikat seperti Al, K, Ba, Bi, Rb, Th, Ti, Ce dan mineral khas batuan felsik seperti plagioklas, K-feldspar, dan kuarsa. Mineral yang terbentuk dari proses ini dimulai dari pengendapan mineral khas magma basa (yang bereaksi dengan batuan samping yang relatif asam), yaitu fenokris plagioklas (Ca-plagioklas), mikrolit plagioklas, amfibol, biotit, opak, amfibol pada massa dasar mikrolit/kristalit kuarsa dan plagioklas, serta pembentukan mineral *anorthoclase* $(Na,K)AlSi_3O_8$.

2. Pencairan sebagian pada dinding batuan (*partial melting*) dan differensiasi magma melalui intrusi dangkal yang memunculkan kembali magma basal naik ke permukaan yang menghasilkan batuan basal, andesit basaltik dan andesit. Hal ini dipengaruhi oleh perubahan komposisi magma menjadi kelompok seri sub-alkalin (*calc-alkaline*). Perubahan ini menghasilkan komposisi yang lebih miskin silika dan pengayaan unsur Ti, Fe, P, Ca dan Mg. Basal yang merupakan magma primer sebagai batuan yang tidak terkena efek terdifferensiasi tersebar cukup luas di daerah timur. Basalt ini lebih kaya alkali sehingga viskositasnya menjadi lebih rendah. Ciri proses *remelting* ini adalah memiliki tekstur porfiritik, urat yang memotong fenokris mineral atau retakan pada batuan dan pengisian masadasar dalam fenokris plagioklas pada batuan andesit (Gambar 4). Proses differensiasi magma menghasilkan pencampuran batuan cair (lelehan) dan fragmen-fragmen (fenokris) batuan dari batuan samping dapat dilihat dari tekstur yang berkembang dominan porfiritik dengan masa dasar berbutir halus. Magma ini yang kemudian mengisi kembali komposisi intrusi-intrusi menjadi batuan andesit dan andesit basaltik. Mineral yang dihasilkan proses ini lebih bersifat mafik dengan kehadiran fenokris piroksen di setiap batuan dan berkaitan dengan pembentukan mineral piroksen jenis hypersten $(Mg,Fe)SiO_2$, augit

(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)₂O₆ dan mineral andesin (AlSi)₄O₈.

3. Terjadi aktivitas hidrotermal dan endapan kimia paska pendinginan lava di permukaan dengan ciri khas adanya mineral sekunder klorit, biotit (sebagai ubahan dari mineral amfibol), opak (sebagai ubahan dari mineral amfibol) dan pengendapan mineral karbonat di beberapa batuan (sebagai hasil ubahan dari plagioklas dan piroksen), yang berasosiasi dengan kuarsa sekunder di sekitar batuan (Thompson, 1996; Falkowski, 2000; Boggs, 2006), dan pembentukan besi (Klein, 2005; Bekker, 2010). Pembentukan mineral opak magnetit (Fe₃O₄), hematite (Fe₂O₃) dan ilmenite (FeTiO₃) dan klorit hadir mengisi retakan di hampir setiap batuan beku di Cisolok, kehadirannya meningkat pada batuan-batuan rekahan atau di sekitar batuan intrusi andesit.

Prospek Batuan dan sumber daya Mineral

Batuan andesit dan dasit yang melimpah di beberapa tempat di sekitar Cisolok dapat menjadi potensi sumber daya batuan galian dan beragam sumber daya mineral. Terdapat beberapa tubuh intrusi dasit dan andesit yang tersebar di beberapa tempat memiliki kandungan cadangan yang tebal meskipun penyebarannya tidak begitu luas. Selain metode geokimia yang dirangkum, diperlukan beberapa pendekatan geofisika (geolistrik dan sebagainya) untuk mengetahui kondisi detail batuan dari bawah permukaan, seperti ketebalan dan luas rata-rata endapan andesit dan dasit yang tersebar di daerah ini.

KESIMPULAN

Karakteristik dan petrogenesis batuan beku di Cisolok

dan sekitarnya dikelompokkan menjadi dasit, andesit, andesit basaltik, dan basal. Batuan-batuan tersebut terbentuk pada zona subduksi yang dicirikan oleh magma yang berasal dari *continental arc* dan termasuk ke dalam lempeng benua aktif (*active continental margin* atau ACM). Ciri khas komposisi magma adalah *metaluminous* dengan seri magma *calc alkaline*, kecuali pada sampel dasit di daerah Pasir Randu menunjukkan *high-K calc alkaline series*. Petrogenesis antar varian batuan menunjukkan magmatisme daerah Cisolok, dimulai dari pengendapan magma produk subduksi yang dipengaruhi oleh fraksinasi dan asimilasi magma menghasilkan batuan dasit. Lalu terjadi proses *partial melting* dan differensiasi magma yang menghasilkan batuan andesit, andesit basaltik dan basal sebagai batuan primer yang lebih mafik. Kemudian, aktivitas hidrotermal mempengaruhi daerah tersebut. Paragenesis dan prospek sumber daya bahan galian andesit dan dasit di daerah Cisolok masih perlu banyak data tambahan seperti *dating*, isotop dan data bawah permukaan untuk hasil yang lebih baik. Metode geolistrik dapat digunakan untuk mengetahui ketebalan dan luas rata-rata endapan andesit dan dasit yang tersebar di beberapa tubuh intrusi dan lava di daerah studi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Padjadjaran yang telah membiayai kegiatan ini melalui skema riset *academic leadership grand* (ALG), serta kepada Badan Pengelola Geopark Global UNESCO Ciletuh-Palabuhanratu, dan semua rekan yang membantu proses pekerjaan lapangan dan pengambilan sampel di lapangan.

ACUAN

- Atwood, D.A., 2013. *The Rare Earth Elements: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons: 1171.
- Best, M., 1982. *Igneous and Metamorphic Petrology*. Freeman and Company, San Francisco, USA.
- Bemmelen R.W. Van, 1949. *Geology of Indonesia, Vol 1.a*. Martinus Nijhoff, the Hague, Netherlands.
- Bekker, A., Slack, J.F., Planavsky, N., Krapez, B., Hofmann, A., Konhauser, K.O., and Rouxel, O.J., 2010. Iron Formation: The Sedimentary Product of Complex Interplay among Mantle, Tectonic, Ocean, and Biospheric Process. *Economic Geology*, 105:467-508.
- Boogs, S., Jr., 2006. *Principles of Sedimentology & Stratigraphy, Fourth Edition*. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Falkowsky, P., Scholes, R.J. Boyle. E., Canadel, D., Elser, J., Gruber, N., Hibbard, K., Hogberg, P., Linder, S., Machenzie, F.T., Moore, B. III, Pederson, T., Rosenthal, Y., Seitzinger, S., Smentack, V., and Steffen, W., 2000. The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System. *Science, New Series*, 290(5490): 291-296.
- Frost, B.R., 2014. *Essentials of Igneous and Metamorphic Petrology*. Cambridge University Press, Cambridge: 58.

- Gill, R., 2010. *Igneous Rocks and Processes: A Practical Guide*. Wiley-Blackwell, Chichester:428.
- Hamilton, W.R. 1979. *Tectonics of the Indonesian Region*. USA: US Geological Survey Professional Paper.
- Hollocher, K., Robinson, P., Walsh, E. & 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: 357-416.
- Humphries, Marc. 2013. *Rare Earth Element: The Global Supply Chain*. Congression Research Service.
- Hutchison, C.S., 1973. Tectonic Evaluation of Sundaland: A Phanerozoic Synthesis. *Geol Soc. Malaysia Bulletin*, 61-86.
- 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.
- Katili, J.A. 1973. *Volcanisme Plate Tectonics in the Indonesian Island Arcs*. Tectonophysics.
- Klein, C. 2005. Some Precambrium Banded Iron-formation (BIF) from Around the World: Their Age, Geologic Setting, Mineralogy, Metamorphism, Geochemistry, and Origins. *America Mineralogist*, 90: 1473-1499.
- Jean, E., 1998. *Atlas of Micromorphology of Mineral Alteration and Weathering*. Mineralogical Association of Canada. Edition 3.
- Winter, J.D., 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- Le Maitre, L.E., ed. 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, 2nd Edition*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System. *Earth-Sciences Reviews*, 37:215–224.
- Morrison, S.M and Hazen, R.M. 2021. *On the paragenetic Modes of Mineral : A mineral evolution Perspective*. American Mineralogist, in press.
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in Carbonaceous and Ordinary Chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38:757 -775.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene Calc-alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58: 63–81
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973. Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determined using Trace Element Analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19:290–300.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the Sub-Continental Lithosphere in Magma Genesis at Active Continental Margins. In: Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J., Eds., *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva Cheshire, UK:230-249.
- Pearce, J.A. and Peate, D.W., 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 23:251-285
- 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.
- Rinaldi, I., Syafri, I., and Rosana, M.F., 2019. Petrological Characteristic and Whole Rock Geochemistry of Metamorphic Rocks in Melange Complex of Ciletuh Area, West Java, Indonesia. *International Journal on Advance Science Engineering Information Technology*, 9(6): 1798-1806.
- Satyana, A.H., Prasetyo, A., Rosana, M.F., 2021. Ciletuh Subduction, Southwest Java – New Findings : Nature, Age, and Regional Implications. *Proc. Indonesian Petroleum Association. 45 Annual Conention & Exhibition, September 2021*.
- Shand, S.J., 1943. *Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to ore Deposits with a Chapter on Meteorite*. John Wiley & Sons, New York.
- Sujatmiko dan Santosa, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Leuwidamar, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

-
- Thompson, A.J.B. and Thompson, J.F.H., 1996. *Atlas of Alteration: A Field and Petrographic Guide to Hydrothermal Alteration Minerals*. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division.
- Travis, R.B., 1955. *Classification of Rocks, 4th edition*. Colorado School of Mines, Colorado.
- Voncken, J.H.L., 2016. *The Rare Earth Elements: An Introduction*. Springer Briefs in Earth Sciences, Delf: 137.
- Wilson, M, 1989. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman, London, Boston, Sydney, Wellingson.
-