



Protolith Oceanic Island Arc dari Granitoid Tipe M dan I di Karang Sambung, Kebumen, Jawa Tengah

Protolith Oceanic Island Arc of M- and I-types Granitoid at Karang Sambung Area, Kebumen, Central Java

Chusni Ansori¹, Shaban Godang², Defry Hastria¹, Isyqi¹

¹Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karang Sambung – LIPI, Kebumen,

²Independent Geochemist, REE Researcher

email: chus001@lipi.go.id; ansorich.63@gmail.com

Naskah diterima : 14 November 2019, Revisi terakhir : 26 November 2019 Disetujui : 27 November 2019, Online : 29 November 2019

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.v20.4.249-262p>

Abstrak-Batuan granitoid yang dijumpai di kompleks melange Luk Ulo merupakan bongkahan batuan dengan tekstur faneritik berwarna abu-abu pucat (*pale grey*). Petrogenesis dan geotektonik pembentukan batuan granitoid tersebut sampai saat ini masih menimbulkan beberapa penafsiran. Sebagian ahli geologi menganggapnya sebagai plagiogranite yang terbentuk dari MOR atau leucogranite yang terbentuk dari *continental collision*. Sebagian lain berpendapat sebagai *arc-related* granitoid.

Penelitian lapangan dilakukan pada 5 (lima) lintasan di sekitar S. Luk Ulo serta 1 (satu) lintasan di S. Lokidang. *Pale-grey* Granitoid Karang Sambung tersusun dari mineral utama yang berupa K-feldspar (34-55%), plagioklas (10-25%) dan kuarsa (25-35%) dengan komposisi SiO₂ (61,25-66,06%), Al₂O₃ (13,94-14,61%), K₂O (2,53-4,00%), Na₂O (3,42 - 4,10%), CaO (2,32 - 4,76%), Fe₂O₃ total (5,85 - 8,71%), MgO (0,98 - 1,97%). *Pale-grey* Granitoid Karang Sambung termasuk tipe-M dan tipe-I, yang terbentuk pada temperatur 760° - 800°C dengan kedalaman sekitar 20-30 km. *Pale grey* granitoid terbentuk dari proses diferensiasi magma dari *fragment origin K-enriched oceanic island arc* di zone Karang Sambung. Sumber batuan asal (protolith) berasal dari hanyutan fragmen IAB. Conto-17D (basal) mempunyai rasio Nb/Ta yang relatif tinggi (20), kandungan Rb rendah (<2 ppm), Ba rendah (17 ppm), yang diinterpretasikan akibat terjadinya interaksi dengan magma mantel MORB yang mengandung *rutile-melt*. Batuan quartz monzonite (Conto 17A) mempunyai rasio Zr/Sm relatif rendah (3.86), diindikasikan terkontaminasi oleh carbonatite magma. Pola spidergram pada *mantle* metagabbro (conto-13) mempunyai kemiripan dengan batuan basal IAB-Bransfield Strait, Antartika. *Active Continental Margin Eurasia* (ACM-Eurasia) zona Karang Sambung ditafsirkan berasal dari 4 sumber blok batuan yaitu dari hanyutan fragmen IAB, mantel MORB, *continental crust* dari origin ACM-Eurasia, serta carbonatite magma.

Katakunci: Komplek Melange Luk Ulo, *pale grey* granitoid, *Island-arc* granitoid, granitoid tipe-M dan -I

Abstract-Granitoid rocks which found at Luk Ulo melange complex as rock fragments with *pale grey* colour and *faneritic texture*. Petrogenesis and geotectonic of the granitoid is under debate. Some geologists consider as plagiogranite, which is formed from the Mid Ocean-ridge (MOR); or leucogranite which is formed from *continental collision*, and others argue as *arc-related* granitoid type.

The field studies were carried out on 5 (five) tracks around Luk Ulo River and 1 (one) track at Lokidang River. The *pale grey* Karang Sambung granitoid is composed of the mainly K-feldspar (34-55%), plagioclase (10-25%) and quartz (25-35%), and chemically contains SiO₂ (61.25 - 66.06%); Al₂O₃ (13.94 - 14.61%), K₂O (2.53 - 4.00%), Na₂O (3.42 - 4.10%), CaO (2.32 - 4.76%), Fe₂O₃ total (5.85 - 8.71%), MgO (0.98 - 1.97%). The granitoid is M- and I-type that were formed at 760° - 800° C with a depth of about 20-30 km, resulting from the differentiation of magma from a fragment origin of the K-enriched oceanic island arc originating from drifting of the IAB fragment. The sample of basalt 17D has a relatively high of Nb/Ta ratio (20), low Rb (<2 ppm), low Ba (17 ppm), and is interpreted as interacting with MORB mantle magma containing *rutile-melt*; whereas quartz monzonite (17A) has a relatively low of Zr/Sm ratio (3.86), which is indicated to have been contaminated by a carbonatite magma. The spidergram pattern of mantle metagabbro (sample no. 13) similar with the basalt from IAB-Bransfield Strait (Antarctica). Results of a comprehensive geochemical study proposes that the current condition of the Karang Sambung zone is part of geotectonic of ACM-Eurasia, that composed of a combination of four rock fragments, i.e. (a) the rocks which sourced from IAB fragments, (b) mantle MORB, (c) continental crust from the origin of ACM-Eurasia, (d) the origin fragment from carbonatite magma.

Keyword: Luk Ulo Melange Complex, *pale grey* granitoid, *Island-arc* granitoid, M and I-type granitoid

PENDAHULUAN

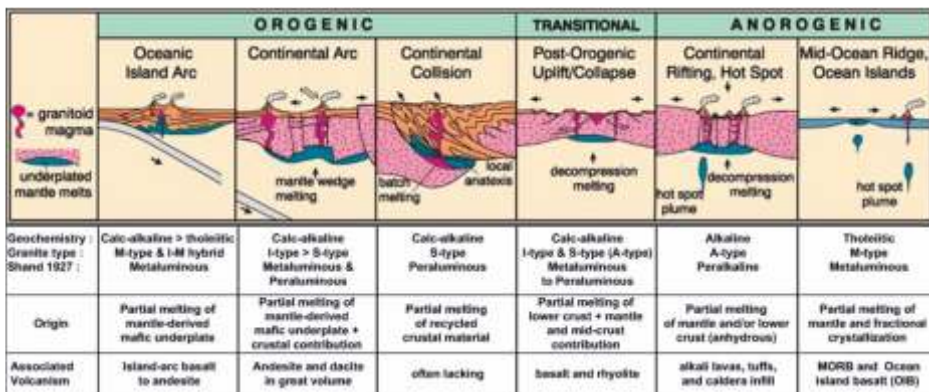
Batuan granitoid adalah kelompok batuan beku plutonik yang memiliki tekstur kasar, mengandung kuarsa sebagai komponen penting, umumnya berwarna merah muda (*pinkish*) atau abu-abu pucat (*pale grey*) tergantung kandungan plagioklas dan K-feldspar di dalamnya. Penampakan mineral warna gelap dari mafik mineral (seperti hornblende, biotit) juga menjadi penciri dari batuan granitoid ini (Graham, 1996 dan referensi terkait). Batuan granitoid dapat dibedakan jenisnya berdasarkan persentase kehadiran mineral kuarsa, alkali feldspar dan plagioklas (Streckeisen, 1967). Petrogenesis granitoid selalu dihubungkan dengan produk dari tatanan tektonik subduksi busur kepulauan (island arc) maupun tepi benua aktif (ACM), pelelehan parsial pada zona kolisi (*syn-tectonic collision*), *post-tectonic collision*, *oceanic-ridge plagiogranite* (MOR, *ocean island*), *rifting granite* (*within-plate*) (Maniar dan Piccoli, 1989). Klasifikasi granitoid berdasarkan tatanan tektonik disajikan pada Gambar 1.

Batuan granitoid di Karangsambung (Jawa Tengah) dijumpai berupa bongkah batuan di hulu Sungai Luk Ulo dan Sungai Lokidang, Komplek Mélange Luk-Ulo. Lokasi ini merupakan salah satu dari tiga tempat tersingkapnya batuan pra-Tersier di Jawa, yaitu Ciletuh (Jawa Barat) dan di Pegunungan Jiwo, Bayat (Jawa Tengah; Setiawan dkk, 2015). Granitoid ini ditafsirkan akibat dari penunjaman Lempeng Samudera Hindia ke bawah Margin Aktif Lempeng Benua Eurasia (ACM-Eurasia) atau sering disebut sebagai *continental arc granitoid*, diperkirakan terjadi pada umur Kapur Atas hingga Paleosen (Asikin, 1974). Tipe granitoid yang terbentuk dari tatanan tektonik ini secara umum disebut sebagai *Cordilleran-type granitoid* (Ducea dkk, 2015). Kehadiran granitoid di Komplek Luk Ulo, Karangsambung dilaporkan pertama kali oleh Ketner dkk, (1976) sebagai bagian dari melange. Selanjutnya,

Kadarusman dkk, (2010) menyebutkan bahwa granitoid di Komplek Luk Ulo sebagai protolith dari batuan metamorf psammitik (metagranite, quartzite, felsic granulite). Studi terakhir menunjukkan, granitoid berwarna abu-abu cerah (*pale grey*) terbentuk pada tatanan tektonik *continental-arc* (*Cordilleran-type granitoid*), dan kemungkinan merupakan hasil *post-tectonic collision* pelelehan parsial pada kerak benua (Setiawan dkk, 2015).

Kehadiran granitoid di zona Kompleks Melange Karangsambung sampai saat ini masih menimbulkan berbagai macam interpretasi geologi (Setiawan dkk, 2015).Demikian juga dengan penampakan warna granitoid yang berwarna abu-abu pucat (*pale grey*) dan merah muda (*pinkish*) sering menimbulkan berbagai interpretasi geotektoniknya. Diskusi dengan berbagai universitas (UGM, ITB, UPN, Akprind, STTNas) pada saat kegiatan praktek kuliah lapangan di Karangsambung, sebagian berpendapat bahwa *pale grey* granitoid adalah tipe plagiogranite yang terbentuk dari *Mid Ocean-ridge* (MOR). Sebagian lainnya berpendapat bahwa granitoid tersebut berupa leucogranite yang terbentuk dari *continental collision* (*continental collision granite*, CCG); dan sebagian lagi berpendapat bertipe *Arc-related* granitoid yang kemungkinan terbentuk dari *continental arc* atau *island arc*. Kemunculan *pinkish* granitoid pada umumnya diinterpretasikan terbentuk dari tatanan tektonik *continental arc* atau pelelehan parsial dari *sedimentary* (S-type granite) maupun *within-plate A-type granite* (Winter, 2014).

Penelitian ini merupakan studi ulang dari Setiawan dkk (2015) dengan maksud untuk lebih memastikan genesis dan tipe batuan beku *pale-grey* granitoid di kawasan Karangsambung dengan menambah model multi-diagram. Studi ini meliputi pengambilan conto batuan mafik, intermediat dan felsik yang berkaitan dengan batuan granitoid.



sumber: Pitcher (1983, 1993) dan Barbarin (1990), dalam Winter (2014)

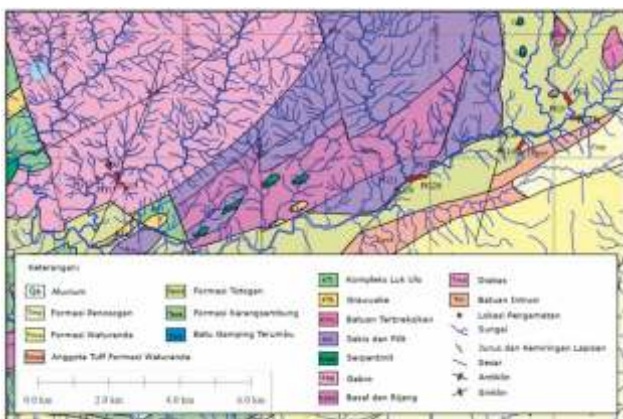
Gambar 1. Klasifikasi batuan granitoid berdasarkan posisi tektoniknya

METODE PENELITIAN

Penelitian ini meliputi penelitian lapangan dan analisa laboratorium. Penelitian lapangan dilakukan pada alur utama dan cabang S. Luk Ulo dan S. Lokidang sebanyak 5 (lima) lintasan dengan pengambilan 11 conto segar dan massif berupa batuan mafik hingga felsik. Analisa laboratorium meliputi analisa petrografi, geokimia dan penentuan umur batuan. Analisa geokimia meliputi unsur utama (*major oxides*), unsur jejak (*trace element*) dan unsur tanah jarang (REE) dilakukan di laboratorium Act Lab Canada dengan menggunakan metode XRF+LOI dan ICP-MS (dengan batas deteksi yang rendah). Analisa umur batuan menggunakan metode K-Ar juga dilakukan di Act Lab Canada, sedangkan analisis petrografi dilakukan di LIPI Karangsembung.

GEOLOGI REGIONAL

Geologi Karangsembung tersusun oleh berbagai macam jenis batuan sangat kompleks yang meliputi batuan yang terbentuk dari tektonik melange, sedimentary melange, batuan metamorf, batuan sedimen laut dalam, serpentinit, diabas, batuan basal mantel MORB serta batuan beku ultramafik hingga felsik dengan lingkungan pembentukan dan umur yang berbeda-beda serta struktur geologi yang kompleks. Susunan batuan daerah ini dimulai dari batuan tertua di Jawa yang mengalami pengangkatan dan erosi maksimal sehingga muncul di kawasan Karangsembung. Menurut Asikin (1974) susunan lapisan batuan daerah ini meliputi Komplek Melange Luk Ulo, Formasi Totogan-Karangsembung, Formasi Waturanda, dan Formasi Penosogan (Gambar 2).



sumber: Asikin., dkk (1974)

Gambar 2. Peta geologi dan lokasi daerah penelitian di Karangsembung.

Komplek Melange tectonic Luk Ulo merupakan satuan batuan bancuh (*chaotic*) dari berbagai macam batuan sedimen, batuan beku dan metamorf pada masa dasar lempung yang tergerus kuat (*pervasively sheared*). Kenampakan struktur boudinage dengan kekar gerus dan cermin sesar merupakan hal yang umum dijumpai pada permukaan batuan. Blok-blok batuan berupa *exotic block* maupun *native block* berukuran sentimeter hingga ratusan meter yang mengambang di atas lempung hitam tersebar luas dengan pola penyebaran sejajar arah gerusan. Formasi Karangsembung dan Formasi Totogan; umumnya terdiri atas percampuran sedimen fragmen-fragmen dan blok-blok (olistolit) seperti batupasir, batulanau, konglomerat, batugamping Nummulites dalam masadasar lempung dan diinterpretasikan sebagai endapan olistostrom (Asikin, 1974). Di beberapa tempat di bagian atas Formasi Totogan secara berangsur menjadi endapan aliran gravitasi yang berupa batulempung kerakalan serta terdapatnya endapan turbidit dengan struktur sedimen lapisan bersusun dan penggerusan sehingga kedua formasi ini diinterpretasikan memiliki kontak lateral yang berangsur. Formasi Waturanda; tersusun oleh breksi vulkanik serta batupasir dalam perulangan perlapisan yang tebal. Breksi umumnya tersusun oleh fragmen andesitik dengan ukuran beragam dari kerikil hingga bongkah. Masa dasar berupa pasir kasar, struktur sedimen yang dijumpai berupa perlapisan bersusun normal, bersusun terbalik, dan laminasi sejajar. Formasi ini diendapkan sebagai endapan turbidit, berumur Miosen awal (Asikin, 1974). Formasi Penosogan; tersusun oleh perlapisan batupasir tipis hingga sedang, batulempung, kalkarenit, napal tufaan dan tufa. Bagian bawah dicirikan oleh perlapisan batupasir-batulempung yang butirannya menghalus ke atas dan komponen karbonatnya semakin tinggi. Bagian tengah terdiri dari perlapisan napal dan lanau tufaan dengan sisipan tipis kalkarenit, sekwen Bouma berkembang baik. Bagian paling atas kandungan tufanya meningkat dengan dominasi napal tufaan dan tufa. Formasi Penosogan diendapkan pada lingkungan laut yang dipengaruhi arus turbidit.

HASIL PENELITIAN

a. Observasi Lapangan

Kegiatan lapangan dilakukan pada 5 (lima) lintasan sungai yang mencakup lintasan K. Gintung-Ngasinan (lokasi PG 1 s/d 5, lihat Gambar 3A), lintasan Hulu S. Luk Ulo-Kalidadap (lokasi PG 6 s/d 7, lihat Gambar 3B), lintasan anak S. Luk Ulo –Melokan (lokasi PG 8

s/d 10, lihat Gambar 3C)), lintasan S. Lokidang – Duren (lokasi PG 11 s/d 17, lihat Gambar 3D) dan lintasan S. Loning – Karangtengah (lokasi 18 s/d 25, lihat Gambar 3E).

Berdasarkan hasil analisis petrografi (Tabel 1), sebagian besar granitoid berupa batuan granit, dengan komposisi dominan berupa K-feldspar (35 – 45%) dan kuarsa (24 – 35%), Gambar 4a dan b. Tekstur perthite dan mikrografik dijumpai tanpa foliasi (Gambar 4c).

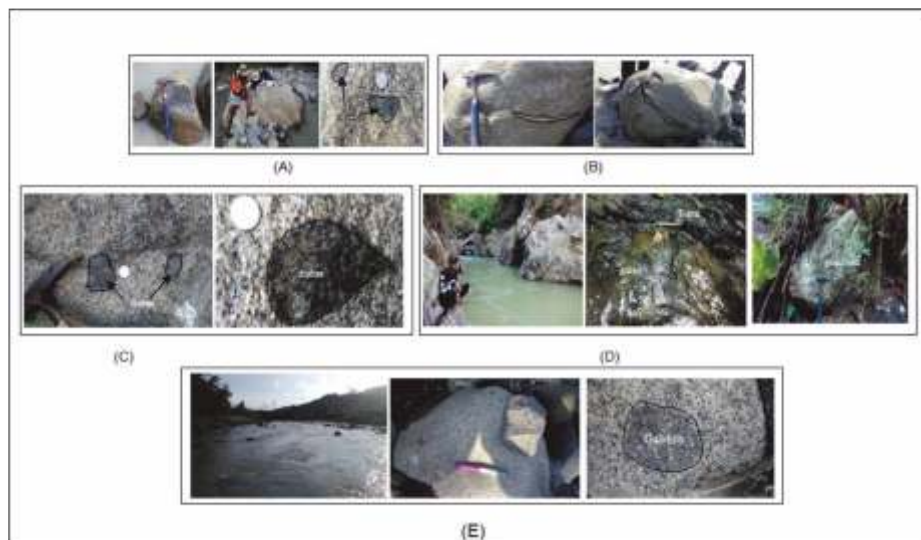
Pada semua batuan dijumpai mineral minor seperti biotit, opak; dan pada sebagian batuan mengandung mineral seperti hornblende, apatit, karbonat, zirkon, muscovite dan serisit. Batuan mafik seperti metagabbro, diabas dan basal (Gambar 4c, didominasi oleh Ca-plagioklas sebesar (45-50%), piroksin (30-40%), opak (10-18%), serta mineral lain berupa sericit, zirkon, tremolite (*amphibole group mineral*).

b. Fitur Geokimia dan CIPW Normative Mineralogi Batuan

Hasil analisis geokimia untuk unsur utama (major oxide), unsur jejak (*trace element*) dan unsur tanah jarang (REE) disajikan dalam Tabel 2 dan 3. Hasil plot pada Gambar 5B dan 5C menunjukkan bahwa 11 conto segar tersebut berupa batuan gabbro, basal, diabas, diorit, granodiorit dan *quartz monzonite*. Khusus

sampel oxidized high-Fe basalt (Conto 4B); yang memiliki kandungan $\text{SiO}_2 = 49,21\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t}) = 22,30\%$ hanya akan digunakan sebagai perbandingan pengkayaan REE terhadap tiga sampel basal/mafik lainnya (Conto 11, 17C dan 17D). Sebelas conto batuan yang dianalisa memiliki kandungan SiO_2 dari mafik hingga felsik (47,46% - 65,76%), MgO (11,75% - 0,98%), CaO (11,96% - 2,32%), Na_2O (1,90% - 4,1%), K_2O (0,38% - 4,00%), $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$ (13,94% - 5,85%), dan kandungan Al_2O_3 yang relatif datar (12,95% - 15,56%). Conto *oxidized-basalt* pada nomor 4B dengan kandungan $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t}) = 22,30\%$ diabaikan dalam plotting diagram tektonik diskriminasi basal/mafik karena telah mengalami pengkayaan trace element dan REE secara eksternal selama proses oksidasi.

Pada dua sampel high-Mg basalt (MgO: 7,16– 7,70%) untuk Conto 11 dan 17C memiliki nilai LOI yang relatif tinggi berturut-turut 4,91% dan 8,25%, menunjukkan adanya volatil primer yang relatif tinggi (seperti CO_2 , Cl, F dll). Kandungan gas tinggi teramati dari hasil analisis petrografi terdapatnya veinlet kalsit pada Conto 11 serta kandungan 5% kalsit pada Conto 17C. Kandungan kalsit pada kedua high-Mg basalt bukan karena efek hydrothermal namun merupakan kondisi alami magma untuk tipe *high-Mg basalt* (primary magma) yang secara umum memang sering menghadirkan volatile yang relative tinggi.



Gambar 3. (A) Bongkah granitoid pada alur K. Gintung dengan xenolith gabbro, lokasi PG1 dan PG4; (B) Granitoid dan veinlet silika yang dijumpai pada lokasi PG-6 dan PG-7, lintasan Luk Ulo-Kalidadap; (C) Granitoid dengan xenolit diabas yang dijumpai pada lokasi PG.10, lintasan Luk Ulo-Meloka; (D) Singkapan gabbro dan basal yang dijumpai disepanjang lintasan S. Lokidang-Duren, serta bongkah granitoid yang terdapat di lokasi PG.17; (E) Bongkah granitoid yang dijumpai di sekitar lokasi PG 23, lintasan Loning-Karangtengah.

Tabel 1. Hasil analisis petrografi

Nomer conto	#4(1B)	#1(4A)	#5(10.A.1)	#11(10.A.2)	#7(11)	#2(13)	#6(17A)	#8(17C)	#3(23)
Komposisi (%)	Granit	Granit	Granit	Diabas	Basal	Meta Gabbro	Granit	Basal	Granit
Plagioklas	15	25	10	50	45	50	5	45	17
Kuarsa	25	25	30				35		25
K-feldspar	41	35	55				44		33
Piroksin (Ortho)				30	36	40		40	
Biotit	6	10	1				0,5		7
Muscovite			3				11		
Horblenda	3								4
Opak	5	2		20	18	6	2	10	10
Karbonat	3	1			calcite veinlet		2	5	1
Sericite					1				1
Zircon		1					0,5		0,5
Apatite	2	1	1						1,5
Tremolit						4			
Aktinolit	1	--	--	--	--	--	--	--	--
Zirkon		1							



Gambar 4. Mikrofotograf hasil analisis petrografi: (a) Granit conto batuan 1.B, dengan tekstur perthitic, mikrografik dan granofirik yang didominasi oleh K-feldspar dan kuarsa; (b) Granit lokasi PG.4 yang didominasi oleh K-feldspar, kuarsa, plagioklas serta biotite; (c) Basalt lokasi PG.11 dengan tekstur porfiro afanitik dan ofitik, tersusun oleh mineral plagioklas, piroksin, sericite dan opak

Pemberian nama untuk batuan granitoid ($\text{SiO}_2 > 57\%$; diorit, granodiorit dan monzonite kuarsa) berdasarkan kombinasi hasil analisa petrografi, C.I.P.W normatif mineralogi, total alkali $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (wt%; tanpa normalisasi LOI), dan diagram fraksinasi Sr vs Rb (Arth, 1976). Penamaan diorit conto 10.A.1 mengacu pada kandungan $\text{SiO}_2 = 61.25\%$ ($< 63\%$ sebagai batas TAS) dan secara normatif mineralogi pada Gambar 14 (Trapezoid model), dimana sampel ini termasuk *zone potassic-andesine* yang masih mencirikan kondisi batuan intermediat. Penamaan granodiorit (Conto no 4A, 23, 1B) mengacu pada rentang $\text{SiO}_2 = 65,08\% - 66,60\%$, dimana hasil plotting menggunakan diagram Peccerillo dan Taylor, 1976 (Gambar 11) dan diagram Streckeisen, 1967 (Gambar 5B), termasuk granodiorit. Analisa petrografi ketiga sampel tersebut mengandung K-feldspar (33%-41%) yang mencerminkan bahwa ketiga granodiorit ini telah mengalami fraksinasi tinggi K-feldspar (Gambar 24). Nama batuan quartz monzonite (Conto 17A) mengacu pada kandungan $\text{SiO}_2 = 65,76\%$. Hasil plotting pada diagram Ternary O'Connor (1965) (Gambar 5C) termasuk quartz monzonite, sedangkan kandungan K-feldspar 44% secara petrografi hanya mencerminkan bahwa Conto-17A telah mengalami fraksinasi tinggi. Interpretasi ini didukung oleh diagram Art (1976) (Gambar 5N). Rasio $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$ pada diagram Gambar 5D mencerminkan adanya fraksinasi pada K-feldspar.

C. Penentuan Umur Batuan

Penentuan umur batuan dilakukan dengan menggunakan metoda pentarikan K-Ar di Act. Lab, Kanada pada conto granodiorit 4A yang didapatkan dari lokasi di Ngasinan. Bongkah batuan tersebut setelah dideteksi berumur $48,1 \pm 1,1$ juta tahun.

PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan tingkat ubahan batuan mafik MIA(o) (Tabel 2), komposisi rasio unsur utama pada batuan mafik (basal/metagabbro/diabas) berada pada kisaran 26,81 – 44,39 jauh di bawah batas angka 50. Hal tersebut menunjukkan bahwa conto batuan mafik tersebut adalah batuan segar (*fresh rock*). MIA(o) adalah *Mafic Index of Alteration (oxidized)* mengacu pada model ternary diagram dari Nesbitt and Wilson (1992), yang dimodifikasi oleh Babechuk dkk (2014). Sedangkan komposisi rasio untuk batuan felsik granitoid *Chemical Index of Alteration (CIA)* mengacu pada ternary diagram Nesbitt dan Young (1984) berada pada kisaran 45,27 – 50,44 jauh di bawah angka 55 menunjukkan sampel granitoid tersebut adalah sampel

batuan segar (*fresh rock*), lihat Tabel 2. Hasil plot pada diagram ASI (Gambar 5F; Shand, 1943) menunjukkan keseluruhan 11 sampel jatuh pada kluster metaluminous, yang mengindikasikan bahwa sumber magma berasal dari pelelehan parsial batuan beku yang berupa *mafic/meta-mafic rock*. Interpretasi ini didukung oleh model diagram pada Gambar 5G (Mg\# vs SiO_2 ; Schilling dkk, 1983) dan Gambar 5H (Jensen, 1976) juga menunjukkan tipe magma tholeiitic series.

Pada ternary diagram (Jensen, 1976) Gambar 5H menampilkan diskriminasi antara *primitive* magma, *primary* magma dan *differentiated* magma.

- Primitive magma: magma mantel yang belum mengalami diferensiasi magmatik (komatiitic basal, high-Mg basalt dengan nilai $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 0.7906$ dan $\text{Mg\#} > 62$),
- Primary magma: adalah magma yang sedikit mengalami diferensiasi magmatik, secara umum bisa berupa magma mantel ($\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.7906$).
- Differentiated magma: magma yang telah mengalami diferensiasi magmatik ($\text{Mg\#} < 62$); yang meliputi *high-Fe tholeiitic basal*, *tholeiitic andesite* hingga *rhyolite*, dan *calc-alkaline basal* hingga *rhyolite*.

Hasil plot dengan menggunakan rasio *trace element* $\text{La}/\text{Yb} < 3$ dan $\text{Th}/\text{Yb} < 0.35$ konsisten menunjukkan keempat sampel mafik tersebut adalah magma tholeiitic (Gambar 21 dan Gambar 5L; MacLean & Barrett, 1993). Conto metagabbro (13) tidak terplot karena memiliki nilai Nb dan Ta yang sangat rendah (*below detection limit by Act Lab Canada*). Pengeplotan pada semi-logaritma diagram $\text{K}_2\text{O vs SiO}_2$ (Gambar 5A) untuk conto metagabbro (Conto 13), basal (Conto 11) dan basal (Conto 17C) menunjukkan magma transisional (medium-K) yang menunjukkan adanya pengkayaan potasik pada *arc-tholeiitic (K-enriched arc-tholeiitic)*.

Hasil plot granitoid dan batuan basal pada diagram Gambar 5J (Harris dkk, 1986) termasuk tipe granitoid *volcanic-arc (VAG)* yang merupakan granitoid tipe-I. Granitoid tipe-I adalah granitoid yang batuan asalnya (protolith) berasal dari batuan beku (*igneous rock*). Kombinasi Gambar 5F (Shand, 1943) dengan Gambar 5J (Harris dkk, 1986) pada sampel conto 13 (mantle metagabbro) menunjukkan bahwa granitoid tersebut berkaitan dengan tipe-M. Granitoid tipe-M adalah granitoid yang terbentuk dari tatanan tektonik anorogenik berupa *Mid Ocean Ridge (MOR)*, *Ocean Island* maupun *Orogenic Oceanic Island Arc*, sumber magmanya berasal dari pelelehan parsial magma

mantel. Dari kajian tersebut maka granitoid ini dikategorikan sebagai granitoid tipe-I dan tipe-M. Diskriminasi lebih mendalam dilakukan untuk memastikan tipe *volcanic-arc* tersebut termasuk system tektonik yang berupa *continental volcanic-arc/ACM* atau *oceanic volcanic-arc (island arc)*. Untuk lebih meyakinkan maka dilakukan perluasan plotting dengan menggunakan model diagram diskriminasi pada batuan basal (Conto 11, 17C dan 17D) hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5K (Pearce, 1983), Gambar 5L (Hollocher dkk, 2012) dan Gambar 5M (Sun dkk, 2006; modified oleh Godang dkk, 2016). Hasil plot ketiga model tersebut konsisten menunjukkan ketiga conto batuan basal berada pada zona *oceanic-arc (island arc)*. Pengeplotan basal (Conto 17D) di dalam diagram Hollocher dkk (2012) terlihat sangat dekat dengan batas MORB (Gambar 5L). Sedangkan pengeplotan pada diagram sub-diskriminasi Coleman & Peterman (1975) (lihat Gambar 5A berada di dalam boundary sub-alkaline oceanic dan menyatu dengan high-Mg basalt mantle MORB dari Suparka (1986). Conto 17D memiliki konsentrasi Rb dan Ba yang sangat rendah masing-masing Rb < 2 ppm dan Ba = 17 ppm yang mengindikasikan posisi tektonik pada MORB (Taylor and Mc Lennan, 2001). Berdasarkan diagram dan nilai Rb, Ba yang sangat rendah maka terdapat indikasi kuat yang mengarah adanya interaksi (kontaminasi) antara basal (17D) dengan basalt mantle MORB, tetapi bisa juga dikatakan bahwa conto basal (17D) mungkin merupakan bagian dari MOR yang berinteraksi dengan basal dari Island Arc (IAB). Berdasarkan data geokimia dan hasil interpretasi diagram, maka proses pembentukan batuan granitoid mencakup 4 fase/tahap, yaitu:

* Tahap-I: Fase pelelehan parsial mantel dan evolusi magmatik hingga terbentuk granitoid

* Tahap-II: Kontaminasi magma pada *quartz monzonite* (17A) dan basal (17D).

* Tahap-III: Pengkayaan REE pada *oxidized high-Fe* basalt (4B).

*Tahap-IV: Karakteristik batuan metagabbro, basalt fragment IAB, basalt (17D), *oxidized-basalt* dan granitoid.

Tahap-I: Fase pelelehan parsial mantel dan evolusi magmatik hingga terbentuk granitoid.

Hasil analisis petrografi dan geokimia menunjukkan bahwa metagabbro (Conto 13) dipastikan berasal dari mantel magma primitif yang belum mengalami

diferensiasi, dibuktikan dengan $Mg\# = 71,18$ dan $MgO/Al_2O_3 = 0,81$ (lihat Gambar 5G dan 5H). Nilai tersebut konsisten dengan kehadiran ortopiroksin yang sangat tinggi secara petrografi sebesar 30%. *Primitive* mantle metagabbro dalam penelitian ini disebut sebagai batuan asal (protolith) yang mengalami pelelehan parsial akibat penunjaman antar dua lempeng samudera dan diinterpretasikan berevolusi menjadi primary magma basalt (Conto 11) dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5I yang disebut sebagai basalt-IAB. Interpretasi ini didasarkan pada kemiripan pola spidergram antara metagabbro (Conto 13) dengan primary magma basalt (Conto 11) yang memiliki kesamaan nilai dEu dengan anomali positif, masing-masing 1,22 dan 1,10 (Gambar 5P). Terdapat selisih nilai dEu menunjukkan adanya pengkayaan REE (28,25 ppm) dari metagabbro (Conto 13) menjadi basalt-IAB (Conto 11) dengan nilai 52,23ppm yang seiring dengan pengurangan nilai dEu (Eu/Eu^*). Dengan mengacu pada konsep hanyutan benua, yang dimana bahwa pada setiap terjadinya hanyutan benua pada era tertentu akan meninggalkan fragmen yang berupa MORB / IAB / OIB / mantle plume / continental (or ACM) / continental-rift pada zona lokasi tersebut. Di zona Indonesia telah terjadi proses magmatisme sejak 750 juta tahun lalu (Scotese, 2016; <https://www.earthbyte.org/paleomap-paleoatlas-for-gplates/>). Dengan mengadopsi teori hanyutan benua pada zona Komplek Melange Karangsambung ini, yang dimana mengandung batuan yang sangat kompleks, yaitu berupa metamorf tekanan tinggi, batuan sedimen laut dalam, serpentinit, magma primer mantel MORB dan batuan basal dari produk ACM-Eurasia serta terpantaunya kehadiran magma carbonatite metasomatism (lihat Gambar 5O); serta meyakini zona Pulau Jawa sekarang yang pada umumnya merupakan bagian dari ACM-Eurasia, maka dalam penelitian ini penulis berpendapat bahwa batuan asal (protolith) yang berupa metagabbro (Conto 13) dan basal (Conto 11) adalah fragmen Island Arc (IAB; lihat Gambar 5K 5L, 5M) yang hanyut dari suatu tempat yang hadir di zona Karang Sambung dan bergabung dengan ACM-Eurasia. Hasil pengeplotan *Normalized to Primitive Mantle* Diagram (Gambar 5P dan 5Q) menunjukkan adanya kemiripan pola spidergram antara IAB-Antarctica yang berumur 0,3 juta tahun (Keller dkk, 2002; Lawver dkk, 1995) dan IAB-Barren island (Chandrasekharam dkk., 2009) dengan basal-IAB (Conto 11). IAB-Antarctica dan basal-IAB (Conto 11) memiliki kesamaan dalam nilai dEu yang bersifat positif anomali yang masing-masing sebesar 1,07 dan 1,10 serta kemiripan rasio LREE & HREE yang masing-masing untuk IAB-Antarctica (LREE 41,77% & HREE

58,23%) dan basalt-IAB (Conto 11) dengan LREE 41,70% & HREE 58,30%. Magma IAB-Antartica dan basalt-IAB(Conto 11) kemungkinan berasal dari sumber magma (protolith) yang sama. Proses diferensiasi fragmen basalt-IAB (Conto 11) menjadi granodirit terjadi pada Eocene Awal (48 juta tahun lalu), lihat Tabel 4.

Tabel 4. Penentuan umur batuan menggunakan K-Ar pada granitoid lokasi 4A

Client ID	Activity	K, % ± σ	⁴⁰ Ar rad. (ppm)	% ⁴⁰ Ar air	Age, Myr	Error, %
AGS-0800-12		1.88±0.02	6.356±0.027	16.1	48.1	1.1

Paska hanyutan dan bergabungnya fragmen basal-IAB (Conto 11) ke dalam ACM-Eurasia, kemudian terjadi penunjaman Lempeng Samudra Hindia (Indian oceanic plate) ke bawah ACM-Eurasia dimana fragment origin IAB (Conto 11) ikut terdiferensiasi menjadi diabase (*microgabbroic-diorite*), diorite dan granodiorite, yang selanjutnya granodiorite tersebut disebut sebagai magmatik granitoid tipe-I. Interpretasi ini didukung oleh Trapezoid diagram (Gambar 5D dan diagram Gambar 5F (Shand, 1943) yang terlihat sebagai sebuah trend evolusi yang menyambung dari mafik ke felsik. Adanya pengkayaan potassik pada fragmen origin IAB(11) yang bersifat medium-K (K-enriched tholeiitic; Gambar 5A) diduga terjadi pada saat perjalanan hanyutan fragmen dari suatu tempat menuju dan/atau saat bergabung di dalam ACM-Eurasia di daerah Karangsembung. Sebagai pembanding adalah kemunculan batuan basalt Sungai Medana (Ansori, 2007) yang juga terbentuk dari Subduksi Lempeng Samudra Hindia ke bawah Margin Aktif Lempeng Benua Eurasia tetapi sumber magmanya berasal dari tatanan tektonik ACM dan terpisah dari sumber magma pada studi ini(Conto 13 dan 11). Interpretasi ini didukung oleh model diagram Gambar 5A(after Peccerillo and Taylor, 1976), Gambar 5D (Godang dkk, 2016), Gambar 5L(Hollocher dkk, 2012) dan Gambar 5M(Sun dkk, 2006). Peninjauan dari sisi nilai dEu anomali juga menunjukkan adanya perbedaan, dimana basalt Sungai Medana mempunyai nilai dEu negatif anomali (dEu = 0,78).Demikian juga dengan kehadiran basal di daerah Serayu Bagian Utara (zona Karangsembung) dan Selatan Serayu, Kab. Banyumas yang berupa tholeiitic basalt produk ACM dengan nilai dEu = 0.83 (Fadlin dkk, 2018). Temperatur pembentukan granitoid mengacu pada zircon saturation pada batuan yang mengandung konsentrasi Zr paling tinggi dan stabil, yaitu batuan granodiorit dengan Zr berkisar 143 – 220 ppm, dimana konsentrasi Zr pada quartz monzonite tidak dimasukkan dalam kalkulasi karena mengandung nilai Zr yang cukup rendah 51 ppm. Mengacu pada persamaan Watson & Harrison

(1983) $\{\ln[DZr(zircon/melt)] = (-3.80 - [0.85(M - 1)]) + 12900/T\}$, dimana DZr adalah rasio konsentrasi Zr hasil analisa laboratorium (ppm) terhadap Zr(melt), M indek adalah rasio kationik $[(Na + K + 2xCa)/(Al \times Si)]$, T = temperatur dalam oK, dengan hasil berkisar 1,62 – 1,74; sedangkan temperatur pembentukan Zircon pada batuan granodiorite berkisar 760° – 800°C. Pengeplotan pada diagram Sr vs Rb (Gambar 5N) menunjukkan granitoid Karangsembung (diorite, granodiorite, quartz monzonite) terbentuk pada kedalaman sekitar 20 – 30Km.

Tahap-II: Kontaminasi magma pada quartz monzonite (Conto17A) dan basalt (Conto 17D)

Berdasarkan spidergram REE (Gambar 5S) terlihat pola HREE quartz monzonite (Conto17A) untuk elemen Gd-Tb-Dy-Ho-Er-Tm-Yb-Lu-Y dan TREY berbentuk kurva laccolithic terbalik dan sangat berbeda dengan pola granodiorit ataupun diorite. Hasil analisa geokimia unsur Zr (Conto 17A) memiliki konsentrasi yang relatif rendah (51 ppm) dibanding dengan diorit dan granodiorit sebesar 129 ppm dan 143-220 ppm, sehingga menimbulkan kecurigaan. Quartz monzonite (Conto 17A) dengan konsentrasi potassik (K₂O) yang relatif tinggi (4%) dan rasio K₂O/Na₂O = 1,13 jauh lebih potasik dibanding dengan diorit dan granodiorit seperti yang disajikan di dalam diagram Trapezoid model (Gambar 5D). Hal tersebut menimbulkan kerancuan secara magmatic evolution hubungan antara kosentrasi potassic (K₂O) dengan evolusi Zr (evolved of Zr).Pengkajian ini terekspresi dengan jelas di dalam model diagram yang menggunakan plotting HFSE (Zr/Ti vs Nb/Y) pada Gambar 5E, posisi plotting rasio Zr/Ti quartz monzonite (Conto 17A) berada di bawah posisi diorit dan granodiorit. Di sisi lain pada plotting quartz monzonite yang melibatkan elemen lain dari HFSE yang berupa rasio Nb/Ta berada pada nilai 6.67 jauh di batas bawah 8,33 (Gambar 5O). Kondisi tersebut kemungkinan terjadi akibat kontaminasi quartz monzonite (Conto 17A) dengan magma lain. Pada grafik sub-discrimination La Flèche, dkk (1998) dan Godang, dkk (2016) pada Gambar 25, quartz monzonite mempunyai nilai rasio Zr/Sm yang sangat rendah yaitu 3,86 dan jatuh pada kluster karbonatite metasomatism. Berdasarkan konsistensi dari kelima gambaran di atas maka penelitian ini memberikan hipotesa bahwa batuan quartz monzonite mengalami kontaminasi (berinteraksi) dengan magma lain berupa magma karbonatit. Kemunculan magma karbonatit di daerah Karangsembung juga masih belum jelas. Sebagai

informasi tambahan bahwa kemunculan magma karbonatit juga terpantau pada batuan andesit Gede vulkanik kompleks (GVC; Jawa Barat), dimana kode sampel G57 dan G58 berinteraksi dengan magma karbonatit dengan rasio Zr/Sm berturut-turut 5,03 dan 4,41 (lihat Gambar 25). Data G57 dan G58 diambil dari Handley, 2006 (Disertasi S3, hal 225). Pembahasan lebih mendalam untuk basal (Conto 17D) pada spidergram Gambar 5R terlihat pola basal agak berbeda dengan primary magma basal (Conto11) maupun basal (Conto 17C) terutama pada deretan Rb-Th-Ba-U-Nb. Setelah dilakukan overlaying dengan model diagram Gambar 5O (Asaah dkk, 2014;Foley dkk, 2002) terlihat basal (Conto 17D) dengan rasio Nb/Ta = 20, berada di luar batas atas Nb/Ta (17,78).Hal tersebut kemungkinan basal (Conto 17D) telah terkontaminasi dengan magma lain dari pelelehan parsial magma yang kaya rutil (rutile-rich melting). Hal tersebut terlihat juga pada Gambar 5A dan Gambar 5L. Berdasarkan data-data tersebut, hasil penelitian di sini meyakinkan bahwa basal (Conto 17D) sangat mungkin terkontaminasi dengan magma mantel MORB yang mengandung *rutile-rich melting*. Basal MOR mempunyai rentang rasio Nb/Ta yang mencakup *rutile-free* hingga *rutile-rich mantle source melting* (Foley dkk, 2002).

Tahap-III: Pengkayaan REE pada oxidized high-Fe basalt (4B)

Hasil *plotting* sampel *oxidized high-Fe basalt* (Conto 4B) pada diagram yang telah dinormalkan dengan Primitive Mantle (Gambar 5S) serta Tabel-2 di atas terlihat adanya pengkayaan signifikan pada LREE sebesar 49,25 persen dibanding dengan ketiga sampel basal lainnya (Conto 11, 17C dan 17D). LREE pada conto 4B sebesar 61,27% dan 41,05% (avg). Demikian juga dengan peningkatan Total REE dari 78,37 ppm (avg dari ketiga sampel basal) menjadi 117,31 ppm pada conto 4B. Berdasarkan hal tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa konsentrasi REE pada batuan yang mengalami oksidasi akan meningkat seiring dengan terjadinya proses oksidasi di atmosfer. Batuan yang mengalami oksidasi adalah batuan yang terlindi (leaching) secara eksternal di atmosfer dimana secara teoritis dua komponen unsur utama, yaitu MgO dan CaO akan berkurang dan sebaliknya terjadi peningkatan konsentrasi Fe₂O₃(t).Pengurangan elemen Mg dan Ca serta peningkatan residu Fe terjadi pada mineral piroksin yang merupakan penghasil utama Fe₂O₃(t). Dalam proses oksidasi batuan yang teroksidasi secara makrokopis kelihatan masih sangat segar (massif), tetapi akan mengalami peningkatan nilai MIA(o) menjadi lebih tinggi dibanding batuan yang

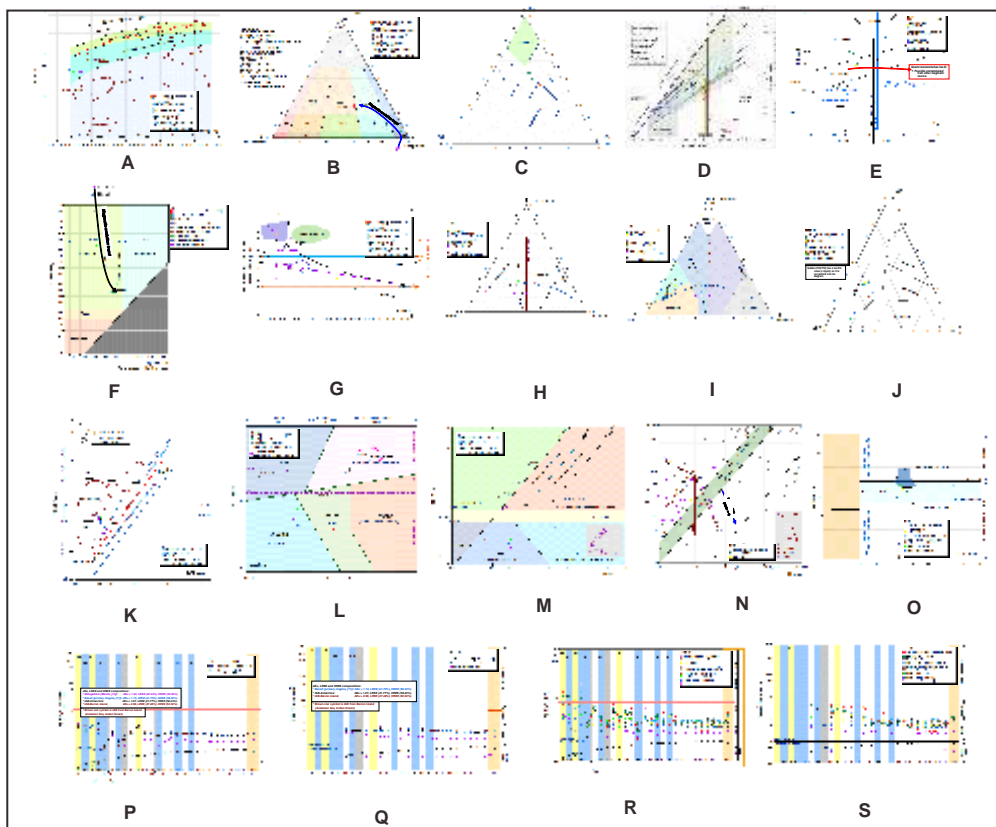
tidak mengalami oksidasi. MIA(o) untuk oxidized-basalt (4B) sebesar 50,67 dibanding dengan MIA(o) pada masing-masing Conto 11, 17C dan 17D berturut-turut 32,12; 35,31 dan 33,37. Dalam hal ini nilai MIA(o) 50,67 bukan mengindikasikan pelapukan pada batuan mafik. Secara kalkulasi nilai rasioternary MIA(o) yang tanpa dukungan penglihatan di lapangan kadang memang sulit membedakan MIA(o)>50 yang tergolong lapuk (weathered) dengan peningkatan nilai MIA(o) pada proses oksidasi seperti pada kasus ini. Khusus kasus ini, disebut sebagai pseudo-MIA(o) 50,67.

Tahap-IV: Karakteristik batuan metagabbro, basalt fragmen IAB, basalt (17D), oxidized-basalt dan granitoid.

Batuan primitif metagabbro memiliki karakteristik MgO tinggi (11,75%), Mg# tinggi(71,18), rasio MgO/Al₂O₂ tinggi(0,81), Ni (240 ppm), Cr (920 ppm), Rb rendah (9 ppm), Zr rendah (21 ppm), Eu positif anomali (dEu = 1,22), REE rendah (28,25 ppm) dengan LREE 46,44% vs HREE 53,56%.Pola spidergram menunjukkan penukikan tajam secara negative (distinctly negative spike) pada unsur Nb dan Ta (tidak tampak pada normalized diagram karena nilai Nb dan Ta sangat rendah, di bawah batas deteksi analisa Act Lab). Batuan tholeiitic basalt fragmen IAB(11) memiliki karakteristik MgO tinggi (7,70%), La/Yb = 2,Th/Yb = 0,28; Ni (150 ppm), Cr (360 ppm), Rb rendah (6 ppm), Zr (51 ppm), Eu positif anomali (dEu = 1,10), REE (52,23 ppm) dengan LREE 41,70% vs HREE 58,30%; pola spidergram menunjukkan penukikan tajam secara negatif pada unsur Nb, sedangkan pola spidergram REE terlihat relatif datar (*flat*). Batuan tholeiitic basalt (17D)memiliki karakteristik MgO tinggi (7,36%), Rb sangat rendah (<2 ppm), Ba rendah (17 ppm), U sangat rendah (<0.1 ppm), Eu negatif anomali (dEu = 0,84), REE (80,28 ppm) dengan LREE 37,16% vs HREE 62,84%.Pola spidergram tidak menunjukkan penukikan pada unsur Nb dikarenakan unsur U yang letaknya di sisi kiri Nb memiliki nilai yang sangat rendah. Batuan *oxidized-basalt* (4B) memiliki karakteristik Fe₂O₃(t) tinggi(22,3%), Eu negatif anomali (dEu = 0,72), REE (117,31 ppm) dengan LREE 61,27% vs HREE 38,73%, MIA(o) relatif tinggi 50,67, sepiantas seperti batuan yang telah mengalami pelapukan (*weathered rock*).Pola spidergram menunjukkan penukikan tajam secara negatif pada unsur Nb, P, Ti, dan pada pola spidergram REE menunjukkan pengkayaan LREE dari La --- Sm. Batuan granitoid (diorit dan granodiorite) memiliki karakteristik pola spidergram dengan penukikan tajam secara negatif pada unsur Nb, P, Ti dan pengkayaan pada

unsur Rb, Ba, Th/U, Zr/Hf & REE seiring dengan peningkatan potassic (K₂O). Pola spidergram REE menunjukkan pengkayaan pada LREE. Khusus batuan quartz monzonite memiliki karakteristik pola spidergram dengan penungkitan tajam secara negatif

pada unsur Ba, Nb, P, Ti, Zr/Hf dan pengkayaan pada unsur Rb, Th/U dan REE. Pada pola spidergram REE menunjukkan pengkayaan pada LREE tetapi berbentuk kurva laccolithic terbalik pada deretan HREE dari unsur Gd --- Y dan TREY.



Gambar 5. Diagram hasil pengeplotan Laboratorium: (A) Diagram *overlay* untuk klasifikasi batuan vulkanik pada *orogenic zone* (Peccerillo dan Taylor, 1976) dan diskriminasi oceanic plagiogranit (Coleman & Peterman, 1975); (B) Diagram segitiga klasifikasi batuan granitoid pada diagram Streckeisen (1967); (C) Diagram segitiga klasifikasi granitoid (O'Connor, 1965). An (anorthite), Or (orthoclase) and Ab (albite) yang diperoleh dari CIPW normative.; (D) Klasifikasi magma alkalin yang membedakan tipe batuan beku *ultra-potassic – Potassic – Shoshonitic – Sodic – Calc-alkaline rocks* dan Tholeiitic (Godang dkk., 2016); (E) Klasifikasi batuan menggunakan HFSE *trace elements* (Pearce, 1996) serta perbedaan antara Anorogenic dengan *Arc-related Granitoid* (after Eby, 1992); (F) Gambar tingkat kejenuhan alumina (Shand, 1943); (G) Gambar tingkat kejenuhan alumina (Shand, 1943); (H) Diagram segitiga klasifikasi magma komatiit (*Primitive Magma*), *Primary Magma (high-Mg basalt)* and *Differentiated Magma (DM)* (Jensen, 1976); (I) Klasifikasi batuan subalkalin vulkanik berdasarkan plotting kation (Jensen, 1976); (J) Diagram segitiga diskriminasi tektonik dari Basalt and Granitoid (Harris dkk., 1986). Hf, Ta and Rb in ppm; (K) Perbedaan antara arah peleburan mantel dengan Arc basalts (after Pearce, 1983). Magmatic Affinity: ratio Th/Yb (MacLean & Barrett, 1993); (L) Diagram diskriminasi tektonik untuk *Basalts* (Sun dkk., 2006; modified oleh Godang dkk., 2016). *Depleted -- Slightly -- Enriched Mantle* (Le Roex dkk., 1983); (M) Diagram fractional evolution dari *plagioclase and alkali feldspar* (after Arth, 1976)., *purple dashed-line: the inferred crustal thickness* (after Condie, 1973); (N) Diagram partial melting dari batuan mantel kaya rutil (Foley dkk., 2002), metasomatisme karbonatit (konversi La Flèche dkk., 1998 dan Godang dkk., 2016); diagram *Contamination vs Cogenetic evolution* berdasarkan diagram kristalisasi (Asaah dkk., 2014). Hasil pengeplotan quartz monzonite #6(17A) berada pada area karbonatit metasomatism, dan basalt #10(17D) mempunyai rasio Nb/Ta = 20 (lebih tinggi dari 17.78) dimungkinkan terkontaminasi dengan magma kaya mineral rutil; (O) Diagram *Incompatible to compatible multi-trace elements* yang dinormalisasi dengan *Primitive Mantle*. Diskripsi tingkat metasomatisme mantel hanya digunakan untuk penentuan tingkat metasomatisme batuan mafic berdasarkan TREY (modified dari Godang dkk., 2016). *Primitive Mantle (PM)* diadopsi dari McDonough dan Sun, 1995 dan *Depleted Mantle (DM)* dari Salters dan Stracke (2004); (P) Diagram *Incompatible to compatible multi-trace elements* yang dinormalisasi dengan *Primitive Mantle*. Diskripsi tingkat metasomatisme mantel hanya digunakan untuk penentuan tingkat metasomatisme batuan mafic berdasarkan TREY (modified from Godang dkk., 2016). *Primitive Mantle (PM)* diadopsi dari McDonough dan Sun (1995) dan *Depleted Mantle (DM)* dari Salters dan Stracke (2004). (Q) Diagram *Incompatible to compatible Rare Earth Elements (REE)* dinormalkan menjadi *Primitive Mantle*. Harga *Primitive Mantle (PM)* dan Chondrite diambil dari McDonough dan Sun (1995) dan *Depleted Mantle (DM)* dari Salters dan Stracke, 2004; (R) Diagram *Incompatible to compatible multi-trace elements* pada 11 conto batuan Karangsembung, normalisasi menggunakan *Primitive Mantle*; (S) Diagram *Incompatible to compatible Rare Earth Elements (REE)* conto batuan Karangsembung, normalisasi terhadap *Primitive Mantle*. HREE quartz monzonite #6(17A) kurvanya sangat kontras berbeda dengan 10 conto lainnya pada unsur Gd-Tb-Dy-Ho-Er-Tm-Yb-Lu-Y dan TREY.

KESIMPULAN

Dari pengkajian terpadu yang meliputi analisis petrografi, mineralogi, geokimia (unsur utama, unsur jejak dan REE) pada 11 conto batuan metagabbro, basal dan granitoid Karangsambung maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

(1) *Pale grey* granitoid (diorite, granodiorite, quartz monzonite) Karangsambung adalah granitoid tipe-M dan -I yang mengandung potassik dengan konsentrasi K_2O berkisar 2,53 – 4,00% dan terfraksinasi menjadi K-feldspar. Granitoid kemungkinan terbentuk pada temperatur 760 – 800°C, kedalaman sekitar 20 – 30 Km dari hasil differensiasi magma fragment origin *K-enriched oceanic island arc* (IAB) yang sumber batuan asalnya (protolith) berasal dari hanyutan fragment IAB.

(2) ACM-Eurasia pada daerah Karangsambung secara hipotetik mengandung empat fragmen blok yang

meliputi (a) fragmen origin dari hanyutan IAB, (b) fragmen origin dari mantle MORB, (c) original continental crust dari ACM-Eurasia, dan (d) fragmen origin dari carbonatite magma.

(3) Kontaminasi magma pada batuan basal (17D) berasal dari magma mantel MORB yang mengandung '*rutile-rich melting*'. Basal (17D) juga dimungkinkan merupakan bagian dari MOR, kontaminasi magma pada batuan *quartz monzonite* (17A) mengarah ke magma *carbonatite metasomatism*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala BIKK-LIPI Karangsambung atas dukungan dan pendanaan risetnya, juga sdr. Nugroho Imam Setiawan D.Sc., dari T. Geologi UGM, sdr Fadlin, M.Eng dari T. Geologi UNSOED atas diskusi dan sarannya.

ACUAN

- Ansori Chusni, 2007. Petrogeneses Basalt Sungai Medana Karangsambung, Berdasarkan Analisis Geokimia. *Jurnal Riset Geologi & Pertambangan Jilid 17 No.1* (2007) 37-50
- 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.
- Asaah, A.N.E., Yokoyama, T., Aka, F.T., Usui, T., Wirmvemd, M.J., Tchamabe, B.C., Ohba, T., Tanyileke, G., dan Hell, J.V., 2014. A comparative review of petrogenetic processes beneath the Cameroon Volcanic Line: Geochemical constraints. *Geoscience Frontiers xxx* (2014) 1-17
- Asikin, S., 1974. Evolusi Geologi Jawa Tengah dan sekitarnya ditinjau dari segi tektonik dunia yang baru. Laporan tidak dipublikasikan, Disertasi, Dept. Teknik Geologi ITB, 103 hal.
- Babechuk, M.G., Widdowson, M., dan Kamber, B.S., 2014. Quantifying chemical weathering intensity and trace element release from two contrasting basalt profiles, Deccan Traps, India. Elsevier, *Chemical Geology* 363 (56-75).
- Chandrasekharan, D., Santo, A.P., Capaccioni, B., Vaselli, O., Alam, M.A., Manetti, P., dan Tassi, F., 2009. Volcanological and petrological evolution of Barren Island. *Journal of Asian Earth Sciences* 35 (2009) 469-487
- Coleman R.G. dan Peterman Z.E. 1975: Oceanic plagiogranite. *Journal of Geophysics. Research.* 80, 8, 1099—1108.
- Condie, K.C., 1973, Archean magmatism and crustal thickening. *Geological Society of America Bulletin*, 84, 2981-2992.
- Ducea, M.N., Saleeby, J.B, dan Bergantz, G., 2015. The Architecture, Chemistry, and Evolution of Continental, Magmatic Arcs. *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences.* 43:10.1-10.33
- Eby, G.N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology* 20, 641-644.
- Fadlin, Godang, S., dan Hamzah, W.D., 2018. Active Continental Margin (ACM) Origin of Tholeiitic Magmatism in Northern and Southern Serayu-Banyumas, Central Java
- Foley, S., Tiepolo, M., dan Vannucci, R., 2002. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones. *Nature* 417, 837-840.

-
- Frost, B.R., dan Frost, C.D., 2008. A Geochemical Classification for Feldspathic Igneous Rocks. *Journal of Petrology*, Vol 49, No. 11, p. 1955-1969)
- Godang, S., Fadlin, dan 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, dan Heather.K., 2006. Geochemical and Sr-Nd-Hf-O isotopic constraints on volcanic petrogenesis at the Sunda arc, Indonesia. Disertation from Durham University.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A., dan Tindle, A.G., 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward, M.P., Ries, A.C. (Eds.), vol. 19. Collision Tectonics, *Geological Society, London*, pp. 67-81. Special Publication.
- Hollocher, K., Robinson, P., Walsh, E., dan 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
- Jensen, L.S., 1976. A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks.
- Kadariusman, A., Permana, H., Massone, H.J., Roermund, H.v., Munasri, dan Bambang, P., 2010. Contrasting protoliths of Cretaceous metamorphic rocks from the Luk Ulo accretionary wedge complex of Central Java, Indonesia. *The 39th IAGI Annual Convention and Exhibition*. 10pp.
- Keller, R.A., Fisk, M.R., Smellie, J.L., dan Strelin, J.A., 2002. Geochemistry of back arc basin volcanism in Bransfield Strait, Antarctica: Subducted contributions and along-axis variations. *Journal of Geophysical Research* vol. 107, NO. B8, 10.1029/2001JB000444
- Ketner, K.B., Kastowo, S., Modjo, C.W., Naeser, H.D., Obradovich, K., Robinson, T., Suptanda, dan Wikarno., 1976. Pre-Eocene rocks of Java, Indonesia. *Journal of Research United States Geological Survey*, 4, 605–614.
- Kinzler, R.J., 1997. Melting of mantle peridotite at pressures approaching the spinel to garnet transition: Application to mid-ocean ridge basalt petrogenesis: *Journal of Journal of Geophysical Research*, v. 102, p. 852–874. doi:10.1029/96JB00988
- La Flèche, R., Camiré, G., dan Jenner, G.A., 1998. Geochemistry of post-Acadian, Carboniferous continental intraplate basalts from the Maritimes Basin, Magdalen islands, Québec, Canada. *Chemical Geology* 148, 115–136.
- Le Roex, A.P., Dick, H.J.B., dan Watkins, R.T., 1992. Petrogenesis of anomalous K-enriched MORB from the Southwest Indian Ridge: 11°53'E to 14°38'E. *Contrib. Mineral Petrol (1992) 110*: 253-268
- Lawver, L.A., Keller, R.A., Fisk, M.R. dan Strelin, J.A., 1995. Bransfield Strait, Antarctic Peninsula: Active extension behind a dead arc, in *Back-Arc Basins: Tectonics and Magmatism*, edited by B. Taylor, pp. 315– 342, Plenum, New York.
- Maniar, P.D. dan Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids, *Geological Society of America Bulletin*, v. 101, p. 635-643.
- Mc Donough, W.F., dan Sun, S.S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120, 223-253
- MacLean, W.H., dan Barrett, T.J., 1993. Lithogeochemical technique using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration* 48(2), p. 109-133.
- Nesbitt, H.W. dan Wilson, R., 1992. Recent chemical weathering of basalts, *American Journal of Science*, 292, 740-777.
- Nesbitt, H.W. dan Young, G.M., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica Cosmochimica Acta* 48, 1523-1534.
- O'Connor, J. T., 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. US Geol. Survey Prof. paper, 525B: 79-84.
- Peccerillo, A., dan 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., 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. In Trace element geochemistry of volcanic rocks, applications for massive sulphide exploration, Short Course Notes. (Bailes, A.H., Christiansen, E.H., Galley, A.G., Jenner, G.A., Keith, Jeffrey D., Kerrich, R., Lentz, D.R., Leshner, C.M., Lucas, S.B., Ludden, J.N., Pearce, J.A., Peloquin, S.A., Stern, R.A., Stone, W.E., Syme, E.C., Swinden, H.S., Wyman, D.A., (ed). *Geological Association of Canada 12*, p.79-113.
- Salters, V.J.M., dan Stracke, A., 2004. Composition of the depleted mantle. G3 (Geochemistry, Geophysics, Geosystems) Volume 5, Number 5. doi:10.1029/2003GC000597
- Schilling, J.G., Zajac, M., Evans. R., Johnston. T., White. W., Devine, J. D. & Kingsley, R., 1983. Petrologic and geochemical variations along the Mid-Atlantic Ridge from 27°N to 73°N. *American Journal of Science*. v 283, 510-86.
- Scotese, Christopher., 2016. PALEOMAP PaleoAtlas for GPlates. <https://www.earthbyte.org/paleomap-paleoatlas-for-gplates/>
- Setiawan, N.I., Novian, M.I., Khalif bin Ahmad Aminuddin, M.I., 2015. *Petrologi, Geokimia dan Umur Batuan Granitoid di Komplek Luk-Ulo, Karangasambung, Kebumen, Jawa Tengah*
- Shand, S.J., 1943. The eruptive rocks: 2nd edition, John Wiley, New York, 444 p.
- 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 (in China Mandarin language)
- Suparka, M.E. 1986. Studi petrologi dan pola kimia kompleks ofiolit Karangasambung Utara, Luh Ulo, Jawa Tengah. Disertasi Doktor ITB, 181 hal.
- Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews 12*, 1–33.
- Taylor, S.R dan McLennan, S.M., 2001. *Chemical Composition and Element Distribution in the Earth's Crust*.
- Watson, E.B., dan Harrison, M.T., 1983. Zircon saturation revisited; temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet. Sci. Lett.* 64, 295–304.
- Winter, John. D, 2014 (2nd edition). *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Pearson
-