



Fraksionasi Plagioklas Pada Pembentukan Batuan Gunungapi Holosen Di Kabupaten Halmahera Barat

Plagioclase Fractionation On The Holocene Volcanic Rocks Evolution In West Halmahera Regency

Ipranta¹ dan Ronaldo Irzon^{2,3}

¹Puslitbang Geologi Kelautan, Jalan Dr. Djunjunan No.236, Husein Sastranegara, Kota Bandung

²Pusat Survei Geologi, Kementerian ESDM, Jalan Diponegoro no 57, Kota Bandung

³Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jalan Dipati Ukur no 35, Kota Bandung

Email: ronaldoirzon18@gmail.com

Naskah diterima : 09 Juli 2019, Revisi terakhir : 07 Agustus 2019 Disetujui : 08 Agustus 2019, Online : 09 Agustus 2019

DOI: 10.33332/jgsm.2019.v20.3.165-174p

Abstrak-Kompleksitas tektonik di daerah Maluku diakibatkan oleh interaksi tiga lempeng utama di wilayah ini, yaitu Filipina, Australia, dan Eurasia. Asal usul material pembentuk batuan gunungapi dari G. Jailolo, G. Sahu, G. Gamkonora, dan G. Ibu di Kabupaten Halmahera Barat menjadi tujuan penelitian. Analisis petrografi, unsur jejak, unsur tanah jarang juga dimanfaatkan untuk mempelajari proses pembentukan batuan maupun korelasi antar kelompok sampel. Mikroskop bipolar dimanfaatkan pada studi petrografi, sedangkan ICP-MS untuk analisis kandungan unsur jejak dan unsur tanah jarang. Hampir seluruh sampel diklasifikasikan sebagai andesit berdasarkan perbandingan komposisi kuarsa, K-feldspar, dan plagioklas. Terdapat kemungkinan adanya pencampuran antara kerak samudra dan kerak benua terhadap pembentukan batuan gunungapi Holosen berdasarkan diagram La/Yb versus Nb/La. Kristalisasi fraksional dianggap lebih berpengaruh dalam pembentukan batuan dibandingkan dengan pelelehan parsial. Pengaruh fraksionasi plagioklas dalam pembentukan empat kelompok batuan gunungapi ditunjukkan oleh diagram Y versus Sr/Y dan pola diagram laba-laba unsur tanah jarang. Peningkatan kadar unsur tanah jarang pada sampel dari G. Gamkonora dan G. Sahu sangat dipengaruhi oleh kristalisasi plagioklas selama pembentukan batuan.

Katakunci: batuan gunungapi, petrografi, geokimia, Halmahera Barat

Abstract- The tectonic complexity in the Maluku region is caused by the interaction of the three main plates in this area, namely: the Philippine, the Australian, and the Eurasian. The origin of volcanic rock-forming material from Jailolo Mount., Sahu Mount., Gamkonora Mount., and Ibu Mount. in West Halmahera Regency is the aim of this study. Petrographic, trace elements, rare earth elements analysis are also used to study rock formation processes and correlations between sample groups. Bipolar microscope was used for petrographic interpretation whereas ICP-MS was applied to measure the trace and rare earth elements content. Almost all samples are classified as andesite based on the comparison of the quartz, K-feldspar, and plagioclase compositions. There is a possibility of mixing between oceanic crust and continental crust of the studied Holocene volcanic which is indicated by La/Yb versus Nb/La diagrams. Fractional crystallization is considered more influential in rock formation compared to partial melting. The effect of plagioclase fractionation on the four volcanic rock groups are shown by the Y versus Sr/Y diagram and rare earth spider diagram patterns. Increased levels of rare earths in samples from Gamkonora Mount. and Sahu Mount. are strongly influenced by crystallization of plagioclase during rock formation.

Keywords: volcanic rocks, petrography, geochemistry, West Halmahera

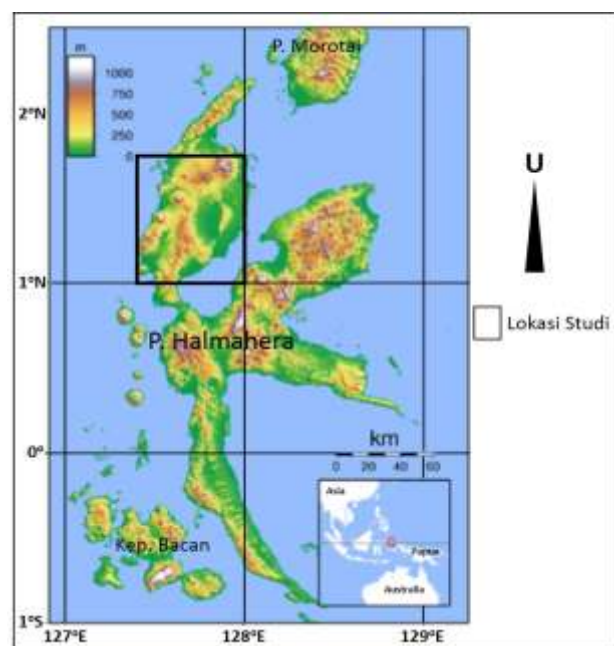
PENDAHULUAN

Tektonika wilayah Maluku cukup rumit karena dipengaruhi oleh tiga lempeng utama, yaitu Lempeng Filipina di utara, Lempeng Australia di selatan, dan Lempeng Eurasia di barat (Katili, 1978; Hamilton, 1979; McCaffrey *et al.*, 1980; Hall, 1987; Hall *et al.*, 1988; Hakim & Hall, 1991; Baker & Malaihollo, 1996; Gemmell, 2007; Setyanta & Setiadi, 2011; Di Leo *et al.*, 2012). Kerumitan tersebut disebabkan oleh perbedaan arah pergerakan maupun komposisi ketiga lempeng tersebut. Tumbukan tepi Lempeng Australia dengan jalur ofiolit Pasifik, maupun pergerakan lempeng di sepanjang Sesar Sorong diduga menjadi pembawa batuan berkarakter kerak benua di wilayah tersebut (Hall *et al.*, 1991), seperti yang terdeteksi di batuan dasit di Bacan (Morris *et al.*, 1983). Di sisi lain, kerak samudra di Laut Maluku sudah menyempit dan hampir hilang akibat subduksi (McCaffrey *et al.*, 1980; Hall, 1987; Bader *et al.*, 1999). Meski demikian, sebagian besar gunungapi tidak aktif di beberapa pulau kecil di selatan Halmahera dan ofiolit di Kepulauan Talaud diperkirakan merupakan potongan-potongan kerak samudra (Evans *et al.*, 1983; Morris *et al.*, 1983).

Metode petrografi dan geokimia telah dimanfaatkan untuk mempelajari tektonika di Kepulauan Maluku. Penyempitan Laut Maluku dapat disimpulkan akibat proses subduksi berdasarkan penggabungan metode gayaberat, seismik, dan batimetri (McCaffrey *et al.*, 1980). Proses deformasi sepanjang punggung laut Maluku-Filipina telah dibahas menggunakan data seismik dan batimetri (Bader *et al.*, 1999). Penelitian sebelumnya mendeteksi adanya subduksi curam ke arah timur di bawah Kepulauan Halmahera dan tidak tampak di lengan utaranya berdasarkan metode gayaberat (Setyanta & Setiadi, 2011). Pencampuran antara kerak benua dan samudra di Maluku dipelajari melalui analisis oksida utama, beberapa unsur jejak, isotop Sr, dan isotop Pb (Morris *et al.*, 1983). Kombinasi data petrologi dan geokimia unsur utama dan beberapa unsur jejak menunjukkan bahwa fraksinasi olivin dan klinopiroksen sangat berperan dalam evolusi magma basalt di Kepulauan Talaud (Evans *et al.*, 1983). Namun demikian, belum ada studi yang membahas mengenai karakter unsur tanah jarang di Maluku.

Pulau Halmahera adalah salah satu dari tiga pulau utama di wilayah Maluku, selain Pulau Obi dan Pulau Bacan. Secara regional Halmahera Barat merupakan jalur batuan gunungapi, dengan morfologi perbukitan yang berketinggian antara 100 hingga 1000 m dpl (Gambar 1). Wilayah timur Pulau Halmahera terdiri dari sedimen

klastik, batugamping, dan batuan ultramafik. Di sisi lain, aliran lava, tuf, ignimbrit, andesit, dasit, dan riolit membentuk wilayah barat pulau tersebut (Hase *et al.*, 2015). Deposit emas dan perak di Gosowong yang merupakan bagian dari wilayah barat Halmahera telah dibahas di penelitian sebelumnya (Gemmell, 2007; Hase *et al.*, 2015). Studi ini bertujuan untuk mempelajari sumber material dari aliran lava di beberapa daerah gunungapi di Kabupaten Halmahera Barat berdasarkan analisis geokimia. Deskripsi petrologi dan analisis lengkap unsur tanah jarang dipergunakan untuk mempelajari proses pembentukan batuan maupun korelasi antar aliran lava tersebut.



Gambar 1. Peta Pulau Halmahera yang berada di Kepulauan Maluku. Wilayah studi berada di daerah perbukitan dengan ketinggian hingga 1000 m dpl.

GEOLOGI DAERAH STUDI

Studi ini berada di antara koordinat 1° - 2° Lintang Utara, di Peta Geologi Lembar Lembar Morotai skala 1:250.000 (Supriatna, 1980), yang terdiri dari satuan-satuan batuan beku, batuan gunungapi, dan sedimen. Komplek Batuan Ultrabasa, Gabro, Diorit dan Andesit merupakan satuan batuan beku. Dua unit batuan beku tertua telah terbentuk sebelum zaman Kapur, sedangkan diorit dan andesit membeku pada kala Miosen dan Holosen secara berturut-turut. Unit batuan sedimen dari tua ke muda secara berurutan adalah: Formasi Dodaga (Kapur), Formasi Dorosagu (Paleosen), Formasi Tutuli (Miosen), Formasi Tingteng (Miosen - Pliosen), Formasi Weda (Pliosen), Formasi Togawa (Plistosen), Batugamping Terumbu (Plistosen - Holosen), dan Aluvium (Holosen). Pada satuan gunungapi yang

terdiri atas Formasi Bacan, Formasi Kayasa, Tuf, dan Batuan Gunungapi berumur Holosen. Hanya Formasi Bacan yang berumur Tersier, sedangkan yang lainnya berumur Kuartar. Daerah penelitian merupakan batuan Gunungapi berumur Holosen di sekitar empat gunungapi di Halmahera Barat, yaitu Gunung Jailolo, Gunung Sahu, Gunung Gamkonora, dan Gunung Ibu.

METODOLOGI

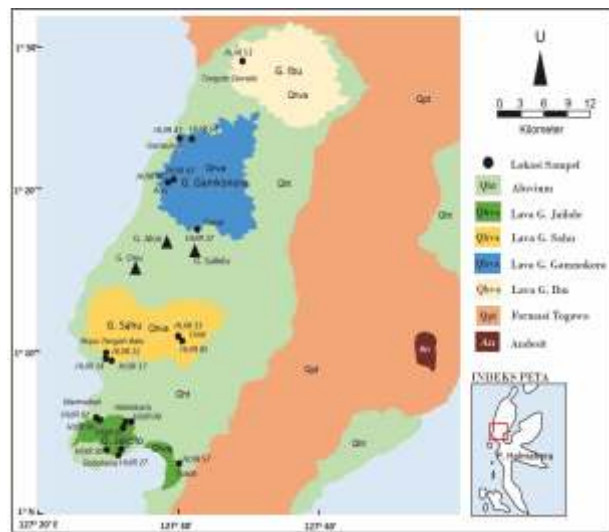
Pengambilan Contoh

Tujuh belas sampel yang dipelajari merupakan Batuan Gunungapi berumur Holosen yang terdiri dari lava andesit dan lava basal (Supriatna, 1980; Gambar 2). Tujuh sampel diperkirakan sebagai lava andesit dari Gunung Jailolo. HUIR 02 dan HUIR 07 diperoleh dari bongkah endapan aliran lava, sedangkan HUIR 04 singkapan andesit masif di lembah gunung di Desa Hatebicara. Tiga sampel berlokasi di sekitar Desa Bobahena, yaitu HUIR 24 dan HIUR 30 yang berstruktur masif dan HUIR 27 dengan sebaran skoria di permukaan singkapan. Sampel andesit abu-abu, masif, dan kompak berikutnya diambil dari singkapan di Tuada (HUIR 57). Dua lokasi lava andesit terdeteksi di Desa Marimabati, yaitu HUIR 92 dan HUIR 95. Meski kedua singkapan tersebut berukuran kristal halus dan masif, HUIR 92 berwarna sedikit kemerahan dengan skoria, sedangkan HUIR 95 berwarna lebih gelap.

Karakterisasi lava andesit dari Gunung Sahu terwakili oleh empat sampel. Fragmen andesit berukuran bongkah terdapat di suatu singkapan selang-seling tuf berukuran pasir hingga kerakal di Desa Ropu Tengah Balu (HUIR 14). Sekitar 1 km di barat dan 1 km di utara lokasi ini dapat dijumpai singkapan andesit masif di stasiun HUIR 17 dan HUIR 22. Perselingan tuf pasir, fragmen batupung, dan bongkah andesit terdeteksi di lokasi HUIR 33 di sekitar Goal. Intrusi andesit abu-abu dan masif di Tongute Ternate (HUIR 51) merupakan satu-satunya sampel dari wilayah Gunung Ibu. Struktur aliran dapat diamati di singkapan andesit berwarna abu-abu berbutir halus dekat dengan air terjun di tepi Sungai Akelamo (HUIR 85)

Batuan andesit abu-abu, berbutir halus, porifitik, masif, dan kompak (HUIR 37) terdeteksi di wilayah Tosoa. Batuan vulkanik di dua titik lain di Desa Adu, yaitu HUIR 40 dan HUIR 43 tampak telah ditambang sebagai bahan bangunan dan pengeras jalan. Sampel dari kedua stasiun ini diambil dari bongkah berdiameter >1 m. Sampel HUIR 47 diperoleh dari tepi pantai barat Pulau Halmahera berupa andesit berwarna abu-abu, porfiritik, dan masif. Sampel terakhir yang diperkirakan berasal dari kegiatan Gunung Gamkonora adalah HUIR 54

dengan sebaran skoria di permukaan bongkah batuan. Beberapa kedaan singkapan di lokasi penelitian dapat diamati di Gambar 3.



Sumber: Modifikasi dari Supriatna (1980)

Gambar 2. Lokasi Pengambilan sampel di wilayah satuan Batuan Gunungapi berumur Holosen di sekitar empat gunungapi di Kabupaten Halmahera Barat.



Gambar 3.a). Morfologi Gunung Jailolo yang berbentuk kerucut; b) Lava andesit porfiritik, berstruktur scoria, tersingkap di kaki G. Jailolo, Desa Hatebicara. Daerah ini merupakan lembah sungai kering dengan lebar sekitar 10 m. Batuan (HUIR 07) merupakan aliran lava; c). Singkapan lava andesit dengan struktur aliran lava N35oE (HUIR 27); d). Batuan andesit berwarna abu-abu di Desa Adu (HUIR 43) tampak telah diusahakan sebagai bahan bangunan; e) Singkapan andesit abu-abu, masif kompak dan keras di sungai, Desa Trans Goal (HUIR 85); dan f) Singkapan andesit di lokasi HUIR 92 di Desa Marimabati berwarna sedikit kemerahan.

Analisis Laboratorium

Mikroskop polarisasi dan *Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry* (ICP-MS) milik Laboratorium Pusat Survei Geologi dimanfaatkan sebagai dua perangkat analisis pada studi ini. Empat belas sampel telah dijadikan sayatan tipis untuk kemudian dianalisis kandungan mineral utama, masa dasar, mineral aksesori, ukuran kristal, tingkat kesegaran batuan, dan penamaan batuan. Di laboratorium, sampel dicuci, dikeringkan, dan dibuang bagian lapuknya untuk kemudian dipreparasi lebih lanjut menggunakan bahan kimia. Kombinasi AGV-2 dan GBW 07113 digunakan karena *reference value* di keduanya dapat saling melengkapi terhadap kelengkapan analisis unsur jarang dan unsur tanah jarang. Seluruh sampel berikut dua *certified reference material* dipreparasi mengikuti tahapan di penelitian sebelumnya (Irzon, 2018)

HASIL ANALISIS

Analisis Mikroskopis

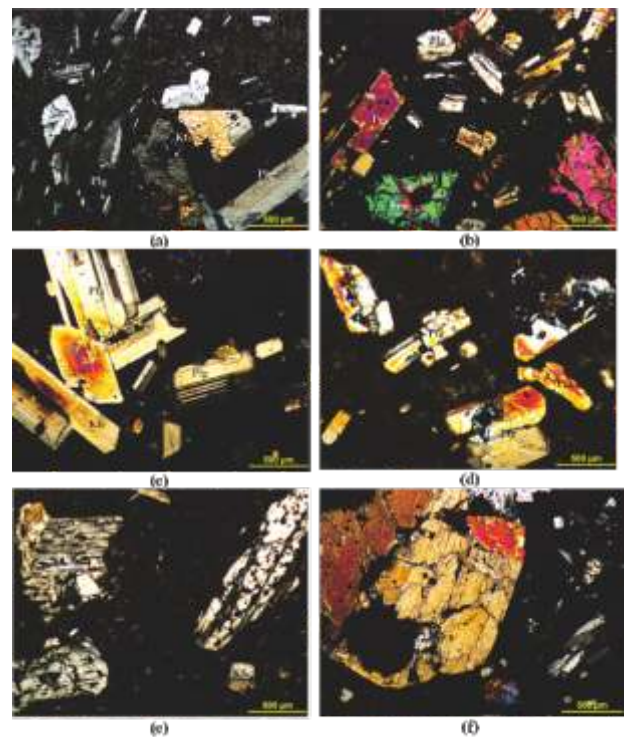
Plagioklas tidak berwarna, subhedral, dan berukuran hingga 0,5 mm merupakan mineral utama penyusun batuan dengan kisaran 30% - 52%. Kembar albit lazim ditemui di mineral ini. Jenis plagioklas di HUIR 02, HUIR 04, dan HUIR 07 sulit ditentukan, sedangkan andesin adalah jenis plagioklas di sembilan sampel lain. Piroksen subhedral-euhedral dan berwarna coklat kehijauan terdeteksi di hampir seluruh sampel, kecuali HUIR 02, HUIR 04, dan HUIR 37, dengan rentang 5-13%. Seluruh sampel dibentuk oleh K-felspar dengan jenis ortoklas berkadar 4% hingga 18%. Kuarsa di sampel tidak lebih dari 10% kecuali HUIR 33 yang berisi 15% kuarsa.

Secara umum, mikrolit felspar dan gelas berukuran halus (<0,1 mm) merupakan masa dasar batuan hingga kelimpahan mencapai 40%. Beberapa mineral aksesori dapat dijumpai, yaitu apatit (HUIR 14, HUIR 24, HUIR 37, dan HUIR 51) dan zirkon (HUIR 33 dan HUIR 37). Batuan yang diamati umumnya relatif segar dengan jumlah mineral ubahan <<10%. Sebagian kecil felspar telah berubah menjadi serisit dan/atau klorit di sebagian sampel. Deskripsi petrografi sampel yang dipelajari terangkum dalam Tabel 1. Beberapa mikrofoto di penelitian ini ditampilkan di Gambar 4. Hampir seluruh sampel yang dianalisis tergolong sebagai andesit/basalt menurut diagram QAP (Streckeisen, 1978), kecuali

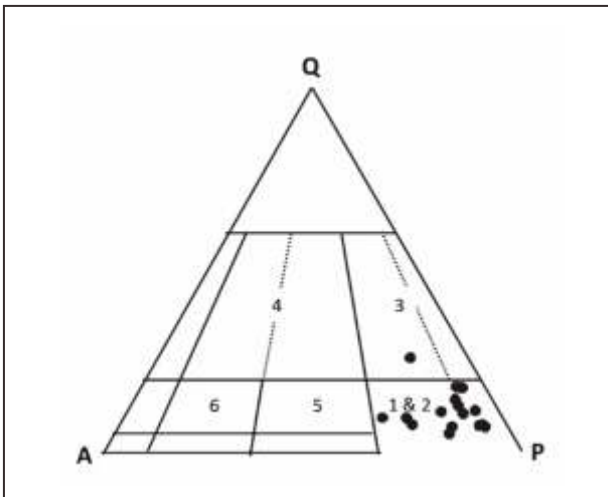
HUIR 33 yang dikategorikan sebagai dasit karena memiliki kadar kuarsa yang tinggi (Gambar 5). Lebih lanjut, enam belas sampel ini didefinisikan sebagai andesit karena kadar plagioklas <50%, kecuali HUIR 24 sebagai basalt yang mengandung 52% plagioklas.

Tabel 1. Komposisi mineral di contoh terpilih dalam satuan %. Plg = plagioklas, Prx= piroksen, Kfs = K-felspar, Krs= Kuarsa, Min. Bjh = mineral bijih, apt= apatit, zrk= zirkon, klrt= klorit, Srst = serisit

No	Sampel	Fenokris					Masadasar	Mineral Aksesori	Mineral Ubahan		Deskripsi Masadasar
		Plg	Prx	Kfs	Krs	Min. Bijih			Klorit	Serisit	
1	HUIR 02	34	18	5	3	40				Mikrolit felspar, mineral mafik dan	
2	HUIR 04	38	15	5	2	40				Mikrolit felspar dan gelas	
3	HUIR 07	40	6	5	2	37				Mikrolit felspar dan gelas	
4	HUIR 14	30	12	4	7	2	40	1 (apt)	4	Mikrolit felspar dan mineral mafik	
5	HUIR 24	52	7	6	4	2	20	1 (apt)	7	1	Mikrolit felspar
6	HUIR 27	41	12	4	3	2	32		4	2	Mikrolit felspar
7	HUIR 33	35	5	10	15	2	30	1 (Zrk)	1	1	Mikrolit felspar dan mafik mineral
8	HUIR 37	40	15	4	2	38	1 (apt+Zrk)				Mikrolit felspar
9	HUIR 40	32	11	5	5	2	42		2	1	Mikrolit felspar dan mafik bijih
10	HUIR 43	38	13	4	5	2	37			1	Mikrolit felspar, mineral mafik, dan mineral bijih
11	HUIR 47	35	7	8	2		43		4	1	Mikrolit felspar
12	HUIR 51	35	5	4	8	2	43	1 (apt)		2	Mikrolit felspar
13	HUIR 54	38	12	4	3	1	40			2	Mikrolit felspar, mineral mafik, dan
14	HUIR 57	38	8	6	7	1	40				Mikrolit felspar dan gelas
15	HUIR 85	38	5	6	7	1	42			1	Mikrolit felspar dan gelas
16	HUIR 92	38	6	8	3		44			1	Mikrolit felspar dan mineral mafik
17	HUIR 95	35	6	8	5	1	44			1	Mikrolit felspar dan mineral mafik



Gambar 4. Mikrofoto batuan gunungapi Holosen di studi ini: a) andesit cukup segar yang terutama terdiri dari plagioklas dan sedikit K-felspar (HUIR 04); b) piroksen masih dapat dilihat di batuan andesit HUIR 14; c) kembar albit diperlihatkan di batuan dasit dari lokasi HUIR 33; d) andesit HUIR 51 yang menunjukkan zoning plagioklas; e) HUIR 92 merupakan batuan andesit dengan fenokris berupa plagioklas dan K-felspar dalam mikrolit felspar sebagai masa dasar; dan f) HUIR 95 sebagai batuan andesit dari desa Marimabati.



Gambar 5. Lima belas sampel, HUIR 24, dan HUIR 33 di penelitian ini dikategorikan sebagai andesit (plagioklas <50%), basalt (plagioklas >52%), dan dasit secara berurutan. 1 = basalt, 2 = andesit, 3 = dasit, 4 = riolit, 5 = kuarsa-latit, dan 6 = kuarsa-trakit.

Kadar Unsur Jejak dan Unsur Tanah Jarang

Di antara delapan unsur jejak yang diperiksa kadarnya, Sr dan Ba adalah unsur dengan kelimpahan tertinggi dengan kisaran 250 -517 ppm dan 123-536 ppm secara berurutan. Rataan kandungan Ga dan Sc masih >10 ppm, yaitu masing-masing 15,7 ppm dan 28,4 ppm. Empat unsur jarang lainnya berada dalam kadar <<5 ppm, yakni Nb, Cs, Ta, dan Tl (Tabel 2). Total jumlah delapan unsur jarang tersebut di dua puluh contoh andesit berada di rentang 577 ppm hingga 857 ppm dengan rata-rata 715 ppm. Jumlah unsur tanah jarang batuan gunungapi di studi ini berkadar rendah-sedang dengan rentang 36 ppm hingga 119 ppm. Cerium, neodimium, dan lantanum terdeteksi sebagai unsur jarang utama dengan kelimpahan masing-masing 21 ppm, 13 ppm, dan 9 ppm secara berurutan. Komposisi unsur tanah jarang di setiap sampel terlampir di Tabel 3.

PEMBAHASAN

Tektonika dan Sumber Lava

Tektonika batuan basaltik di wilayah dapat dipelajari melalui karakter geokimianya. Diagram segitiga MnO-P₂O₅-TiO₂ (Mullen, 1983), diagram segitiga MgO-FeO-TiO₂-Al₂O₃ (Pearce *et al.*, 1977), dan rasio logaritmik sepuluh analit (Verma *et al.*, 2006) diajukan berdasarkan kadar oksida utama. Data Zr-Ti-Sr-Y (Pearce & Cann, 1973), diagram segitiga Zr-Y-Nb (Meschede, 1986), perbandingan logaritmik La-Sm-Yb-Nb-Th (Agrawal *et al.*, 2008), dan rasio Nb/La

terhadap La/Yb (Hollocher *et al.*, 2012) dibuat berdasarkan komposisi unsur jejak dan/atau unsur tanah jarang. Sebagian besar batuan Gunungapi Holosen dari Halmahera Barat diplot di wilayah continental arc pada diagram Hollocher *et al.* (2012) kecuali dua sampel dari G. Gamkonora dan dua sampel dari G. Jailolo yang berada di wilayah oceanic arc (Gambar 6). Berdasarkan komposisi Nb-La-Yb tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel dari wilayah studi bersumber berbeda dengan sebagian besar batuan gunungapi di barat Halmahera dan di beberapa pulau kecil di selatan Halmahera yang merupakan potongan kerak samudra. Namun demikian, tipikal ini mirip dengan batuan dasit di Pulau Bacan (Morris *et al.*, 1983). Meski sebelumnya batuan gunungapi di G. Jailolo dan G. Ibu dideskripsikan berasal dari kerak samudra, penelitian tersebut juga membuka kemungkinan adanya heterogenitas asal usul lava (Morris *et al.* 1983) untuk menjelaskan ketidaksamaan pada klasifikasi La/Yb versus Nb/La di studi ini.

Fraksionasi Batuan Gunungapi

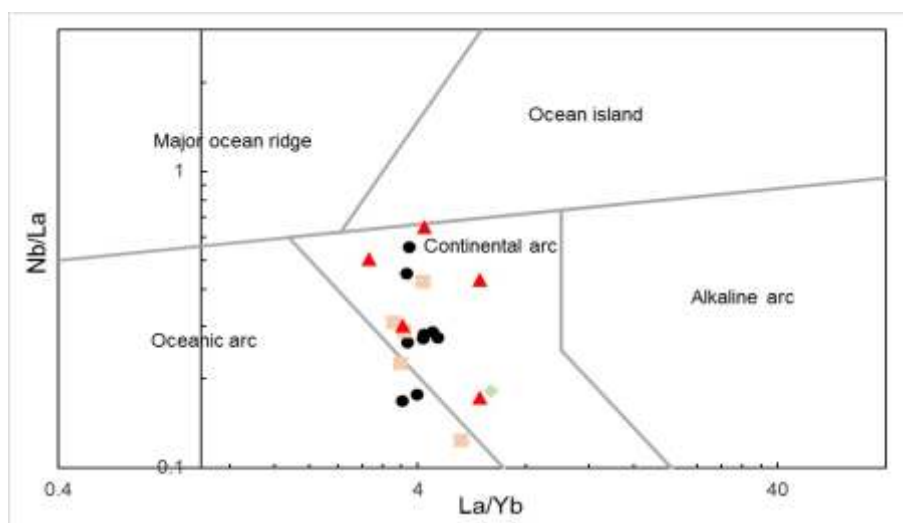
Terminologi adakit diperkenalkan pertama kali oleh Defant & Drummond (1990) melalui studi di Pulau Adak, Alaska, sebagai batuan menengah hingga asam hasil lelehan parsial basal terubah yang menunjat ke bawah busur vulkanik. Adakit sering dijadikan topik penelitian akibat keterkaitannya terhadap mineralisasi Au-Cu skala besar (contoh: Castillo, 2012; Kolb *et al.*, 2012). Walaupun masih dalam kontroversi, pemahaman terhadap pembentukan adakit dianggap bermanfaat dalam mempelajari evolusi kerak benua (Defant & Drummond, 1990; Castillo, 2012; Ma *et al.*, 2015). Plagioklas dan amfibol merupakan mineral utama di adakit. Meski demikian, klinopiroksen maupun ortopiroksen dapat dijumpai di adakit kaya MgO. Kandungan SiO₂ 56%, Al₂O₃ 15%, dan MgO <3% merupakan tipikal oksida utama adakit (contoh: Defant & Drummond, 1990; Castillo, 2006; Hartono & Suyono, 2006; Castillo, 2012). Kelimpahan Y dan Yb di jenis batuan beku ini rendah yaitu 18 ppm dan 1,9 ppm secara berurutan namun dengan komposisi Sr yang tinggi (<400 ppm). Penelitian sebelumnya menambahkan bahwa rasio Sr/Y bahwa batuan yang terkait di subduksi muda (< 25jtl) ini adalah >20 (Drummond & Drummond, 1993; Richards & Kerrich, 2007). Meski terdapat beberapa perbedaan, beberapa peneliti sepakat bahwa rasio La/Yb di batuan kelompok adakit paling tidak 8 akibat derajat pengayaan UTJ-ringan yang tinggi terhadap UTJ-berat (Defant & Drummond, 1993; Sarjona *et al.*, 1993; Castillo, 2012).

Tabel 2. Kadar unsur jarang batuan gunungapi Holosen dari Halmahera Barat di studi ini

Sampel	Kelompok	Sr	Cs	Ba	Nb	Ta	Ga	Sc	Tl
HUIR 02	G. Jailolo	445,56	0,91	168,7	2,16	0,17	15,47	34,17	0,08
HUIR 04		373,97	0,92	228,24	2,48	0,18	14,57	24,32	0,1
HUIR 07		402,67	0,89	123,35	2,97	0,41	13,44	33,47	0,06
HUIR 24		425,72	1,05	179,28	1,93	0,15	15,95	37,6	0,07
HUIR 27		421,25	1	179,6	3,36	0,18	16,08	37,75	0,07
HUIR 30		447,14	1,06	199,88	1,45	0,13	16,46	34,92	0,12
HUIR 57		429,83	0,92	132,32	1,19	0,1	15,28	36,96	0,05
HUIR 92		434,86	1	167,6	2,17	0,21	15,21	34,28	0,05
HUIR 95		461,71	1,28	169,9	2,24	0,09	15,43	35,18	0,06
HUIR 37	G. Gamkonora	250,2	2,87	456,95	7,69	0,57	14,44	11,7	0,35
HUIR 40		517,74	1	286,75	2,17	0,19	16,63	24,62	0,12
HUIR 43		509,7	1,16	281,79	2,86	0,35	16,36	24,7	0,1
HUIR 47		484,57	1,26	323,93	2,98	0,28	16,15	17,43	0,14
HUIR 54		502,19	1,22	208,6	1,3	0,15	16,51	35,73	0,15
HUIR 14	G. Sahu	381,34	1,44	250,82	3,11	0,33	14,81	23,28	0,33
HUIR 17		410,76	1,01	266,28	1,79	0,16	12,17	19,81	0,17
HUIR 22		284,97	1,32	370,54	6,23	0,36	16,75	24,38	0,2
HUIR 33		386,14	1,17	179,12	3,64	0,3	16,03	42,42	0,09
HUIR 85		398,33	1,83	348,22	10,94	0,24	22,27	28,4	0,22
HUIR 51		G. Ibu	294,22	1,33	536,95	1,86	0,19	13,76	8,41

Tabel 3. Komposisi unsur tanah jarang di batuan gunungapi di Kabupaten Halmahera Barat

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	UTJ	Sr/Y	La/Yb	Eu ^o /Eu
HUIR 02	7.63	16.73	2.26	9.61	2.62	0.69	2.22	0.44	3.06	0.68	1.87	0.28	1.84	0.28	18.62	50.21	23.93	4.15	0.7653
HUIR 04	9.07	20.26	2.7	11.48	3.1	0.78	2.59	0.51	3.58	0.79	2.19	0.33	2.2	0.33	22.18	59.91	16.86	4.12	0.7084
HUIR 07	5.35	12.07	1.58	6.79	1.94	0.53	1.67	0.34	2.35	0.53	1.43	0.22	1.42	0.22	14.17	36.44	28.42	3.77	0.8106
HUIR 24	7.26	16.42	2.2	9.5	2.73	0.69	2.22	0.45	3.17	0.71	1.97	0.29	1.94	0.29	19.79	49.84	21.51	3.74	0.7344
HUIR 27	7.43	17.24	2.34	10.1	2.83	0.71	2.34	0.46	3.32	0.73	2.03	0.3	2	0.3	20.93	52.13	20.13	3.72	0.7117
HUIR 30	8.2	17.95	2.42	10.46	2.88	0.74	2.45	0.49	3.44	0.77	2.1	0.32	2.07	0.33	21.62	54.62	20.68	3.96	0.7255
HUIR 57	7.06	16.08	2.39	10.77	3.06	0.76	2.44	0.49	3.46	0.76	2.08	0.31	1.96	0.3	22.22	51.92	19.34	3.60	0.7232
HUIR 92	7.56	16.85	2.27	9.56	2.55	0.65	2.06	0.41	2.86	0.63	1.74	0.26	1.72	0.27	18.77	49.39	23.17	4.40	0.7519
HUIR 95	8.12	17.47	2.45	10.11	2.69	0.72	2.18	0.47	3.01	0.7	1.85	0.31	1.79	0.31	19.58	52.18	23.28	4.54	0.8264
HUIR 37	18.05	41.14	5.73	23.47	5.99	1.02	4.72	0.94	6.68	1.47	4.19	0.65	4.38	0.66	43.92	119.09	5.70	4.12	0.3440
HUIR 40	9.63	22.58	3.31	14.78	4.1	0.96	3.27	0.64	4.49	0.98	2.76	0.41	2.7	0.41	28.48	71.02	18.18	3.57	0.6426
HUIR 43	9.2	22.46	3.28	14.64	4.07	0.94	3.23	0.63	4.46	0.98	2.72	0.41	2.69	0.41	28.52	70.12	17.87	3.42	0.6284
HUIR 47	10.28	24.34	3.6	15.77	4.27	0.98	3.35	0.65	4.61	1	2.81	0.42	2.81	0.43	29.49	75.32	16.43	3.66	0.6277
HUIR 54	10.47	20.23	3.21	13.77	3.57	0.85	2.7	0.52	3.6	0.78	2.1	0.31	1.99	0.3	22.4	64.4	22.42	5.26	0.7008
HUIR 14	10.3	24.64	3.66	16.11	4.3	0.95	3.54	0.69	4.76	1.05	2.89	0.43	2.83	0.43	28.32	76.58	13.47	3.64	0.5543
HUIR 17	10.37	20.96	3.14	12.93	3.21	0.73	2.46	0.45	2.99	0.63	1.76	0.27	1.74	0.26	17.69	61.9	23.22	5.96	0.6309
HUIR 22	14.47	27.03	3.94	15.39	3.76	0.79	2.73	0.54	3.88	0.84	2.42	0.36	2.43	0.38	29.67	78.96	19.34	3.60	0.5684
HUIR 33	7.17	17.21	2.59	11.48	3.41	0.82	2.75	0.59	4.05	0.92	2.51	0.4	2.45	0.39	25.53	56.74	15.12	2.93	0.6703
HUIR 85	16.83	38.25	5.58	24.09	6.55	1.24	5	0.99	6.86	1.51	4.12	0.61	4.03	0.6	45.69	116.26	8.72	4.18	0.4389
HUIR 51	10.25	23.94	2.7	10.05	2.32	0.65	1.88	0.34	2.33	0.52	1.47	0.23	1.6	0.24	14.95	58.52	19.68	6.41	0.9056



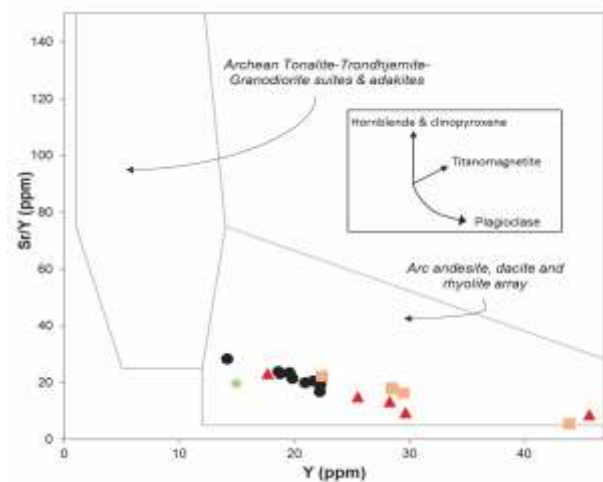
Gambar 6. Pencampuran material asal dari busur kerak benua dan busur kerak samudra dipertegas melalui diagram diskriminasi La/Yb versus Nb/La (Hollocher drr., 2012). Asal sampel: ●= G. Jailolo, ▲= G. Sahu, ■= G. Gamkonora, dan ◆= G. Ibu.

Terdapat tiga sampel dengan komposisi Y 18 ppm dan Yb <1,9 yaitu HUIR 07, HUIR 17, dan HUIR 51 (Tabel 2 dan Tabel 3). Kelimpahan Sr (294 ppm) dan rasio Sr/Y (19,67) di HUIR 51 tidak cukup tinggi untuk dapat diklasifikasikan sebagai adakit. Kandungan Sr di HUIR 07 (402 ppm) dan HUIR 17 (410 ppm) pun tidak jauh berbeda dengan batasan <400 ppm yang telah dikemukakan oleh Defant & Drummond (1990). Seluruh sampel batuan gunungapi di studi ini tidak menunjukkan adanya lonjakan rasio UTJ-ringan yang ekstrim terhadap UTJ-berat dengan La/Yb <6.41 (Tabel 3) sehingga kurang tepat jika diklasifikasikan sebagai adakit. Kemudian, meski berada dalam busur vulkanik sampel dalam studi ini berkarakter andesit normal berdasarkan diagram perbandingan Y terhadap Sr/Y (Gambar 7). Fakta tersebut juga mengkonfirmasi bahwa belum ditemukannya mineralisasi Au-Cu berskala besar terkait batuan gunungapi di Kabupaten Halmahera Barat. Diskusi mengenai kemungkinan pembentukan adakit di wilayah studi dapat diperjelas melalui analisis oksida utama di masa mendatang.

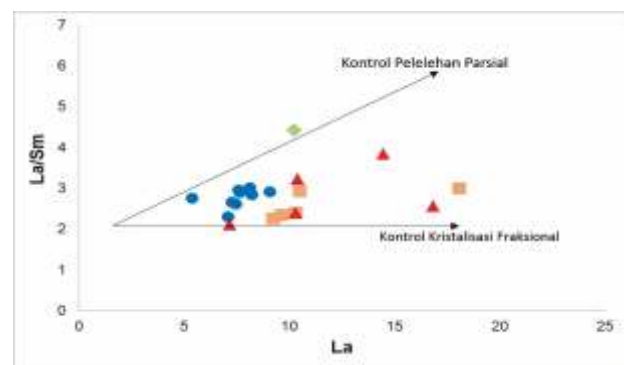
Korelasi rasio La/Sm terhadap konsentrasi La digunakan untuk mengetahui pengaruh pelelehan parsial atau kristalisasi fraksional terhadap pembentukan batuan seperti dalam penelitian sebelumnya (Fan *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2006). Pembentukan batuan gunungapi di Halmahera Barat lebih banyak dikontrol oleh kristalisasi fraksional daripada pelelehan parsial yang ditunjukkan oleh ketiadaan korelasi positif antara La/Sm terhadap La (Gambar 8). Kemudian, diagram Y versus Sr/Y (Gambar 7) menegaskan bahwa fraksionasi plagioklas sangat berpengaruh pada pembentukan lava andesit di G. Jailolo, G. Sahu, dan G. Gamkonora. Kristalisasi fraksional di G. Ibu belum dapat ditentukan melalui diagram ini karena hanya diwakili oleh satu sampel.

Selain diagram Harker, korelasi antar sampel, kelompok sampel, proses yang mempengaruhi pembentukan batuan, maupun kondisi pelapukan dapat dijelaskan melalui karakter UTJ seperti dalam studi sebelumnya (contoh: Castillo, 2012; Fadlin *et al.*, 2018; Irzon *et al.*, 2016; Irzon & Abdullah, 2016; Irzon, 2017; Kolb *et al.*, 2012; Ma *et al.*, 2015). Komposisi UTJ di sampel dalam studi ini dinormalisasi terhadap kadar chondrite (Boynton, 1984) untuk menghilangkan Oddo-Harkins effect. Karakter diagram laba-laba UTJ yang sama ditunjukkan oleh empat kelompok batuan gunungapi di Halmahera Barat, yaitu penurunan yang curam di UTJ-ringin (La hingga Gd), pola yang relatif landai di UTJ-berat (Tb hingga Lu), dan anomali Eu negatif (Gambar 9). Kristalisasi fraksional plagioklas dipertegas oleh

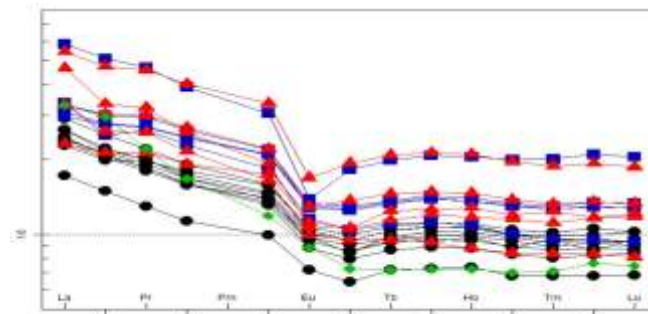
anomali Eu negatif yang berkisar antara 0,7084-0,8264, 0,3440-0,7008, 0,4389-0,6703, dan 0,9056 di sampel dari G. Jailolo, G. Gamkorona, G. Sahu, dan G. Ibu secara berurutan. Dapat disimpulkan bahwa keempat kelompok sampel telah melalui proses pembentukan yang mirip. Namun demikian, hanya kelompok batuan gunungapi dari G. Sahu dan G. Gamkonora yang menunjukkan korelasi sangat kuat antara anomali negatif Eu terhadap kadar total UTJ dengan koefisien korelasi 0,9949 dan 0,9841 secara berurutan. Meski terdapat korelasi yang kuat antara anomali negatif Eu terhadap total UTJ di sampel secara keseluruhan ($r = 0,8973$), asumsi bahwa keempat kelompok batuan gunungapi berasal dari satu sumber harus diperkuat dengan analisis kadar oksida utama dan isotop (Gambar 10).



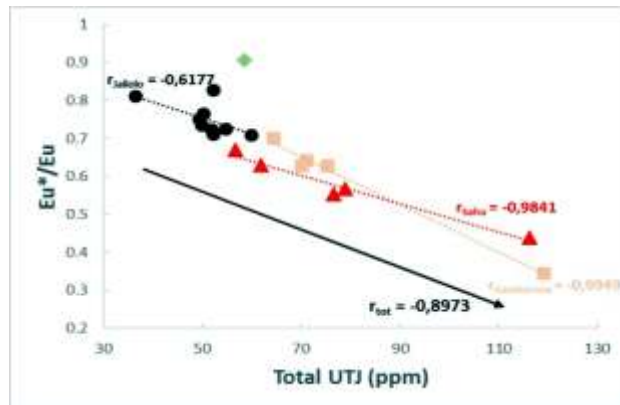
Gambar 7. Sampel di studi ini merupakan batuan andesit hasil evolusi magma normal. Pembentukan seluruh kelompok batuan di kontrol oleh kristalisasi plagioklas. Asal sampel: ●= G. Jailolo, ▲=G. Sahu, ■= G. Gamkonora, dan ◆= G. Ibu.



Gambar 8. Kristalisasi fraksional lebih mempengaruhi proses pembentukan batuan daripada pelelehan parsial. Asal sampel: ●= G. Jailolo, ▲= G. Sahu, ■= G. Gamkonora, dan ◆= G. Ibu.



Gambar 9. Diagram laba-laba unsur jarang sampel di studi ini setelah dinormalisasi dengan nilai chondrite (Boynton, 1984). Asal sampel: ● = G. Jailolo, ▲ = G. Sahu, ■ = G. Gamkonora, dan ◆ = G. Ibu.



Gambar 10. Korelasi komposisi unsur tanah jarang terhadap nilai anomali Eu. Asal sampel: ● = G. Jailolo, ▲ = G. Sahu, ■ = G. Gamkonora, dan ◆ = G. Ibu.

KESIMPULAN DAN SARAN

Material bahan pembentukan batuan gunungapi di Kabupaten Halmahera Barat mungkin berasal dari pencampuran kerak samudra dengan kerak benua. Kristalisasi fraksional tampak lebih berpengaruh terhadap pembentukan sampel berumur Holosen di daerah studi. Pembentukan batuan gunungapi G. Jailolo, G. Gamkonora, G. Sahu, dan G. Ibu sangat dikontrol oleh fraksionasi plagioklas. Hanya kadar unsur tanah jarang di kelompok sampel dari G. Gamkonora dan G. Sahu yang diketahui sangat dipengaruhi oleh kristalisasi plagioklas. Untuk dapat menyimpulkan bahwa keempat kelompok batuan berasal dari sumber yang sama, penelitian ini dapat diperdalam melalui analisis kadar oksida utama dan isotop.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat diselesaikan melalui izin penggunaan data dari Kepala Pusat Survei Geologi. Bapak Hary Utoyo telah berperan besar dalam bimbingannya mengenai geologi Maluku, penggunaan data petrografi, dan korelasi petrografi dan geokimia. Kami berterimakasih kepada Bapak Heri Hermiyanto Zajuli atas saran dan bimbingannya. Ibu Indah dan Ibu Citra telah banyak membantu dalam menjaga akurasi data analisis. Penulis juga berterimakasih kepada Bapak Prof. Ildrem Syafri dari Universitas Padjadjaran mengenai pengembangan aplikasi geokimia.

ACUAN

Agrawal, S., Guevara, M., and Verma, S.P., 2008. Tectonic Discrimination of Basic and Ultrabasic Volcanic Rocks Through Log-Transformed Ratios of Immobile Trace Elements. *International Geology Review*, 50(12): 1057-1079.

-
- Bader, A.G., Pubellier, M., Rangin, C., Deplus, C., and Louat, R., 1999. Active Slivering of Oceanic Crust along the Molucca Ridge (Indonesia-Philippine): Implication for Ophiolite Incorporation in a Subduction Wedge?. *Tectonics*, 18(4): 606-620.
- Baker, S. and Malaihollo, J., 1996. Dating of Neogene Igneous Rocks in the Halmahera Region: Arc Initiation and Development. *Geological Society, London, Special Publications*, 106(1): 499-509.
- Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In *Developments in geochemistry*, 2: 63-114.
- Castillo, P.R., 2006. An Overview of Adakite Petrogenesis. *Chinese Science Bulletin*, 51(3): 257-268.
- Castillo, P.R., 2012. Adakite Petrogenesis. *Lithos*, 134: 304-316.
- Defant, M.J. and Drummond, M.S., 1990. Derivation of Some Modern Arc Magmas by Melting of Young Subducted Lithosphere. *Nature*, v.347(6294).
- Defant, M.J., and Drummond, M.S., 1993. Mount St. Helens: Potential Example of the Partial Melting of the Subducted Lithosphere in a Volcanic Arc. *Geology*, 21: 541-550.
- Evans, C.A., Hawkins, J.W., and Moore, G.F., 1983. Petrology and Geochemistry of Ophiolitic and Associated Volcanic Rocks on the Talaud Islands, Molucca Sea Collision Zone, Northeast Indonesia. *Geodynamics of the Western Pacific-Indonesian Region*, 11: 159-172.
- Fadlin, F., Godang, S., dan Hamzah, W.N., 2018. Magmatisme Tholeitik pada Active Continental Margin (ACM) di Serayu Bagian Utara dan Selatan–Banyumas, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 19(1): 15-30.
- Fan, W.M., Guo, F., Wang, Y.J., Lin, G., and Zhang, M., 2001. Post-Orogenic Bimodal Volcanism along the Sulu Orogenic Belt in Eastern China. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26(9-10): 733-746.
- Gemmell, J. B., 2007. Hydrothermal Alteration Associated with the Gosowong Epithermal Au-Ag Deposit, Halmahera, Indonesia: Mineralogy, Geochemistry, and Exploration Implications. *Economic Geology*, 102(5): 893-922.
- Hakim, A.S. and Hall, R., 1991. Tertiary Volcanic Rocks from the Halmahera Arc, Eastern Indonesia. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 6(3-4), 271-287.
- Hall, R., 1987. Plate Boundary Evolution in the Halmahera Region, Indonesia. *Tectonophysics*, 144(4): 337-352.
- Hall, R., Audley-Charles, M.G., Banner, F.T., Hidayat, S., and Tobing, S.L., 1988. Basement Rocks of the Halmahera Region, Eastern Indonesia: A Late Cretaceous–Early Tertiary Arc and Fore-Arc. *Journal of the Geological Society*, 145(1): 65-84.
- Hall, R., Nichols, G., Ballantyne, P., Charlton, T., and Ali, J., 1991. The Character and Significance of Basement Rocks of the Southern Molucca Sea Region. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 6(3-4): 249-258.
- Hamilton, W.B., 1979. *Tectonics of the Indonesian Region* (No. 1078). US Govt. Print. Off.
- Hartono, U. and Suyono, S., 2006. Identification of Adakite from The Sintang Intrusives In West Kalimantan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 16(3): 173-178.
- Hase, T., Yonezu, K., Tindell, T., Syafrizal, and Watanabe, K., 2015. Mineralization Characteristics of the Kencana deposit, Gosowong Mining Area, Halmahera, Indonesia. *The 2nd International Conference and 1st Joint Conference of Faculty Geology Universitas Padjadjaran with Faculty of Science and Natural Resources University Malaysia Sabah*: 205–2012.
- Hollocher, K., Robinson, P., Walsh, E., and Roberts, D., 2012. Geochemistry of Amphibolite-Facies Volcanics and Gabbros of the Støren Nappe in Extensions West and Southwest of Trondheim, Western Gneiss Region, Norway: A Key to Correlations and Paleotectonic Settings. *American Journal of Science*, 312(4): 357-416.
- Irzon, R. and Abdullah, B., 2016. Geochemistry of Ophiolite Complex in North Konawe, Southeast Sulawesi. *Eksplorium: Buletin Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir*, 37(2): 101-114.
-

- Irzon, R., Syafri, I., Hutabarat, J., and Sendjaja, P., 2016. REE Comparison Between Muncung Granite Samples and Their Weathering Products, Lingga Regency, Riau Islands. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(3): 149-161.
- Irzon, R., 2017. Geochemistry of Late Triassic Weak Peraluminous A-Type Karimun Granite, Karimun Regency, Riau Islands Province. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(1): 21-37.
- Irzon, R., 2018. Komposisi Kimia Pasir Pantai di Selatan Kulonprogo dan Implikasi Terhadap Provenance. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 19(1): 31-45.
- Katili, J.A., 1978. Past and Present Geotectonic Position of Sulawesi, Indonesia. *Tectonophysics*, 45(4): 289-322.
- Kolb, M., Von Quadt, A., Peytcheva, I., Heinrich, C.A., Fowler, S.J., and Cvetkovic, V., 2012. Adakite-Like and Normal Arc Magmas: Distinct Fractionation Paths in the East Serbian Segment of the Balkan–Carpathian Arc. *Journal of Petrology*, 54(3): 421-451.
- Ma, Q., Zheng, J.P., Xu, Y.G., Griffin, W.L., and Zhang, R.S., 2015. Are Continental “Adakites” Derived from Thickened or Foundered Lower Crust?. *Earth and Planetary Science Letters*, 419: 125-133.
- McCaffrey, R., Silver, E.A., and Raitt, R.W., 1980. Crustal Structure of the Molucca Sea Collision Zone, Indonesia. In *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*, 23: 161-177. Washington, DC: AGU.
- Meschede, M., 1986. A Method of Discriminating Between Different Types of Mid-Ocean Ridge Basalts and Continental Tholeiites with the Nb-Zr-Y Diagram. *Chemical Geology*, 56(3-4): 207-218.
- Morris, J.D., Jezek, P.A., Hart, S.R., and Hill, J.B., 1983. The Halmahera Island Arc, Molucca Sea Collision Zone, Indonesia: A Geochemical Survey. *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part 2*: 373-387.
- Mullen, E.D., 1983. MnO/TiO₂/P₂O₅: A Minor Element Discriminant for Basaltic Rocks of Oceanic Environments and Its Implications for Petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 62(1): 53-62.
- 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(2): 290-300.
- Pearce, T.H., Gorman, B.E., and Birkett, T.C., 1977. The Relationship Between Major Element Chemistry and Tectonic Environment of Basic and Intermediate Volcanic Rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 36(1): 121-132.
- Richards, J. and Kerrich, R., 2007. Adakite-Like Rocks: Their Diverse Origins and Questionable Role in Metallogenesis. *Economic Geology Special Paper*, 102: 1–40.
- Sajona, F.G., Maury, R.C., Bellon, H., Cotten, J., Defant, M.J., Pubellier, M., and Rangin, C., 1993. Initiation of Subduction and the Generation of Slabmelts in Western and Eastern Mindanao, Philippines. *Geology*, 21: 1007–1010.
- Setyanta, B. dan Setiadi, I., 2011. Model Struktur Subduksi Kerak di Perairan Laut Maluku dan Vulkanisme Berdasarkan Analisis Gayaberat dan Kegempaan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 21(4): 213-223.
- Streckeisen, A., 1978. IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilite Rocks. Recommendations and Suggestions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie. Stuttgart. Abhandlungen*, 143: 1-14.
- Supriatna, S., 1980. *Geologic Map of the Morotai Quadrangle, North Maluku*. Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia.
- Verma, S.P., Guevara, M., and Agrawal, S., 2006. Discriminating Four Tectonic Settings: Five New Geochemical Diagrams for Basic and Ultrabasic Volcanic Rocks based on Log-ratio Transformation of Major Element Data. *Journal of Earth System Science*, 115(5): 485-528.
- Wang, X., Gao, S., Liu, X., Yuan, H., Hu, Z., Zhang, H., and Wang, X., 2006. Geochemistry of High-Mg Andesites from the Early Cretaceous Yixian Formation, Western Liaoning: Implications for Lower Crustal Delamination and Sr/Y Variations. *Science in China Series D: Earth Science*