



Komposisi Kimia Pasir Pantai di Selatan Kulon Progo dan Implikasi terhadap Provenance *Geochemical Character of Coastal Sediments from Southern Kulon Progo with Implications for Provenance*

Ronaldo Irzon^{1,2}

¹Universitas Padjadjaran Bandung, Jl. Raya Bandung-Sumedang - Indonesia

²Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Jl. Diponegoro No. 57, Bandung 40122

Email: ronaldoirzon18@gmail.com

Naskah diterima : 11 November 2016, Revisi terakhir : 13 Februari 2018, Disetujui : 19 Februari 2018, Online : 21 Februari 2018

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.19.1.31-45>

Abstrak - Karakter geokimia sedimen pantai dapat dimanfaatkan dalam penelusuran bahan sumber dan keterkaitan dengan satuan batuan lain pada suatu wilayah. Studi ini bermaksud untuk mengetahui kadar geokimia contoh pasir pantai dari empat lokasi di pesisir selatan Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kadar contoh terpilih kemudian fokus digunakan untuk mengetahui karakter contoh, hubungan setiap contoh, dan kemungkinan bahan sumber. Komposisi geokimia contoh permukaan terhadap contoh bawah permukaan pada tiga lokasi turut diperbandingkan. Perangkat XRF dan ICP-MS dimanfaatkan dalam mengukur kandungan oksida utama, unsur jarang, dan unsur tanah jarang pada contoh terpilih. Seluruh contoh disimpulkan berasal dari sumber yang sama dengan mengacu pada diagram SiO₂ terhadap oksida utama lain, koefisien korelasi antar elemen, maupun pola pada diagram laba-laba unsur tanah jarang. Meski kadar Rb, Sr, Zr, U, dan Th contoh bagian permukaan lebih tinggi, namun bahan magnetis lebih terkonsentrasi pada bagian bawah permukaan. Sedimen pantai terpilih dikategorikan memiliki derajat maturitas rendah dan terbentuk pada lingkungan kering berdasarkan data geokimia. Bahan sumber ditengarai relatif cukup segar dengan karakter mafik hingga mengarah felsik. Intrusi Andesit di sekitar Gunung Ijo diduga lebih tepat sebagai bahan sumber berdasarkan karakter tersebut dibandingkan dengan unit batuan lain maupun hasil aktifitas Gunung Merapi yang diperkuat oleh perhitungan *chemical index of alteration*, rasio oksida, dan komposisi unsur tanah jarang.

Kata Kunci : pasir pantai, Andesit, geokimia, asal bahan.

Abstrak - Coastal sediment geochemical characters can be utilized in tracing the source material and linkage with other rock units in a region. This study is intended to determine the geochemistry composition of the beach sands in four location on the south coast of Kulon Progo, Yogyakarta Special Province. The geochemical content was then used to characterize the coastal sediments, establish the relationship of the sample, and trace the source material. Geochemistry content of surface sample in comparison to subsurface sample on three selected locations are discussed. XRF and ICP-MS were used to measure the major oxides, trace and rare earth elements composition of the selected samples. The beach sands of these four locations is inferred derived from the same source based on bivariate plots of major oxides versus SiO₂, degrees of elements coefficient correlation, and the trends on REE spider diagram. Rb, Sr, Zr, U, dan Th are more concentrated in the surface samples whilst magnetic materials in the subsurface ones. The selected coastal sediments are chemically immature and formed under arid condition. Source material is considered relatively fresh and ranges from mafic to felsic character. The Andesite intrusion around Ijo Mountain is thought to be more appropriate as a source material based on that character compared to other rock units as well as the results of Mount Merapi activities reinforced by chemical index of alteration calculations, oxide ratios and rare earth composition.

Keyword : beach sands, the Andesite, geochemistry, provenance.

PENDAHULUAN

Pasir pantai merupakan bagian dari *coastal sediment* (sedimen tepi pantai) berupa aneka bahan yang tertransportasi dari berbagai tempat menuju tepi pantai. Komposisi geokimia pada bahan ini dipandang bernilai tinggi sebagai perangkat dalam penentuan asal muasal bahan (*provenance*) maupun setting tektonik suatu wilayah (Paikaray drr., 2008; Carranza-Edwards, drr., 2009; Armstrong-Altrin drr., 2012; Armstrong-Altrin drr., 2014; Henry dan Obasi, 2016). Elemen Y, Th, Zr, Hf, Nb, Sc dan unsur tanah jarang (UTJ) dianggap layak sebagai alat penelusuran karena mobilitasnya yang rendah selama proses sedimentasi. Pada sisi lain, mobilitas Cu, Cr, dan Zn selama proses alterasi dianggap tidak tepat dimanfaatkan pada studi penelusuran asal sedimen (Armstrong-Altrin drr., 2014). Lebih jauh, penelitian terhadap deposit placer seperti pasir pantai dapat membuka cakrawala mengenai iklim berikut dengan perubahannya sepanjang waktu geologi (Jayalaksmi drr., 2003). Secara umum, pasir pantai merupakan hasil pelapukan, fragmentasi, dan degradasi yang dibangun oleh kuarsa, feldspar, fragmen litik, dan beragam bahan biogenik (Malick drr., 2011).

Komposisi dan tekstur sedimen pesisir dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti: arus, angin, perubahan iklim, dan komposisi bahan induk (Carranza-Edwards, drr., 2009). Secara lebih khusus, pasir pantai turut dipengaruhi oleh aliran-aliran sungai yang mengarah ke pantai tersebut pada sisi mineralogi dan geokimia. Beragam studi mengenai geokimia pada pasir pantai telah terkonsentrasikan mengenai ketahanan lingkungan dengan kaitan terhadap siklus biogeokimia maupun resiko toksin seperti di Korea (Kim drr., 2010), Mesir (Nasr drr., 2006), dan Turki (Yalcin drr., 2016). Studi tersebut menunjukkan keterkaitan geologi terhadap kehidupan manusia dimana kontaminasi tanah maupun sedimen oleh logam berat merupakan masalah sangat serius dan berdampak signifikan terhadap kesehatan manusia.

Kabupaten Kulon Progo merupakan bagian dari Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan dikenal sebagai wilayah dengan beberapa lokasi wisata pantai, seperti: Pantai Glagah, Pantai Trisik, dan Pantai Congot. Banyak studi telah dilaksanakan di Kabupaten Kulonprogo. Parameter petrofisika batuan beku dan batugamping di Kulonprogo telah dibahas oleh Maryanto dan Hasan (2011), sedangkan Irzon dan Permanadewi (2010) menjadikan batuan di sana sebagai perangkat pembuatan prosedur operasi standar

menggunakan *Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry* (ICP-MS). Yogyakarta dipengaruhi oleh subduksi lempeng samudra India-Australia di bawah lempeng Eurasia yang menghasilkan Gunung Merapi, morfologi gunungapi, dan batuan karbonat (Karnawati drr., 2006; Nurwidyanto drr., 2014). Belum banyak studi difokuskan mengenai geokimia pasir pantai dari daerah pesisir selatan DIY ini, walau Sunardi dan Sarjono (2007) lebih memanfaatkan data kimia sebagai dasar pengembangan wilayah pertanian.

Penelitian mengenai asal dan jenis bahan sumber (*provenance*) berbasis geokimia pada sedimen pantai di Kulon Progo belum pernah dilakukan. Pada sisi lain, pemodelan seperti ini telah banyak dipergunakan untuk memahami korelasi sedimen pantai terhadap satuan-satuan batuan lain di sekitarnya bahkan untuk menelusuri bahan geologi ekonomis pada suatu wilayah (contoh: Carranza-Edwards drr., 2009; Behera, 2003; Kim drr., 2010; Armstrong-Altrin drr., 2012; Armstrong-Altrin drr., 2012). Komposisi geokimia empat lokasi berbeda dari tiga wilayah pantai di pesisir selatan Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan topik studi ini. Tujuh contoh dari empat lokasi telah dipilih dan diperiksa kadar oksida utama, beberapa unsur jarang, dan dilengkapi dengan unsur tanah jarang. Dua lokasi berada di wilayah Pantai Karangwuni, dimana lokasi pertama berjarak sekitar 200 m dari tepi pantai sedangkan lokasi kedua terletak persis di tepi pantai. Lokasi ketiga berada di tepi Pantai Glagah, sementara lokasi keempat di tepi Pantai Congot. Studi ini hanya dibatasi terhadap komposisi geokimia terkait dengan korelasi tujuh contoh tersebut, identifikasi mengenai karakter bahan sumber, dan analisis mengenai kemungkinan batuan sumber. Sebagian data pada tulisan ini merupakan bagian dari kegiatan pembuatan bahan standar internal Laboratorium Geologi - Pusat Survei Geologi para beragam batuan di Kabupaten Wates dengan hasil beberapa bahan standar internal yang telah dibahas oleh Irzon dan Permanadewi (2010).

GEOLOGI REGIONAL KULON PROGO

Pantai Congot, Pantai Glagah dan Pantai Karangwuni sebagai lokasi penyelidikan ini berada pada sisi selatan Kabupaten Kulon Progo dan bagian barat daya dari Peta Geologi Lembar Yogyakarta skala 1:100.000 (Rahardjo drr., 2012). Wilayah kabupaten ini terbangun oleh unit batuan beku, unit batuan sedimen dengan perselingan batuan vulkanik dan unit endapan Kuarter. Andesit dan Dasit merupakan dua unit terobosan batuan beku yang

tersingkap umumnya di daerah Gunung Ijo, sekitar 10 km dari pesisir selatan. Meski kedua unit terobosan batuan beku tersebut diduga terbentuk pada awal Miosen, Dasit dianggap terbentuk kemudian dan menerobos Andesit yang telah ada (Rahardjo dr., 2012).

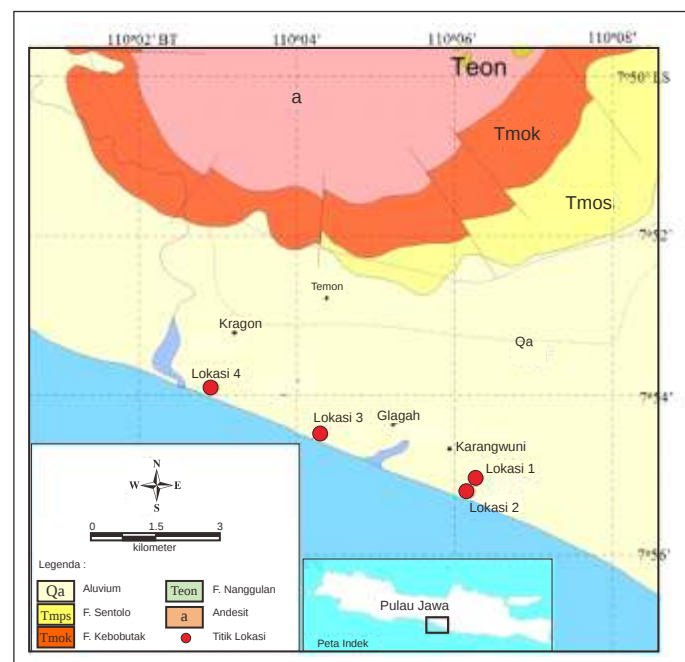
Formasi Nanggulan, terbentuk pada Eosen merupakan unit batuan yang tertua di wilayah selatan DIY dan dicirikan oleh batupasir sisipan lignit, batulempung dengan konkresi limonit, napal, batupasir dan tuf (Harjanto, 2011). Di Kulon Progo juga dikenal adanya Formasi Andesit Tua sebagai nama lain dari Formasi Kebobutak yang terbentuk pada masa Oligosen Akhir – Miosen Awal (Harjanto, 2011). Beberapa peneliti (contoh: Surono, 2008; Nurwidyanto dr., 2014) membagi Formasi Kebobutak menjadi dua bagian: a) Formasi Kebo yang tersusun atas konglomerat, batupasir, serpih, dan lanau; dan b) Formasi Butak yang dibentuk dari breksi, batupasir tufan, batuapung, dan serpih. Kedua formasi tersebut kemudian disebut sebagai Formasi Kebobutak akibat sulitnya pemisahan kedua formasi tersebut pada beberapa tempat. Formasi Jonggrangan berumur Miosen awal hingga Miosen tengah dengan ketebalan 250 meter dan diendapkan pada laut dangkal. Formasi Jonggrangan pada bagian bawah tersusun oleh aglomerat napalan dan batulempung dengan lensa lignit di bagian bawah. Bagian atas formasi ini tersusun oleh batugamping terumbu, batugamping kaya akan globigerina dan napal (Wijaya dan Hendratno, 2015). Formasi Sentolo terdiri dari batugamping dan

batupasir napalan dan saling menjari dengan Formasi Jonggrangan. Satuan batuan yang terbentuk terakhir pada wilayah penelitian ini berada di atas Formasi Kebobutak secara tidak selaras selain Formasi Jonggrangan (Wijaya dan Hendratno, 2015).

Endapan Alluvial sebagai endapan permukaan terbentuk pada era Kuarter. Satuan ini terdiri dari kerakal, pasir, lanau dan lempung yang dapat dijumpai di sepanjang sungai besar dan dataran pantai (Rahardjo dr., 2012). Empat lokasi pengambilan contoh berada pada satuan aluvium dengan total contoh pasir pantai sebanyak tujuh buah. Titik pengambilan contoh berikut sebaran unit batuan di sekitar Kabupaten Kulon Progo dapat dicermati pada Gambar 1.

DESKRIPSI MEGASKOPIS

Tiga pantai pada studi ini: Karangwuni, Glagah, dan Congot relatif landai dengan kemiringan $<5\%$ dan berada pada wilayah aluvium berumur Kuarter yang terdiri dari kerakal, pasir, lanau, dan lempung (Rahardjo dr., 2012). Contoh GPJ 36 dan 37 merupakan pasir pantai yang diambil sekitar 200 m sebelum tepi Pantai Karangwuni di Desa Karangwuni dan disebut sebagai lokasi 1. Vegetasi dapat dijumpai dekat dengan lokasi 1 (Gambar 2a). Namun demikian, contoh telah dibersihkan dari sisa tanaman sebelum diperiksa kandungan geokimianya. Contoh GPJ 38 dan GPJ 39 diperoleh dari lokasi 2 yang dekat garis Pantai Karangwuni.



Sumber : Peta dimodifikasi dari Rahardjo dr., (2012)

Gambar 1. Geologi wilayah selatan Kulon Progo berikut titik pengambilan contoh.

Meski sama-sama berada di area Pantai Karangwuni, proses pembentukan coastal sediments pada lokasi 2 berbeda dengan lokasi 1. Lokasi 2 sangat dipengaruhi oleh aliran Sungai Serang karena berada tidak jauh dari hilir sungai tersebut. Sedimen pada lokasi 2 juga dipengaruhi oleh arus pasang surut air laut (*tidal current*) karena berada di tepi pantai. Pada sisi lain, faktor aliran sungai maupun arus pasang surut tersebut kurang berperan dalam pembentukan sedimen di lokasi 1. Lokasi ketiga berada sekitar 2,5 km barat laut dari lokasi 1 dan lokasi 2 pada area Pantai Glagah, Kulon Progo. Pada lokasi dekat tepi pantai ini hanya diambil satu contoh pasir (GPJ 40) dengan warna putih agak gelap dan berukuran butir sedang. Lokasi 3 dipisahkan oleh aliran Kali Serang yang membatasi Pantai Glagah dan Pantai Karangwuni. Keadaan pada lokasi 3 tampak pada Gambar 2c. Lokasi empat, dimana contoh GPJ 42 dan 43 berasal, berada di Pantai Congot dan berjarak sekitar 2,5 km barat laut dari lokasi 3. Hilir Sungai Bogowonto berada kurang lebih 1 km barat laut lokasi 4.

Telah dijelaskan bahwa dua contoh diambil dari setiap lokasi, kecuali hanya satu contoh dari lokasi 3, yakni contoh dari permukaan dan contoh bawah permukaan. GPJ 36, GPJ 38, GPJ 40, dan GPJ 42 merupakan sedimen pada permukaan pantai. Pada sisi lain, diperlukan penggalian sedalam 50 cm untuk memperoleh GPJ 37, GPJ 39, dan GPJ 43. Keadaan setelah penggalian di Pantai Karangwuni dapat diamati

pada Gambar 2b. Contoh permukaan dan bawah permukaan diperbandingkan untuk mengetahui perbedaan komposisi bahan magnetis, kandungan geokimia, hingga menelusuri persamaan maupun perbedaan bahan sumbernya. Penggunaan perangkat magnet sederhana menyimpulkan bahwa contoh bawah permukaan memiliki bahan magnetis relatif lebih banyak dari contoh pada bagian permukaan pada lokasi yang sama. Percobaan komposisi bahan magnetis dapat dilihat pada Gambar 2d. Deskripsi sederhana setiap contoh terlampir pada Tabel 1.

METODA ANALISIS

Tujuh contoh pasir pantai telah terkumpul dari kegiatan survei lapangan. Penentuan pebandingan jumlah relatif bahan magnetis terhadap *non* magnetis dilaksanakan di lokasi pengambilan contoh dengan peralatan magnet sederhana. Setelah tiba di laboratorium, contoh terpilih dicuci dengan air hasil destilasi untuk menghilangkan kontaminan. Contoh kemudian dikeringkan di bawah panas matahari. Besar butir 200 *mesh* dipilih sebagai ukuran contoh sebelum analisis *bulk composition* menggunakan dua perangkat: *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS). Perangkat XRF dimanfaatkan untuk mengukur kandungan oksida utama, sedangkan ICP-MS untuk mengetahui kadar unsur jarang maupun UTJ pada contoh dan mengadaptasi skema Irzon

Tabel 1. Deskripsi ringkas setiap lokasi dan contoh pada studi ini

No lokasi	Deskripsi lokasi	Vegetasi Permukaan	Contoh	Kedalaman (cm)	Sifat fisik		
					Warna	Ukuran butir	Bahan Magnetik
Lokasi 1	200 m sebelum garis Pantai Karangwuni	rerumputan dan tumbuhan bakau	GPJ 36	Permukaan	abu-abu	sedang	≈ 40%
			GPJ 37	± 50	gelap keabuan	halus-sedang	≈ 55%
Lokasi 2	Tepi Pantai Karangwuni	tanpa vegetasi	GPJ 38	Permukaan	abu-abu	sedang	≈ 45%
			GPJ 39	± 50	gelap	halus-	≈ 60%
Lokasi 3	Tepi Pantai Glagah	tanpa vegetasi	GPJ 40	Permukaan	abu-abu gelap	sedang	≈ 60%
Lokasi 4	Tepi Pantai Congot	tanpa vegetasi	GPJ 42	Permukaan	putih	sedang	≈ 60%
			GPJ 43	± 50	gelap	halus-	≈ 70%



Gambar 2. a) Lokasi 1 yang berada kurang lebih 200 m dari tepi pantai; b) Keadaan Pantai Glagah sebagai lokasi 3, dan c) Percobaan komposisi bahan magnetis pada contoh

(2010). Advant XP merupakan model perangkat XRF pada studi ini, sedangkan ICP-MS menggunakan model *X-Series* dari *Thermo*. Meski lokasi 1 berjarak 200 m sebelum lokasi garis pantai sedangkan lokasi 2 tepat berada pada garis pantai, kedua stasiun pengambilan contoh ini berada dalam satu area di Pantai Karangwuni sehingga aspek perbandingan oksida utamanya tidak jauh berbeda. Karakter unsur jarang dan unsur tanah jarang dianggap dapat mewakili komposisi kimia pada lokasi 3 karena masih sama dengan lokasi 2 yang berasal dari aliran Sungai Serang.

Analisis *Loss on Ignition* (LOI) diperlukan untuk mengetahui jumlah materi organik berikut mineral karbonat pada contoh. Pengukuran ini dimulai dengan memanaskan cawan porselen kosong pada temperatur 300°C dalam tungku. Selesai pemanasan, cawan didinginkan dalam desikator untuk kemudian ditimbang guna mendapatkan berat cawan kosong. Satu gram contoh dengan dimasukkan dalam cawan kosong tersebut. Cawan berisi contoh dipanaskan dalam tungku pada 1000°C selama 1 jam. Setelah pendinginan dalam desikator, cawan kembali ditimbang untuk mendapatkan berat cawan+residu. LOI merupakan jumlah masa yang hilang setelah pemanasan pada 1000°C tersebut. Timbangan digital dengan ketelitian empat angka dibelakang koma dimanfaatkan untuk dapat menjaga ketelitian pengukuran.

Pada metode ICP-MS, sejumlah 0,1 gram contoh didestruksi dengan tiga jenis asam: asam nitrat (HNO_3 , *ultra pure*), asam formiat (HCOOH , *ultra pure*), dan asam perklorat (HClO_4 , *pro analysis*) dalam pembuatan larutan induk dari setiap contoh. Setelah seluruh contoh dapat terlarut dalam larutan induk, dilakukan pengenceran 50 kali dengan menggunakan asam nitrat 2%. Pengukuran dengan perangkat ICP-MS dilakukan bersamaan dengan larutan blanko dan lima tingkat larutan kalibrasi: 0,1, 1, 5, 10, 50 ppb. Terdapat dua seri larutan kalibrasi yang saling melengkapi untuk mendapatkan diagram kalibrasi dari seluruh elemen kimia terpilih. Kedua larutan kalibrasi tersebut diperoleh dari *Thermo Scientific* sebagai perakitan perangkat yang digunakan. Program komputer pada perangkat ini mentransformasikan

perbandingan nilai *count per second* (CPS) seri larutan kalibrasi terhadap larutan contoh terpilih menjadi kadar elemen. Limit deteksi pengukuran dengan XRF pada penelitian ini adalah 0,1%, sedangkan ICP-MS pada 0,01 ppm. Hasil pengukuran kandungan kimia contoh terpilih terangkum pada Tabel 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis

SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$, dan CaO adalah urutan rata-rata oksida dari jumlah besar ke kecil dengan komposisi sama atau lebih dari 10% dari empat contoh pasir pantai dari Karangwuni, yaitu 49%, 17,5%, 11%, dan 10% secara berurutan.

Tabel 2. Hasil analisis pengukuran kadar oksida utama, unsur jarang dan unsur tanah jarang. Kadar oksida utama pada lokasi 2 dan 3 tidak diukur dengan pertimbangan lokasi, aliran Sungai Serang, dan keterwakilan oleh unsur jarang maupun unsur tanah jarang.

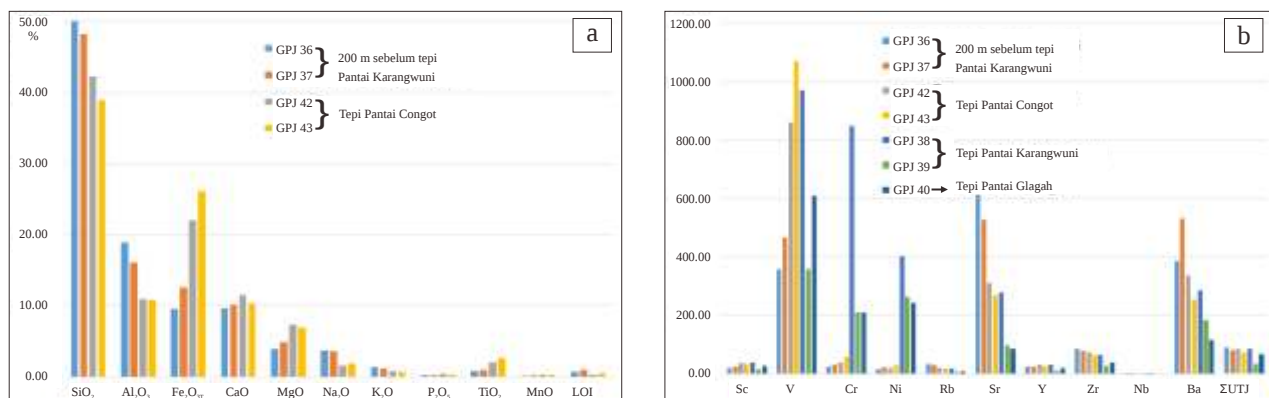
	200 Sebelum tepi Pantai Karangwuni		Tepi Pantai Karangwuni		Tepi Pantai Glagah	Tepi Pantai Congot	
	GPJ 36	GPJ 37	GPJ 38	GPJ 39	GPJ 40	GPJ 42	GPJ 43
SiO_2 (%)	50.05	48.16				42.22	38.99
TiO_2	0.90	1.07				2.13	2.69
Al_2O_3	18.94	16.16				11.00	10.84
$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$	9.56	12.64				22.06	26.13
MnO	0.22	0.25				0.36	0.38
CaO	9.71	10.19				11.55	10.36
MgO	4.01	4.97				7.42	6.96
Na_2O	3.77	3.71				1.61	1.90
K_2O	1.46	1.22				0.83	0.77
P_2O_5	0.29	0.32				0.43	0.38
LOI	0.79	1.10				0.35	0.57
Total	99.70	99.79				99.96	99.97
Sc (ppm)	20.55	24.14	39.45	16.23	26.62	36.83	34.59
V	359.50	466.90	971.50	357.40	610.40	860.70	1070.00
Cr	25.96	32.31	847.90	210.90	210.90	38.93	58.81
Ni	16.67	21.89	402.1	265	243.1	21.27	30.73
Rb	34.25	29.76	16.87	7.48	9.52	20.24	17.95
Sr	629	527.3	277.9	99	85.87	311.4	268.9
Y	24.31	26.06	33.2	11.69	20.89	31.71	28.41
Zr	86.25	79.34	65.27	27.74	39.35	73.88	65.29
Nb	4.85	4.58	4.09	1.87	0.14	2.32	3.4
Ba	385.5	531.8	285.1	183.6	115.8	337	255.6
La	16.01	14.77	13.48	7.81	11.42	13.73	12.75
Ce	35.79	29.31	27.73	10.09	21.54	27.37	24.68
Pr	0.59	0.15	0.46	0.04	0.02	0.3	0.1
Nd	17.86	17.26	19.5	7.35	15.51	19.61	16.66
Sm	3.39	3.09	5.17	0.2	3.08	4.81	3.57
Eu	1.68	1.58	1.64	0.83	1.17	1.68	1.38
Gd	4.12	4	5.24	1.27	2.91	4.81	3.83
Tb	0.62	0.6	0.79	0.4	0.6	0.78	0.65
Dy	3.82	3.74	4.78	2.56	3.79	4.73	4.12
Ho	0.75	0.76	0.94	0.51	0.73	0.92	0.77
Er	2.12	2.13	2.64	1.44	2.07	2.61	2.23
Tm	0.44	0.45	0.56	0.29	0.43	0.54	0.45
Yb	3.53	2.83	3.3	1.87	2.54	3.38	2.73
Lu	0.45	0.42	0.48	0.28	0.38	0.5	0.4
Th	9.43	6.52	4.07	2.11	4.08	5	3.02
U	7.08	3.85	2.91	1.78	3.79	3.2	1.57
Total UTJ	91.17	81.09	86.71	34.94	66.19	85.77	74.32

Sedikit perbedaan dapat diamati pada rata-rata komposisi contoh oksida utama dari Pantai Congot terhadap Pantai Karangwuni. Meski kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 pada GPJ 42 dan 43 berjumlah lebih kecil (rata-rata 40,6% dan 10,92%), Fe_2O_3 (24%) dan CaO (10,96%) terdeteksi lebih banyak daripada GPJ 36 dan 37. MgO , Na_2O , dan K_2O dari Pantai Karangwuni masih berkomposisi rata-rata $>1\%$, yakni: 4,5%, 3,4%, 1,3% secara berurutan, sedangkan oksida utama lainnya berkadar lebih kecil: TiO_2 (0,98%), P_2O_5 (0,31%), dan MnO (0,23%). Meski K_2O pada pasir pantai dari Congot lebih kecil dari 1% (0,8%), kandungan titanium oksida cukup tinggi mencapai 2,4%. Data hasil analisis telah diplot dalam bentuk grafik (Gambar 3) untuk dapat memperbandingkan komposisi setiap contoh secara lebih sederhana. Seperti disebutkan sebelumnya bahwa data geokimia GPJ 38, GPJ 39, dan GPJ 40 merupakan hasil penelitian sebelumnya (Irzon dan Permanadewi, 2010) yang terfokus pada standarisasi analisis unsur jarang dan tanah jarang tanpa pengukuran oksida utama. Namun demikian, data tersebut dianggap dapat melengkapi penelusuran lebih lanjut sesuai tujuan studi ini.

Kandungan unsur jarang relatif lebih bervariasi. Contoh yang diambil 200 m sebelum tepi pantai di Karangwuni (lokasi 1) tampak memiliki kandungan Sr dan Ba jauh lebih besar dari pada dua contoh dari tepi pantai (lokasi 2), dengan perbandingan 578:188 ppm dan 458:234 ppm secara berurutan. Namun demikian, wilayah tepi Pantai Karangwuni (lokasi 2) tampak memiliki anomali tinggi pada logam berat Ni, Cr, and V dengan kandungan rata-rata 333 ppm, 529 ppm, dan 664 ppm secara berurutan. Meski dengan anomali yang tidak sebesar contoh dari tepi Pantai Karangwuni, lonjakan kandungan Ni (243 ppm) dan Cr (210 ppm) juga ditunjukkan oleh satu contoh pasir permukaan di Pantai

Glagah (GPJ 40). Komposisi nikel dan krom pada kedua tersebut merupakan anomali. Irzon (2017) menyimpulkan bahwa tingginya kadar Ni-Cr pada lokasi 2 dan 3 merupakan indikasi polusi yang disebabkan oleh faktor antropogenik. Logam berat tersebut terbawa oleh Sungai Serang yang mengalir melalui kota Wates dan kemudian terendapkan dengan bantuan arus pasang surut air laut. Kadar Ni-Cr yang tidak anomali pada lokasi 1 disebabkan oleh letaknya yang jauh dari garis pantai (sekitar 200 m) sehingga cemaran yang terbawa oleh Sungai Serang tidak sampai ke lokasi tersebut. Kesimpulan ini diperkuat dengan komposisi relatif rendah Ni-Cr pada lokasi 4 karena lebih dipengaruhi oleh aliran Sungai Bogowonto yang tidak melalui wilayah urban (Gambar 1). Sr (222 ppm) dan Ba (236 ppm) yang cukup besar terdeteksi dari GPJ 40 meski dengan total UTJ (66 ppm) yang lebih sedikit dari kedua contoh dari tepi Pantai Congot: GPJ 42 (85 ppm) dan GPJ 43 (74 ppm). Hanya vanadium sebagai bagian dari unsur jarang yang dianggap beranomali tinggi pada Contoh GPJ 42 dan GPJ 43 dari Pantai Congot, pada kisaran 860 hingga 1070 ppm.

UTJ dapat dikelompokkan dalam dua grup: UTJ-ringan (terdiri dari La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, dan Gd) dan UTJ-berat (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, dan Lu). Jumlah UTJ pada tujuh contoh terpilih berada dalam kisaran 34,94 ppm (GPJ 39) hingga 91,17 ppm (GPJ 36) dengan Ce, Nd, dan La sebagai tiga elemen dengan jumlah paling besar. Bertolak dari jumlah tersebut dapat disimpulkan bahwa pasir pantai di selatan Kulon Progo belum prospektif sebagai sumber UTJ. Kandungan UTJ-ringan (27,59-79,44 ppm) jauh lebih besar daripada UTJ-berat (7,35-13,46 ppm). Rasio UTJ-ringan/UTJ-berat berada dalam kisaran 3,75 (GPJ 39) hingga 6,77 (GPJ 36).



Gambar 3. Perbandingan komposisi tujuh contoh terpilih. a) Meski SiO_2 merupakan oksida paling dominan pada seluruh contoh, besi lebih terkonsentrasi di Pantai Congot sedangkan aluminium lebih banyak terdapat di Pantai Karangwuni; b) terdapat anomali tinggi kadar logam berat Ni dan Cr di pada sedimen pantai muara Sungai Serang.

Pembahasan

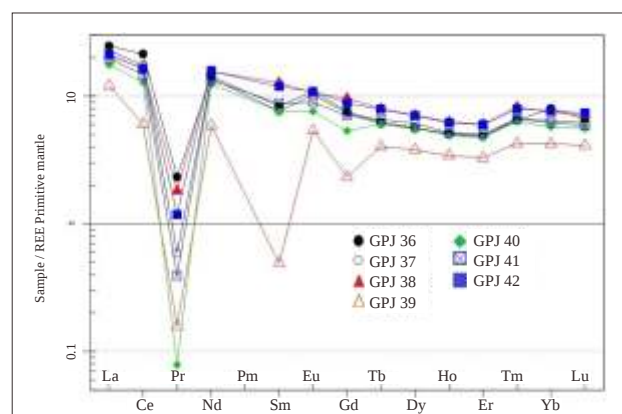
Perbandingan komposisi contoh bagian permukaan terhadap hasil penggalian

Contoh pasir pantai dari bagian permukaan dan contoh hasil penggalian sedalam sekitar 50 cm diperoleh dari tiga titik, yaitu: lokasi 1, lokasi 2, dan lokasi 4. Oleh karena itu, komposisi elemen pada bagian permukaan dan bagian dalam pada lokasi tersebut dapat diperbandingkan. Kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan K_2O pada contoh dari permukaan di Pantai Karangwuni dan Pantai Congot lebih besar daripada contoh hasil penggalian (Tabel 2). Sebaliknya, TiO_2 , Fe_2O_3 , T , MnO lebih terkonsentrasi pada bagian dalam pada kedua lokasi pantai tersebut. Namun demikian terdapat pola yang berbeda pada kandungan oksida utama lain. Natrium, berkomposisi lebih besar pada contoh dari permukaan dari pada bagian dalam di Pantai Karangwuni dan bertolakbelakang terhadap lokasi 4 dengan data sebaliknya. Pada sisi lain, kalsium, magnesium, dan fosfor pada contoh dari permukaan Pantai Congot berjumlah lebih besar dari contoh hasil penggalian, sedangkan perbandingan ini berbanding terbalik dengan Pantai Karangwuni. Berdasarkan sifat kemagnetannya, bahan padat terbagi dalam tiga kelompok, yakni: ferromagnetik, paramagnetik, dan diamagnetik. Besi, nikel, kobalt, dan gadolinium merupakan bahan ferromagnetik dengan resultan medan magnet atom yang besar dan sangat mudah ditarik oleh magnet. Bahan diamagnetik memiliki resultan medan magnet masing-masing molekulnya nol dengan spin elektron tidak sama dengan nol (seperti bismut, perak, emas, tembaga, dan seng) sedangkan resultan medan magnet masing-masing molekul tidak non dengan spin elektron justru sama dengan nol (seperti: aluminium, magnesium, wolfram, dan seluruh elemen transisi pada tabel kimia) merupakan ciri bahan paramagnetik. Percobaan bahan magnetik pada saat pengambilan contoh di lapangan berkesesuaian dengan hasil analisis geokimia dimana kenaikan jumlah bahan tertarik magnet (Tabel 1) setara dengan peningkatan jumlah besi (Tabel 2).

Kadar rubidium, stronsium, zirkon, thorium dan uranium lebih tinggi pada bagian permukaan terdeteksi pada dua lokasi di Pantai Karangwuni dan satu lokasi di Pantai Congot. Perbedaan diperlihatkan oleh lokasi 2 yang berada tepat di tepi Pantai Karangwuni, dimana vanadium, kromium, dan nikel lebih terkonsentrasi pada bagian permukaan, sedangkan elemen-elemen tersebut lebih besar pada contoh hasil penggalian pada dua lokasi lain. Jumlah UTJ yang terendapkan lebih

banyak pada bagian permukaan pada tiga lokasi studi. Kecenderungan yang sama diperoleh setelah pembagian UTJ dalam dua segmen: UTJ-ringan dan UTJ-berat. Perlu ditekankan bahwa perbandingan UTJ pada contoh permukaan (GPJ 38) dan hasil penggalian (GPJ 39) bernilai jauh lebih besar pada lokasi 2 dibandingkan lokasi 1 dan 4, yaitu dengan selisih >50 ppm. Pada prinsipnya, UTJ secara relatif cukup melimpah di kerak Bumi yang berasosiasi dengan batuan beku alkalin. UTJ bersama elemen lain, yaitu: Zr, Nb, Sr, Ba, dan Li terekstraksi dan terkonsentrasikan pada proses pembentukan batuan beku alkalin (Long dr., 2010). Keterkaitan UTJ terhadap batuan beku alkalin ini kemudian juga mengasosiasikan UTJ terhadap mineral yang juga mengandung elemen ekonomis lain, seperti: titanium, niobium, fosfor, dan thorium (Van Gosen, 2009). Komposisi zirkon, niobium, stronsium, barium, dan thorium yang paling rendah pada GPJ 39 bila dibandingkan dengan enam contoh lain pada studi ini menunjukkan bahwa bahan pembawa UTJ tidak terendapkan dengan baik pada bagian permukaan di garis Pantai Karangwuni.

Diagram laba-laba UTJ dengan normalisasi terhadap *primitive mantle* (Sun and McDonough, 1989) terlampir pada Gambar 4. Kecuali Pr (pada GPJ 37, 39, 40, dan 42) dan Sm (hanya pada GPJ 39), seluruh elemen UTJ lebih besar dari pada besaran *primitive mantle* (Sun and McDonough, 1989). Tujuh pasir pantai terpilih menunjukkan puncak-puncak (*peaks*) pada Nd-Tm dan lembah-lembah (*throughs*) pada Pr, Sm, dan Tm. Karakter yang tidak sama dinampakkan oleh anomali Eu, Gd, dan Yb.



Gambar 4. Diagram laba-laba UTJ tujuh contoh terpilih dengan normalisasi terhadap nilai primitive mantle (Sun and McDonough, 1989). Contoh GPJ 36, GPJ 38, GPJ 40, dan GPJ 42 merupakan contoh permukaan, sedangkan GPJ 37, GPJ 39, dan GPJ 43 adalah contoh bawah permukaan. Karakter UTJ yang relatif sama pada setiap contoh menegaskan bahwa contoh tersebut sangat mungkin berasal dari sumber yang sama.

Tabel 3. Anomali UTJ pada contoh terpilih

Contoh	Ce/Ce*	Pr/Pr*	Sm/Sm*	Eu/Eu*	Gd/Gd*	Tm/Tm*	Yb/Yb*
GPJ 36 (Permukaan)	1.59	0.13	0.66	1.37	0.88	1.03	1.19
GPJ 37 (Bawah Permukaan)	1.50	0.04	0.63	1.38	0.90	1.19	0.98
GPJ 38 (Permukaan)	1.47	0.11	0.96	0.96	1.03	1.24	0.95
GPJ 39 (Bawah Permukaan)	0.99	0.03	0.09	3.83	0.49	1.15	0.98
GPJ 40 (Permukaan)	1.45	0.01	0.75	1.18	0.78	1.23	0.94
GPJ 42 (Permukaan)	1.46	0.07	0.88	1.06	0.94	1.19	0.98
GPJ 43 (Bawah Permukaan)	1.47	0.03	0.78	1.14	0.90	1.19	0.96

Anomali negatif Eu dan anomali positif Gd terdeteksi pada GPJ 38 yang justru berkebalikan pada enam contoh lain. Meski hampir datar, hasil perhitungan menunjukkan bahwa hampir seluruh contoh pasir pantai terpilih beranomali negatif Yb yang kecil (Yb/Yb^*) berada pada rentang 0,9414 hingga 0,9849). Sebaliknya, anomali positif Yb yang kecil ditunjukkan oleh GPJ 36.

Fakta penting pada hasil normalisasi ini adalah Pr/Pr^* dan Sm/Sm^* yang selalu lebih besar pada contoh pada bagian permukaan dari empat lokasi, berbeda dengan contoh hasil penggalian dengan Eu/Eu^* yang selalu lebih tinggi dari tiga lokasi pengambilan contoh. Tidak terdapat pola yang persis sama anomali Gd dan anomali Yb pada studi ini. Ringkasan seluruh hasil perhitungan anomali UTJ terangkum pada Tabel 3.

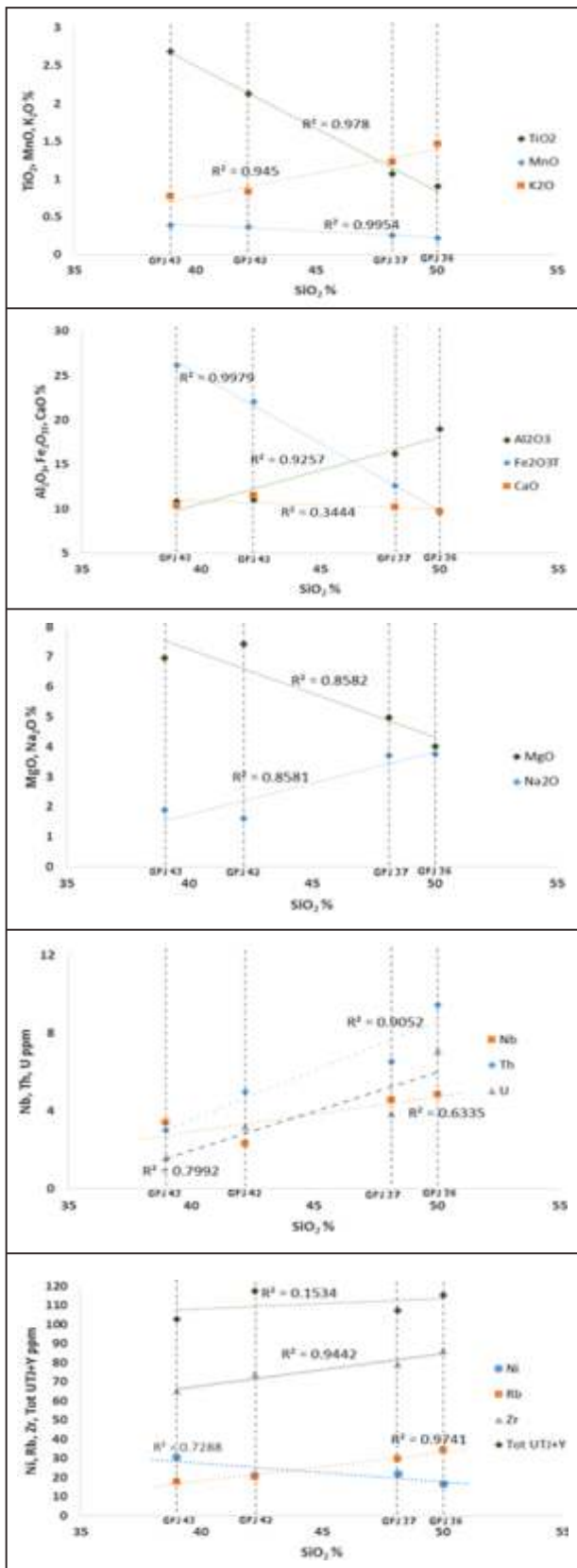
Korelasi Geokimia Seluruh Contoh

Diagram perbandingan, juga dikenal sebagai Harker's diagrams, sering dimanfaatkan dalam mempelajari korelasi antar batuan beku (contoh: Irzon, 2015) maupun sedimen (contoh: Armstrong-Altrin drr., 2012; Irzon drr., 2016). Empat data kadar oksida utama berikut tujuh data unsur jarang dan UTJ contoh telah dikorelasikan. Oksida silika dipilih sebagai pembanding karena berkomposisi paling besar dan memang telah banyak digunakan pada beragam penelitian (contoh: Armstrong-Altrin drr., 2012; Irzon, 2015; Wijaya dan Hendratno, 2015). Data seluruh contoh, permukaan maupun bawah permukaan dipergunakan, untuk menganalisis korelasi seluruh contoh. Contoh yang berasal dari bahan yang sama akan menampilkan korelasi yang baik pada beragam diagram terhadap SiO_2 .

Hasil *plotting* pada diagram perbandingan menunjukkan korelasi yang sangat baik antara hampir seluruh komponen oksida utama terhadap SiO_2 . Korelasi ini diuraikan untuk mengetahui derajat keterkaitan antar contoh. Pada batuan beku, korelasi oksida silika terhadap oksida utama lain lazim digunakan untuk mempelajari proses diferensiasi magma (contoh: Subiyanto, 1989; Irzon, 2015). Pada batuan sedimen, SiO_2 juga telah menjadi dasar penentuan derajat

korelatifitas antar contoh (contoh: Abedini and Calagari, 2015; Irzon drr., 2016). Oleh karena itu, semakin banyak oksida utama yang berkorelasi kuat dengan SiO_2 , maka semakin kuat kesimpulan bahwa contoh tersebut berasal dari sumber yang sama. Kandungan TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 , T , dan MgO terbukti menurun dengan peningkatan jumlah SiO_2 . Pada sisi lain, korelasi positif ditunjukkan oleh K_2O , Al_2O_3 , dan Na_2O terhadap oksida silika. Hubungan kuat antar oksida tersebut terhadap SiO_2 ditandai dengan koefisien korelasi (r) $>0,9$ (korelasi positif) atau $<-0,9$ (korelasi negatif), kecuali CaO dengan $r = -0,59$. Korelasi positif yang kuat juga terdeteksi pada hubungan SiO_2 terhadap unsur jarang, yaitu: Th , Rb , dan Zr dengan r 0,95, 0,99, dan 0,97 secara berurutan. Secara normal memang REE dianggap bertambah dengan perjalanan differensiasi magma yang diikuti oleh peningkatan jumlah SiO_2 (contoh: Irzon, 2015). Namun demikian, Kesimpulan mengenai pengurangan kadar Ni maupun peningkatan kandungan total unsur tanah jarang ($UTJ = REE + Y$ dan Nb terhadap penambahan jumlah silika oksida dianggap kurang kuat karena $r < 0,85$ atau $r > -0,85$. Kumpulan diagram perbandingan terhadap SiO_2 pada studi ini terangkum pada Gambar 5.

Keterkaitan tujuh contoh diperdalam dengan menghitung lebih jauh koefisien korelasi (r) pada seluruh elemen yang diukur. Hasil perhitungan koefisien korelasi dapat diperiksa pada Tabel 4. Dapat disimpulkan bahwa sebagian besar elemen maupun ΣUTJ saling berkorelasi kuat satu dengan lainnya. Korelasi yang nyaris sempurna ditunjukkan oleh banyak hubungan dengan $r = 1$ (korelasi positif) maupun $r = -1$ pada oksida utama maupun unsur jarang. Data tersebut menunjukkan bahwa besi pada pasir pantai di pesisir selatan Kulon Progo berasal dari dua mineral, yaitu: *titaniferous magnetite* ($Fe^{2+}(Fe^{3+}, Ti)_2O_4$) dan *manganiferous* dengan mengacu pada hubungan antara Fe terhadap Ti ($r=1$) dan Mn ($r=0,99$). Lebih jauh, keberadaan *titaniferous magnetite* diperkuat oleh hubungan Ti maupun Fe terhadap V (keduanya berkoefisien korelasi = 1) karena mineral tersebut dikenal sebagai pembawa vanadium (contoh: Beura drr., 2009; Mondal dan Baidya, 2015).



Gambar 5. Diagram perbandingan terhadap oksida silika: a) TiO_2 , MnO , dan K_2O ; b) Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO ; c) MgO dan Na_2O ; d) Nb , Th , dan U ; dan e) Ni , Rb , Zr , Total UTJ+Y. Contoh GPJ 36 dan GPJ 37 berasal dari lokasi 1 sedangkan GPJ 42 dan GPJ 43 dari lokasi 4.

Mineral zirkon ditengarai sebagai pembawa UTJ pada lokasi, dimana elemen dengan korelasi paling besar terhadap ΣUTJ adalah Zr. Oksida maupun elemen berikutnya yang berkorelasi kuat dengan UTJ dari derajat korelasi paling kuat adalah: Y, Rb, dan SiO_2 . Korelasi kuat Y terhadap UTJ dianggap lazim karena yttrium bersama scandium kerap dikelompokkan bersama UTJ (contoh: Haque dr., 2014). Pasir pantai di pesisir selatan Kulon Progo besar kemungkinan berasal dari sumber yang sama dengan berdasar pada hasil perhitungan koefisien korelasi secara keseluruhan.

DISKUSI

Penelusuran bahan sumber sedimen pantai telah banyak dilakukan dengan penggunaan rasio geokimia (Paikaray dr., 2008; Carranza-Edwards, dr., 2009; Armstrong-Altrin dr., 2012; Armstrong-Altrin dr., 2014; Henry dan Obasi, 2016). Rasio geokimia yang digunakan pada penelusuran karakter bahan sumber sedimen pantai di selatan Kulon Progo terangkum dalam Tabel 5. Penelitian ini turut menggunakan *Chemical Index of Alteration* (CIA) yang dikemukakan oleh Nesbitt dan Young (1982) untuk mengetahui tingkat pelapukan kimia pada bahan sumber dari sedimen pesisir pantai pada studi ini. CIA dihitung berdasarkan persamaan berikut: $\text{CIA} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} * + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \times 100$. Proporsi berat tidak digunakan dalam perhitungan ini, melainkan proporsi molar (Krissek dan Kyle, 2000; Kasper-Zubillaga dr., 2007; Armstrong-Altrin dr., 2012; Armstrong-Altrin dr., 2014). CIA pada empat contoh berkisar dari 31,34 hingga 43,13. CIA yang lebih kecil dari 50 dapat dijadikan dasar bahwa bahan sumber masih relatif segar (Price dan Velbel, 2003; Paikaray dr., 2008). Secara komparatif, contoh pasir pantai dari Karangwuni (CIA = 41) disimpulkan berasal dari bahan yang telah mengalami pelapukan kimia yang lebih besar dari pada contoh serupa dari Pantai Congot (CIA = 32) (Tabel 5). Pada lokasi 1, bahan yang lebih segar terendapkan terlebih dahulu dan kemudian diikuti oleh bahan dengan kesegaran lebih rendah berdasarkan nilai CIA bagian bawah dan bagian atas masing-masing adalah 39 dan 43. Berbeda dengan lokasi empat yang indikasi bahwa bahan yang relatif lebih banyak terkena pelapukan kimia terendapkan terlebih dahulu (CIA pasir bagian bawah = 32,63) dan diikuti oleh bahan yang relatif lebih segar (CIA pasir bagian atas = 31,34).

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ merupakan dua rasio yang menunjukkan tingkat kematangan sedimen (Armstrong-Altrin dr., 2012; Armstrong-Altrin dr., 2014; Obasi dan Henry, 2015).

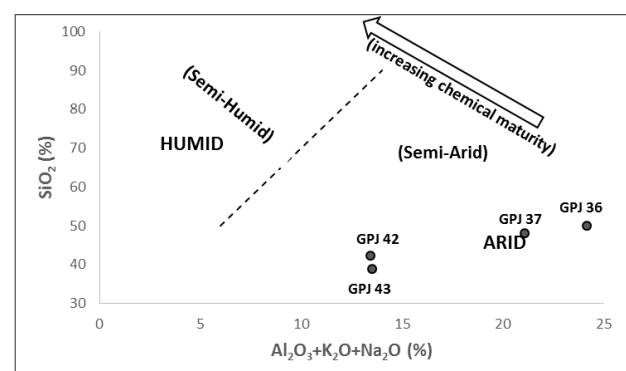
Tabel 4. Perhitungan koefisien korelasi antara elemen sebagai bukti keterkaitan antar contoh. Setiap elemen bagian UTJ tidak ditampilkan, namun diwakilkan dengan karakter Σ UTJ. menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat ($r > 0,9$) dan sebagai oksida atau elemen yang korelasi positif yang cukup kuat ($r > 0,7$) terhadap UTJ.

	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3T}	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Sc	V	Cr	Ni	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Th	U	ΣREE
SiO ₂	-1.00	0.96	-1.00	-0.99	-0.59	-0.93	0.93	0.97	-0.93	-1.00	-0.94	-0.85	0.99	0.98	-0.77	0.97	0.80	0.77	0.95	0.89	0.72
TiO ₂		-0.95	1.00	0.98	0.57	0.91	-0.93	-0.96	0.92	1.00	0.94	0.84	-0.98	-0.97	0.75	-0.96	-0.79	-0.81	-0.93	-0.86	-0.69
Al ₂ O ₃			-0.97	-0.99	-0.77	-0.99	0.96	1.00	-0.99	-0.96	-0.87	-0.75	0.99	1.00	-0.90	0.92	0.90	0.63	0.94	0.90	0.65
Fe ₂ O _{3T}				0.99	0.62	0.94	-0.94	-0.98	0.95	1.00	0.92	0.84	-0.99	-0.99	0.79	-0.97	-0.82	-0.76	-0.95	-0.89	-0.71
MnO					0.70	0.97	-0.97	-0.99	0.97	0.99	0.88	0.78	-1.00	-1.00	0.85	-0.94	-0.88	-0.74	-0.93	-0.88	-0.64
CaO						0.85	-0.81	-0.74	0.84	0.58	0.29	0.17	-0.70	-0.71	-0.97	-0.47	-0.94	-0.29	-0.55	-0.54	-0.10
MgO							-0.98	-0.98	1.00	0.92	0.75	0.65	-0.97	-0.98	0.95	-0.86	-0.95	-0.62	-0.89	-0.85	-0.54
Na ₂ O								0.95	-0.99	-0.93	-0.74	-0.60	0.95	0.95	-0.92	0.82	0.96	0.76	0.82	0.75	0.43
K ₂ O									-0.98	-0.97	-0.86	-0.78	1.00	1.00	-0.87	0.94	0.88	0.64	0.96	0.92	0.69
Sc										0.94	0.44	0.12	-0.05	-0.10	0.88	0.31	0.07	-0.01	-0.21	-0.31	0.56
V											0.37	0.11	-0.21	-0.25	0.73	0.15	0.00	-0.17	-0.41	-0.51	0.35
Cr												0.88	-0.35	-0.31	0.27	-0.21	0.04	-0.27	-0.32	-0.23	0.05
Ni													-0.66	-0.62	-0.17	-0.62	-0.33	-0.58	-0.52	-0.33	-0.17
Rb														0.99	0.42	0.93	0.82	0.87	0.91	0.73	0.75
Sr															0.38	0.93	0.86	0.88	0.90	0.73	0.71
Y																0.71	0.44	0.41	0.25	0.08	0.87
Zr																	0.80	0.83	0.78	0.57	0.90
Nb																		0.81	0.59	0.38	0.59
Ba																			0.67	0.43	0.59
Th																				0.95	0.69
U																					0.55

Karena SiO₂ terhadap Al₂O₃ maupun K₂O terhadap Al₂O₃ berkorelasi kuat ($r > 0,9$, Tabel 5), maka kedua rasio tersebut layak diterapkan pada studi ini. Sumber bahan yang relatif sama tercermin oleh rasio oksida silika terhadap oksida aluminium berada dalam kisaran yang sempit (2.64-3.84). SiO₂/Al₂O₃ contoh dari Pantai Karangwuni lebih kecil dari pada contoh daripada Pantai Congot, yaitu: 2,81 dan 3,72 secara berurutan. Meski perbandingan rasio K₂O/Al₂O₃ kedua lokasi pasir pantai hampir sama, yakni dengan rentang sangat sempit pada 0,07-0,08, namun pasir Pantai Congot dapat dianggap lebih matang daripada Pantai Karangwuni berdasarkan rasio SiO₂/Al₂O₃ pada rentang 3,6-3,8 dan 2,6-3 secara berurutan. Namun demikian, rasio tersebut masih tergolong rendah yang menunjukkan ketidakmatangan pasir pantai dengan basis geokimia. Tingkat kematangan kimia sedimen Pantai Congot dibandingkan Karangwuni dipertegas pada diagram SiO₂ vs Al₂O₃+K₂O+Na₂O (Gambar 6) meski seluruh contoh masih belum dapat dikategorikan sebagai sedimen yang matang. Kemudian, diagram tersebut juga menjelaskan bahwa pasir pantai di Karangwuni terbentuk pada lingkungan yang lebih kering dari pada contoh dari Congot.

Rasio Al₂O₃/TiO₂ pada endapan sedimen klastik dapat dipakai sebagai indikator utama dari tipe batuan sumber (Paikaray dr., 2008; Armstrong-Altrin dr., 2012; Obasi dan Henry, 2015). Rasio Al/Ti pada umumnya meningkat dengan pertambahan jumlah SiO₂. Oleh karena itu, klasifikasi sedimen yang berasal dari batuan mafik, intermediat, dan felsik didasarkan kepada Al₂O₃/TiO₂ yang berkisar pada 3-11, 11-21, dan 21-70 secara berurutan (Paikaray dr., 2008). Nilai yang

rendah Al₂O₃/TiO₂ pada lokasi 4 (3,60-3,84 pada Tabel 5) dapat menjadi petunjuk bahwa pasir Pantai Congot sangat mungkin berasal dari batuan berkarakter mafik. Jauh berbeda dengan pasir dari Pantai Karangwuni yang kemungkinan justru bersumber dari batuan bersifat intermediat mengarah asam dengan bertolak dari perbandingan Al₂O₃/TiO₂ yang cukup tinggi, yakni 15-21. Batuan mafik-ultramafik ditandai dengan kandungan SiO₂ < 45% meski dengan kadar oksida magnesium dan besi yang lebih tinggi terhadap jenis batuan lainnya. Rerata contoh dari lokasi 1 (GPJ 36 dan 36) memiliki kadar oksida silika lebih besar dari pada rerata contoh dari lokasi 4 (GPJ 42 dan 43), yakni 49% dan 41% secara berurutan. Namun demikian, rata-rata kandungan MgO dan Fe₂O_{3T} pada lokasi pertama lebih rendah dari lokasi 4, yaitu 4,5% dan 7,2%, 11% dan 24% secara berurutan. Kandungan tiga utama tersebut semakin memantapkan dugaan bahwa batuan bersifat lebih mafik sebagai input pada lokasi 4.



Gambar 6. Tingkat kematangan kimia sedimen pantai terpilih yang dinyatakan dalam perbandingan SiO₂ terhadap Al₂O₃+K₂O+Na₂O (Sutner and Dutta, 1986)

Tabel 5. Rasio kadar geokimia pada contoh terpilih untuk menelusuri kemungkinan bahan sumber.

	Lokasi 1		Lokasi 2		Lokasi 3	Lokasi 4	
	GPJ 36	GPJ 37	GPJ 38	GPJ 39	GPJ 40	GPJ 42	GPJ 43
CIA	43.13	38.81				31.33	32.63
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2.64	2.98				3.84	3.60
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.08	0.08				0.08	0.07
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	21.16	15.10				5.16	4.03
UTJ-R/UTJ-B	6.77	6.42	5.43	3.75	5.28	5.37	5.55

* Lokasi 1 berada 200 m sebelum garis Pantai Karangwuni, Lokasi 2 di tepi Pantai Karangwuni, Lokasi 3 di tepi Pantai Glagah, dan Lokasi 4 di tepi Pantai Congot. Seperti dijelaskan pada Tabel 1 bahwa komposisi oksida utama pada lokasi 2 dan 3 tidak diukur dengan pertimbangan lokasi, aliran Sungai Serang, dan keterwakilan oleh unsur jarang maupun unsur tanah jarang.

Penelusuran mengenai sumber sedimen turut dikembangkan dengan menggunakan unsur jarang. Penelitian sebelumnya mengungkap bahwa sedimen yang bersumber dari bahan yang semakin mafik dicirikan dengan peningkatan kadar Cr, Ni, maupun perbandingan Cr/Ni (Armstrong-Altrin dr., 2012). Meski demikian, dengan adanya indikasi pencemaran logam berat Ni-Cr pada lokasi 2 dan lokasi 3 (Irzon, 2017) kadar kedua elemen tersebut tidak dapat dijadikan perangkat dalam menelusuri bahan sumber. Komposisi vanadium yang tinggi telah dijadikan asumsi bahwa sedimen berasal dari bahan bersifat mafik seperti pada penelitian di Teluk Meksiko (Armstrong-Altrin dr., 2012). Kandungan vanadium yang tinggi pada lokasi 4 (860-1.070 ppm) semakin menguatkan dugaan bahwa sedimen tersebut berasal dari bahan lebih mafik dibandingkan dengan tiga lokasi lain.

Rasio UTJ-ringar (UTJ-R)/UTJ-berat (UTJ-B) yang rendah pada batuan berkarakter mafik lebih rendah daripada batuan bertipe makin asam (kecuali batuan basal alkali) (Armstrong-Altrin dr., 2012). Diagram laba-laba UTJ yang telah dinormalisasi, dalam studi ini terhadap *primitive mantle* (Sun and McDonough, 1989), dapat digunakan untuk melihat kecenderungan UTJ-ringar terhadap UTJ-berat selain tentu dengan perhitungan matematis. Sifat yang lebih asam pada sumber lokasi 1 telah dikonfirmasi dengan rasio UTJ-ringar/UTJ-berat yang lebih tinggi (6,6) dibandingkan dengan lokasi 4 (5,45) (Tabel 5). Perbedaan dapat diamati pada hasil normalisasi contoh terpilih pada Gambar 3. Contoh dari Pantai Congot cenderung tanpa anomali Eu yang justru diperlihatkan sebagai anomali positif oleh contoh dari Pantai Karangwuni. Bentuk lembah (through) dari unsur Pr lebih dalam pada contoh dari Pantai Congot merupakan perbedaan berikutnya pada diagram laba-laba UTJ.

Sumber endapan sedimen terdiri dari dua kemungkinan: hasil letusan gunungapi dan hasil transportasi lepasan dari unit-unit batuan yang berada di sekitar pantai. Dengan menganggap bahwa lepasan batuan hanya

dapat mencapai pantai melalui aliran sungai, maka hanya tiga unit batuan yang mungkin menjadi sumber utama dari sedimen pantai pada studi ini, dari tua ke muda yaitu: Andesit, Formasi Kebobotak, dan Formasi Sentolo. Perlu ditegaskan bahwa satuan Andesit yang dimaksud bukanlah Formasi Andesit Tua sebagai nama lain dari Formasi Kebobotak yang terbentuk pada masa Oligosen Akhir – Miosen Awal (Harjanto, 2011), namun intrusi Andesit pada pertengahan masa Miosen (Rahardjo dr., 2012). Ketiga unit batuan ini terhubung dengan pantai oleh dua sungai besar Kali Plampang dan Kali Serang (Rahardjo dr., 2012) selain juga sungai-sungai kecil lain. Kecil kemungkinan bahwa Formasi Sentolo yang terdiri dari batugamping dan batupasir napalan sebagai bahan sumber dengan berbasis pada kadar oksida kalsium dan LOI pada contoh terpilih. Sebagai batuan karbonat, batugamping dicirikan oleh kadar oksida kalsium dan LOI yang tinggi (Irzon dr., 2016) dan tidak tercermin pada geokimia contoh terpilih. Formasi Kebobotak dibangun oleh breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat, dan sisipan aliran lava andesit. Kecuali aliran lava andesit, jenis batuan lain pembentuk Formasi Kebobotak bukanlah bahan yang berkarakter segar. Hal tersebut bertentangan dengan CIA pada contoh terpilih yang bersumber pada bahan yang relatif segar sehingga kecil kemungkinan Formasi Kebobotak sebagai sumber utama.

Gunung Merapi adalah gunungapi yang paling dekat dengan lokasi penelitian. Hasil penelitian mengenai studi vulkanologi dan petrologi erupsi Merapi tahun 2006 dan 2010 telah dipaparkan oleh Preece (2014). Kadar geokimia dari total 31 contoh pada studi tersebut telah diperiksa dengan contoh yang diambil dari Kali Bebeng, Cuping hingga puncak Gunung Merapi, dan Kali Gendol.

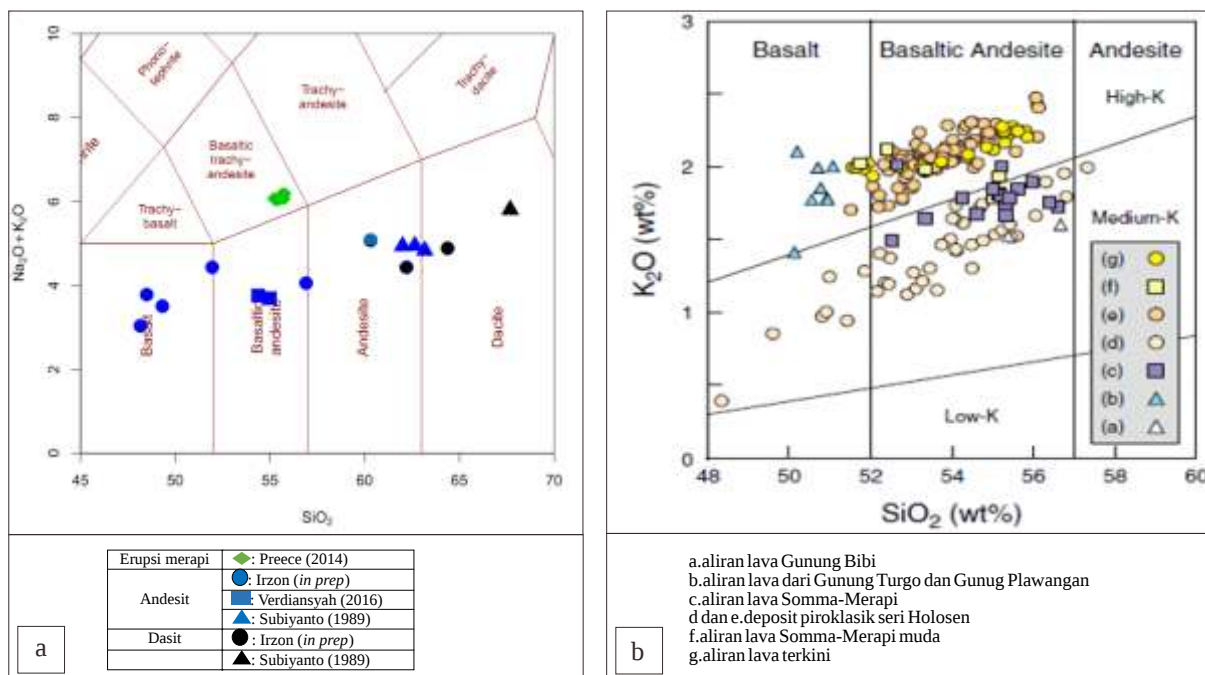
Karena pengambilan contoh dilaksanakan sebelum erupsi pada tahun 2010, maka lima contoh pada penelitian tersebut tidak dijadikan sebagai acuan. Contoh hasil aktifitas Gunung Merapi tersebut berada pada kisaran yang sempit setelah diklasifikasikan dalam

diagram total alkali terhadap silika (TAS diagram) (Middlemost 1994), yakni sebagai basaltic trachy-andesite seperti pada Gambar 7a. Bahkan karakter batuan *intermediate* pun tidak dapat dimunculkan oleh kumpulan contoh tadi. Ciri mafik lava Merapi dan batuan piroklastiknya memperkuat diagram SiO_2 terhadap K_2O dari total 205 contoh penelitian sebelumnya (Gertisser drr., 2012) (Gambar 7b). Korelasi antar elemen yang kuat dan rentang sempit pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada pembahasan sebelumnya telah menyimpulkan bahwa pasir pantai pada empat lokasi terpilih berasal dari sumber yang relatif sama. Oleh karena itu, komposisi batuan terkait letusan Gunung Merapi dari kedua penelitian tersebut (Preece, 2014; Gertisser drr., 2012) relatif kurang mendukung sifat bahan sumber pasir pantai pada studi ini yang berkarakter mafik hingga mengarah ke felsik berdasarkan rasio $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (Tabel 5). Lebih jauh, Gertisser drr (2012) menyebutkan bahwa aliran transportasi ke bawah dari bahan piroklastik erupsi umumnya kurang dari 10 km dari gunungapi. Kemudian, derajat maturitas rendah pada contoh terpilih telah ditunjukkan oleh rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Tabel 5) maupun penggunaan diagram SiO_2 versus $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ dapat dijadikan petunjuk bahwa bahan asal berlokasi tidak terlalu jauh dari endapan sedimen pantai. Gunung Merapi diketahui berada cukup jauh, yakni sekitar 50 km timur laut dari lokasi

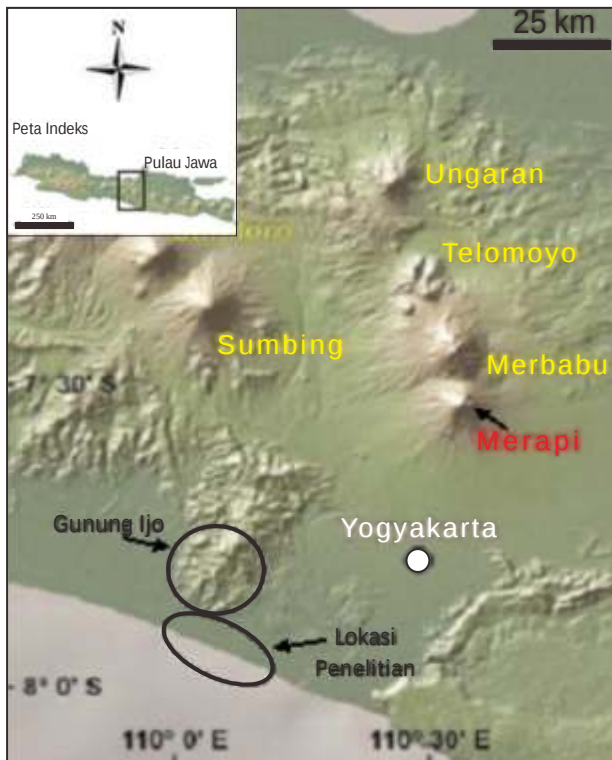
studi. Dengan demikian, kecil kemungkinan bahwa hasil erupsi Merapi dapat disebut sebagai bahan sumber pada studi ini.

Unit Andesit berlokasi di sekitar Gunung Ijo, kurang dari 10 km dari wilayah studi (Gambar 8). Penelitian terdahulu telah mengungkap bahwa Andesit pada Peta Geologi Lembar Yogyakarta telah mengalami diferensiasi dari magma asal yang bersifat mafik (Wijaya dan Hendratno, 2015). Rentang klasifikasi geokimia yang lebar, dari mafik hingga felsik, pada satuan Andesit dikarenakan oleh proses diferensiasi tersebut dan ditengarai comagmatik dengan Dasit (Irzon, *in prep*). Rentang geokimia Andesit-Dasit di sekitar Gunung Ijo yang lebar dari mafik, *intermediate*, hingga mengarah ke felsik ditampilkan pada Gambar 7a. Kenyataan tersebut sesuai dengan kesimpulan sebelumnya mengenai karakter bahan sumber berdasarkan rasio $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$. Singkapan Andesit segar hingga sedikit lapuk dapat ditemukan pada banyak lokasi di sekitar Gunung Ijo sehingga sesuai dengan hasil perhitungan *Chemical Index of Alteration* sebagai indikator derajat pelapukan bahan sumber.

Andesit Gunung Ijo hanya berjarak sekitar 10 km utara lokasi studi sehingga batuan lepasannya tidak tertransportasi terlalu jauh hingga sampai ke tiga daerah pantai pada penelitian ini dan kemudian mengkonfirmasi derajat maturitas rendah pada contoh pasir pantai.



Gambar 7. a) Perbandingan komposisi hasil erupsi Gunung Merapi terhadap satuan Andesit dan Dasit di sekitar Kulon Progo. dan; b) Hasil penelitian Gertisser drr. (2012) terhadap 205 contoh terkait aktifitas Merapi. Gertisser drr. (2012) tidak melampirkan nilai kandungan geokimia setiap contoh pada tulisannya sehingga tidak dapat langsung diperbandingkan pada diagram TAS seperti pada Gambar 7a.



Sumber : Preece (2014)

Gambar 8. Ilustrasi lokasi Gunung Merapi, Gunung Ijo, dan lokasi penelitian di daerah pantai Kulon Progo.

Kemiripan pola normalisasi UTJ pun dapat ditemukan pada contoh unit Andesit dengan contoh pasir pantai terpilih, yakni: anomali negatif Sm-Gd, dan anomali positif Eu-Tm (Irzon, *in prep*). Rangkuman faktor tersebut dianggap cukup kuat untuk menegaskan kesimpulan bahwa satuan Andesit di sekitar Gunung Ijo sebagai bahan sumber dari sedimen pantai di selatan Kulon Progo.

KESIMPULAN

Studi kandungan kimia terhadap sedimen pantai di selatan Kulon Progo telah dilaksanakan pada empat lokasi dengan total tujuh contoh. Komposisi bahan magnetis lebih tinggi pada contoh hasil penggalian lebih tinggi daripada pasir pada permukaan, sedangkan UTJ justru lebih terkumpul pada permukaan. Seluruh contoh ditengarai berasal dari sumber yang sama. Bahan sumber disimpulkan masih cukup segar, berkarakter mafik hingga menuju felsik, dan berlokasi tidak terlalu jauh dari pesisir pantai Kulon Progo. Unit intrusi Andesit diduga lebih tepat sebagai bahan sumber berdasarkan karakter tersebut dibandingkan dengan unit batuan lain maupun hasil aktifitas Gunung Merapi. Keterdapatan aliran sungai makin menegaskan bahwa batuan Andesit yang dimaksud adalah yang berada di sekitar Gunung Ijo.

UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini didukung sepenuhnya secara finansial oleh Pusat Survei Geologi. Terimakasih kepada Bapak Kepala Pusat Survei Geologi atas izin penerbitan karya ilmiah ini. Bapak Sigit Maryanto, Bapak Kurnia, Bapak Usep Rohayat, dan Ibu Ernawati telah banyak memberi ide mengenai geokimia dan kerja keras dalam proses pengambilan contoh. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Ibu Irfanny Agustiani atas asistensinya mengenai analisis kimia. Bapak Verry Edi Setiawan telah memberi saran mengenai geologi setempat.

ACUAN

- Abedini, A. and Calagari, A.A., 2015. Rare earth element geochemistry of the Upper Permian limestone: the Kanigorgeh mining district, NW Iran. *Turkish Journal of Earth Sciences*, v.24:365-382
- Armstrong-Altrin, J.S., Leeb, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Garcia, D., Ebye, G.N., Balaram, V. and Cruz-Ortiz, N.L., 2012. Geochemistry of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico: Implication for provenance. *Chemie der Erde*, v.72, hal.345–362.
- Armstrong-Altrin, J.S., Nagarajan, R., Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Cordoba-Saldana, L.P., 2014. Geochemistry of sands along the San Nicolás and San Carlos beaches, Gulf of California, Mexico: implications for provenance and tectonic setting. *Turkish Journal of Earth Sciences*, v.23, hal. 533-558.
- Beura, D., Acharya, D., Singh, P. dan Acharya, S., 2009. Högbomite Associated with Vanadium bearing Titaniferous Magnetite of Mafic-Ultramafic Suite of Moulabhanj Igneous Complex, Orissa, India. *Journal of Minerals, Materials Characterization, and Engineering*, v.8 (9), hal.745-753.
- Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J.J., Rosales-Hoz, L., Morales-de la Garza, E.A., dan Lozano-Santa Cruz, R., 2009. Beach sand composition and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 26(2), hal. 433-447.

-
- Gertisser, R., 2001. Gunung Merapi (Java, Indonesien): Eruptionsgeschichte und Magmatische Evolution eines Hochrisiko-Vulkans. Ph.D. Thesis, Universität Freiburg, Germany.
- Harjanto, A, 2011. Vulkanostratigrafi di Daerah Kulon Progo dan Sekitarnya, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah MTG*, v.4, no.2.
- Haque, N., Hughes, A., Lim, S. dan Vernon, C., 2014. Rare Earth Elements: Overview of Mining, Mineralogy, Uses, Sustainability and Environmental Impact. *Resources*, v.3, hal.614-635.
- Hariri, M.M., 2004. Petrographical and Geochemical Characteristics of The Ultramafic Rocks of Jabal Zalm, Central Arabian Shield, Saudi Arabia. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, v.29(2A), hal.23-133.
- Heggie, G.J., Barnes, S.J. dan Fiorentini, M.L., 2013. Application of lithogeochemistry in the assessment of nickel-sulphide potential in komatiite belts from northern Finland and Norway. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 85, hal. 107–126.
- Henry, Y.M. dan Obasi, R.A., 2016. Geochemistry, Classification and Maturity of The Sandstone Facies of The Abeokuta Formation, South Western Nigeria. *European Journal of Basic and Applied Sciences*, v.3(2), hal 39-57.
- Jayalakshmi, K., Nair, K.M., Hisao, K. dan Santosh, M., 2003. Mineralogical and Geochemical Variations as Indicators of Provenance in the Heavy Mineral Deposits of Ambalapuzha Beach Sands, SW Coast of India. *Journal of Geosciences*, Osaka City University, v.46(10), hal. 157-168.
- Irzon, R., 2010. Pengujian Trace – Rare Earth Elements terhadap SRM AGV2 dan GBW 07113 dengan ICP-MS. *Kumpulan Makalah Sarana Teknik Pusat Survei Geologi*, 39, p.51-64.
- Irzon, R., 2015. Contrasting Two Facies of Muncung Granite in Lingga Regency Using Major, Trace, and Rare Earth Element Geochemistry. *Indonesian Journal on Geoscience*, v.2(1), hal.23-33.
- Irzon, R., Maryanto, S. dan Kurnia., 2016. Geokimia Batugamping Formasi Gumai dan Formasi Baturaja di Wilayah Muaradua, Ogan Komering Ulu Selatan, Provinsi Sumatra Selatan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, v.17(3), hal.125-138.
- Irzon, R., 2017. Nickel and Chrome Pollutions Identification in the Coastal Area of Kulon Progo, Yogyakarta. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, v.8(2), hal. 79-90
- Irzon, R. *In prep.* Co Magmatic Andesite and Dacite in Mount. Ijo, Kulon Progo: A Geochemistry Perspective. *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Mineral*.
- Karnawati, D.S., Pramumijoyo, and Hendrayana, H., 2006. Geology of Yogyakarta, Java: The dynamic volcanic arc city. *The 10th IAEG International Congress*, Nottingham, United Kingdom. Paper number 363.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Zolezzi-Ruíz, H., Carranza-Edwards, A., Girón-García, P., Ortiz-Zamora, G. dan Palma, M., 2007. Sedimentological, modal analysis and geochemical studies of desert and coastal dunes, Altar Desert, NW Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.32, hal.489-508.
- Kim, K.T., Kim, E.S., Cho, S.R., Park, J.K., Ra, K.T. and Lee, J.M., 2010. *Distribution of Heavy Metals in the Environmental Samples of the Saemangeum Coastal Area, Korea. Coastal Environmental and Ecosystem Issues of the East China Sea*. Terrapub and Nagasaki University, hal.71-90.
- Krissek, L.A. dan Kyle, P.R., 2000. Geochemical Indicators of Weathering, Cenozoic Palaeoclimates, and Provenance from Fine-Grained Sediments in CRP-2/2A, Victoria Land Basin, Antarctica. *Terra Antarctica*, v.7(4), hal.589-597.
- Long, K.R., Van Gosen, B.S., Foley, N.K., and Cordier, D., 2010, *The principal rare earth elements deposits of the United States—A summary of domestic deposits and a global perspective*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5220, 96 halaman.
- Malick, B.M.L., Sano, E. dan Ishiga, H., 2011. *Geochemical composition of beach sands from Tottori Prefecture, Japan*. V.30, hal.65-72.
-

-
- Maryanto, S. and Hasan, R., 2011. Korelasi-Regresi Antarparameter Petrofisika Batuan Beku dan Batugamping dari Daerah Pegunungan Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geologi Indonesia*, v.6, no.4:203-211.
- Maulana, A., Sanematsu, K. dan Sakakibara, M., 2016. The Overview on the Possibility of Scandium and REE Occurrence in Sulawesi, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, v.3(2), hal.139-147.
- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Review*, v.37: 215-224.
- Mondal, R. dan Baidya, T.K., 2015. Titaniferous Magnetite Deposits Associated with Archean Greenstone Belt in the East Indian Shield. *Earth Sciences*, v.4(4-1), hal.15-30.
- Nasr, S.M., Okbah, M.A., Kasem, S.M., 2006. Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution in Bottom Sediments of Aden Port, Yemen. *International Journal of Oceans and Oceanography*, v.1(1), hal. 99-109.
- Nurwidyanto, I.M., Kirbani, S.B., Sismanto, and Waluyo, 2014. Subsurface Modeling of Yogyakarta Basin Using Inversion Method of Gravity Data. *International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences*, v.4, no.3:289-295.
- Obasi, R.A. dan Henry, Y. M., 2015. Geochemical Classification and Maturity of the Coastal Plain Sediments, South West, Nigeria. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, v.2(4), hal. 537-546
- Paikaray, S., Banerjee, S. dan Mukherji, S., 2008. Geochemistry of Lower Vindhyan Shales and Its Implications on Provenance and Tectonics. *Indian Journal of Geology*, v.78, hal. 143-157
- Preece, K.J., 2014. Transitions between effusive and explosive activity at Merapi volcano, Indonesia: a volcanological and petrological study of the 2006 and 2010 eruptions. Doctoral Thesis. School of Environmental Sciences of the University of East Anglia.
- Price, J.R. dan Velbel, M.A., 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology*, v.202, hal.397-416
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H.M.D. 2012. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa skala 1:100.000*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi.
- Subiyanto, 1989. Calk-alkaline Volcanic Rocks and Related Soils from West Progo, Yogyakarta (Java, Indonesia). Thesis, Rijksuniversiteit Gent International Training Centre for Post Graduate Soil Scientists, Gent.
- Sunardi dan Sarjono, Y., 2007. Penentuan Kandungan Unsur Makro pada Lahan Pesisir Pantai Samas Bantul dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron. *Prosiding PPI – PDIPTN Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN*.
- Sun, S.S. dan McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes, in Saunders, A.D., and Norry, M.J., eds., *Magmatism in the ocean basins: Geological Society of London Special Publication* 42: 313- 345.
- Surono, 2008. Litostratigrafi dan sedimentasi Formasi Kebo dan Formasi Butak di Pegunungan Baturagung, Jawa Tengah Bagian Selatan. *Jurnal Geologi Indonesia*, v.3(4), hal.183-193.
- Suttner, L.J. and Dutta, P.K. 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.56, hal. 329-345
- Van Gosen, B.S., Gillerman, V.S., and Armbrustmacher, T.J., 2009, *Thorium deposits of the United States—Energy resources for the future?* U.S. Geological Survey Circular 1336, 21 halaman.
- Verdiansyah, O., 2016. Perubahan Unsur Geokimia Batuan Hasil Alterasi Hidrotermal di Gunung Wungkal, Godean. Yogyakarta. *Kurvatek*, v.1(1), hal. 59-67.
- Wijaya, D. R. P. and Hendratno, A., 2015. Petrogenesis Andesit Basaltik di Daerah Kali Wader dan Sekitarnya, Kecamatan Bener, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke-5*, Academia-Industry Linkage, hal.53-64.
- Yalcin, F., Nyamsari, D.G., Paksu, E. dan Yalcin, M.G., 2016. Statistical Assessment of Heavy Metal Distribution and Contamination of Beach Sands of Antalya-Turkey: an Approach to the Multivariate Analysis Techniques. *Filomat*, v.30(4), hal. 945–952
-

