

Fasies gunungapi, dan evolusi magmatik berdasarkan analisis geokimia Kompleks Todoko-Ranu, Kecamatan Sahu, Halmahera, Maluku Utara

Lotong R V Laratmase¹, Sari Bahagiarti Kusumayudha², Agus Harjanto²

¹Program Magister Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta

²Jurusan Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta.

* koresponden: saribk@upnyk.ac.id, 08122782595

Article Info

Article history:

Received October 27, 2024

Accepted January 13, 2025

Published May 20, 2025

Keywords:

Volcanic facies

Magmatic evolution

Calc-alkaline

Magma differentiation

Todoko-Ranu

ABSTRACT

The Todoko-Ranu volcanic complex is situated in the Sahu District, West Halmahera Regency, North Maluku. Geomorphologically, this area shows various volcanic landforms, reflecting the development and changes in the characteristics of eruptive activities. Eruption characteristic of a volcano is influenced by the physical and chemical properties of magma. Todoko-Ranu volcanic complex was built by volcanic products, including lava deposits, pyroclastic deposits and lahar deposits, which have different geochemical compositions. Due to the variety compositions of rocks, it is important to carry out studies on magmatic evolution based on geochemical analysis in the area. This study is useful for knowing the characteristics of the eruption at that time. Thus, the aim of this research is to study and analyze the geochemistry of volcanic rocks in order to determine the magmatic evolution of the Todoko-Ranu volcanic complex. The method applied is mapping the distribution of rocks and geological structures, testing rock samples for petrographic analysis and geochemical analysis, then studying magmatic processes. The results of the study show that the volcanic rocks of the Todoko-Ranu complex originate from calc-alkaline and tholeiitic magma which was formed from oceanic plate partial melting in a convergent tectonic environment, then underwent an evolution from alkaline to more acidic due to the process of magma differentiation and assimilation.



Corresponding Author:

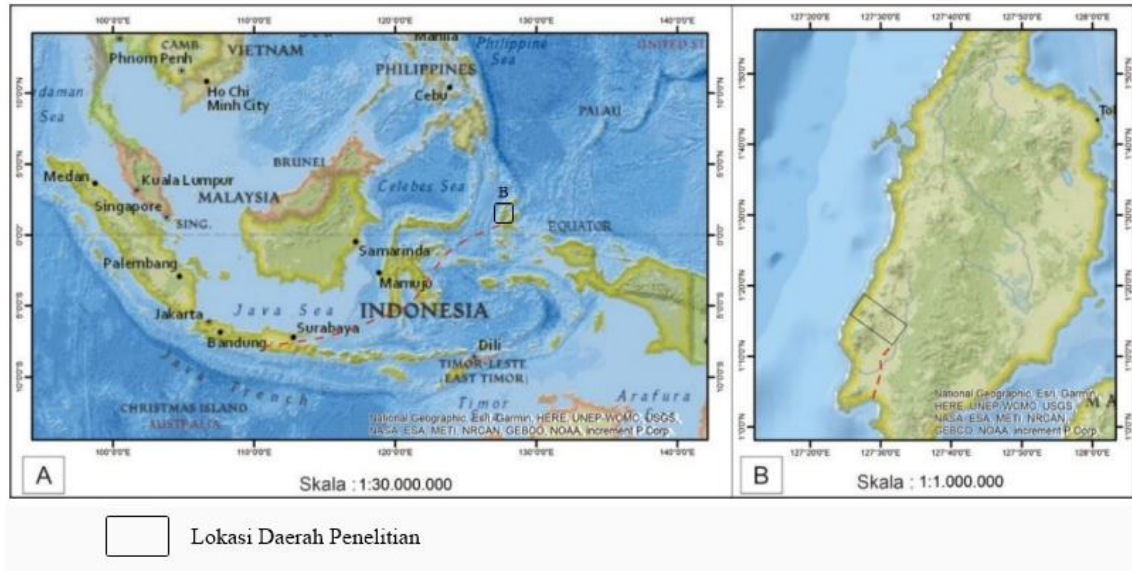
Sari Bahagiarti Kusumayudha,
Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Minjeral dan Energi
Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta,
Jl. Padjadjaran, Condongcatur, Depok, Sleman, D.I.Y.
Email: *saribk@upnyk.ac.id

1. PENDAHULUAN

Gunung Todoko-Ranu dan sekitarnya merupakan kompleks vulkanik yang sudah tidak aktif. Di lokasi ini terdapat beberapa bekas pusat erupsi, salah satunya memiliki kaldera dengan diameter 2,5 km, dan tinggi ± 979 mdpl (meter dari permukaan laut). Dua (2) pusat erupsi lainnya adalah Gunung B'anyo Doi, dan Gunung Uno [1], [2]. Litologi di sekitar kompleks Todoko-Ranu terdiri dari batuan vulkanik, berupa lava, breksi, dan tufa. Batuan vulkanik tersebut merupakan hasil dari aktivitas gunung-gunung purba kompleks Todoko-Ranu [2, 3]. Secara fisik batuan vulkanik di daerah ini cukup beraneka, ditunjukkan oleh ekspresi morfologi di tempatmana batuan tersebut terdapat. Hal ini mencerminkan terjadinya proses pembentukan dan pengendapan batuan yang berbeda-beda [3], [4]. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang sebaran batuan vulkanik kompleks Todoko-Ranu, pembagian dan karakteristik fasies gunungapi, geokimia batuan, serta evolusi magmatik daerah penelitian.

Tujuan penelitian adalah untuk mengkaji fasies gunungapi berdasarkan analisis geomorfologi, mengidentifikasi karakteristik geokimia batuan, dan menganalisis evolusi magmatik kompleks Gunung Todoko-Ranu.

Lokasi penelitian secara administratif termasuk ke dalam wilayah beberapa desa, yaitu Golago Kusuma, Kecamatan Sahu, Sasur, Kecamatan Sahu Timur, dan Goro-Goro, Kecamatan Ibu Selatan, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara. Daerah penelitian meliputi area sepanjang 14 Km, lebar 4,5 Km, dengan waktu tempuh dari ibu kota Kabupaten Halmahera Barat (Jailolo) selama 30 menit (Gambar 1.2).

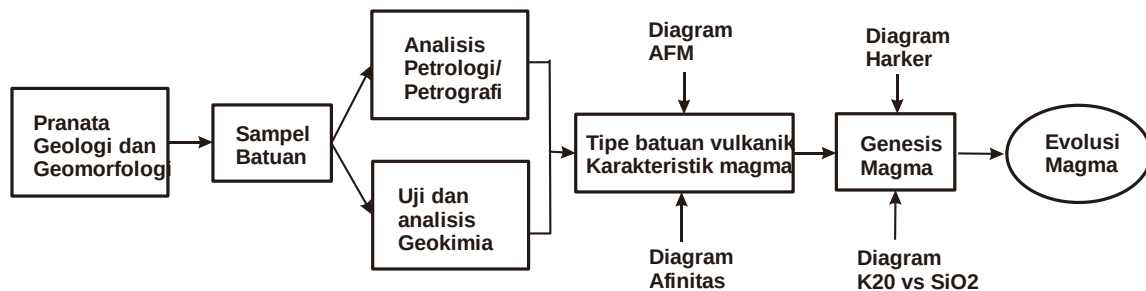


Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

2. METODE PENELITIAN

Secara umum penelitian ini dilaksanakan dengan menerapkan metode diskriptif, analitik, kualitatif, dan kuantitatif. Kegiatan yang dilakukan antara lain interpretasi penginderaan jarak jauh menggunakan citra satelit dan citra Google earth, analisis geomorfologi, pemetaan geologi permukaan, serta kajian geokimia batuan. Pemetaan geologi dilaksanakan guna mendapatkan gambaran distribusi variasi litologi vulkanik dan struktur geologi, baik secara lateral, maupun secara vertikal [5]. Guna memperoleh data tentang petrologi, petrografi dan petrokimia, dilakukan pengambilan sampel batuan di lokasi-lokasi terpilih. Selanjutnya sampel-sampel tersebut dipreparasi, dibuat sayatan tipis untuk pengamatan dan analisis petrografi. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi tekstur, baik tekstur umum, maupun tekstur khusus, serta komposisi mineral penyusun batuan, yang selanjutnya digunakan untuk penamaan batuan [6]. Di sisi lain data tentang petrokimia batuan diperoleh dari penerapan metode XRF (*X-ray Fluorescence*).

Selain analisis petrografi, uji petrokimia sampel batuan juga dilakukan untuk analisis geokimia. Selanjutnya hasil uji tersebut di plotkan ke dalam diagram AFM (Alkali, Feroksida, dan Magnesia), diagram afanitas, serta diagram Harker, guna mengidentifikasi sifat magma asal batuan [7]. Berdasarkan atas analisis-analisis tersebut, maka evolusi magmatik di daerah penelitian dapat diketahui dan disimpulkan [8], [9]. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN ANALISIS

Tinjauan Umum

Penentuan fasies gunungapi pada suatu kompleks vulkanik perlu dilakukan dalam rangka mengidentifikasi lingkungan pengendapan hasil aktivitas suatu gunungapi [8], [9]. Dengan demikian, ciri-ciri litologi produk gunungapi dalam kesamaan waktu pada suatu lokasi tertentu, yang menyangkut aspek fisika, kimia, dan biologi, dapat ditentukan [6]. Fasies gunungapi dikelompokkan menjadi empat daerah, yaitu *central/vent facies*, *proximal facies*, *medial facies*, dan *distal facies* [6], [8]. Petrologi variasi litologi fasies gunungapi ketika dianalisis lebih lanjut berdasarkan geokimia, akan dapat memberikan informasi tentang generasi magma di lingkungan tektonik tertentu, misalnya busur kepulauan, dan baji mantel di bawah zona subduksi [9], [10], [11]. Proses tersebut akan menghasilkan magma dengan komposisi kimia spesifik dalam kandungan unsur utama (*major element*) maupun unsur jejak (*trace element*). Berdasarkan komposisi kimia, dalam persentase berat silika (SiO₂) lava koheren dapat diklasifikasikan menjadi basal, andesit basaltik, andesit, dasit, dan riolit [10], [11]. Berdasarkan persentase berat SiO₂ vs K₂O batuan tersebut dibagi menjadi batuan toleii (rendah kalium), batuan *calc-alkaline* (kalium menengah), dan batuan alkalin (alkali tinggi). Untuk gunungapi yang berhubungan dengan zona penunjaman, batuan toleii umumnya terdapat di busur magma bagian depan dekat dengan zona penunjaman, batuan *calc-alkaline* terdapat di bagian tengah, dan batuan alkalin atau *shoshonite* di bagian belakang [10], [11], [12].

Dengan dilakukannya penelitian ini, hasilnya akan memperkaya khasanah ilmu pengetahuan tentang fasies dan evolusi magmatik suatu kompleks gunungapi yang ada di Indonesia, khususnya di Pulau Halmahera. Dapat dijadikan sebagai referensi pada penelitian-penelitian selanjutnya.

Geologi

Daerah penelitian secara fisiografi termasuk dalam Mandala Halmahera Barat bagian Utara [2]. Di lokasi tersebut dijumpai kompleks gunungapi dengan tiga pusat erupsi, bernama Todoko-Ranu, B'anyo Doi, dan Uno. Pada saat ini ketiga pusat erupsi sudah tidak aktif lagi. Ketika masih aktif, ketiga pusat erupsi menghasilkan litologi yang dapat dikelompokkan menjadi beberapa grup dan satuan batuan, yaitu Kelompok satuan batuan Todoko-Ranu, Kelompok satuan batuan Banyo'Doi, dan Kelompok satuan batuan Uno (Tabel 1). Secara lengkap kelompok satuan batuan tersebut diuraikan sebagai berikut

Kelompok Satuan Batuan Todoko-Ranu

Kelompok satuan batuan Todoko-Ranu (**Gambar 3**) bersumber dari Gumuk Todoko-Ranu, terdiri dari Satuan lava andesit-basaltik Todoko-Ranu 1 (Tla1), Satuan lava andesit-basaltik Todoko-Ranu 2 (Tla2), Satuan lava andesit-basaltik Todoko-Ranu 3 (Tla3) Satuan lava andesit Todoko-Ranu 4 (Tla4) Satuan piroklastika jatuhan Todoko-Ranu (Tjp), Satuan laharik Todoko Ranu, dan Satuan lava andesit Anak Todoko-Ranu (Atla). Satuan lava andesit-basaltik Todoko-Ranu 1 (Tla1), Satuan lava andesit-basaltik 2 (Tla2), dan Satuan lava andesit-basaltik 3 (Tla3) masing-masing tersusun oleh lava dengan struktur masif, hipokristalin, afanitik-fanerik, subhedral, porfiritik, traktitik, komposisi: plagioklas (andesin & labradorit), hornblende, ortopiroksen, mineral opak, kuarsa, mineral oksida, masa dasar gelas, Nama: Andesit [13], andesit-basaltik [14]. Satuan lava andesit Todoko-Ranu 4 (Tla4) tersusun oleh lava dan tufa andesitik. Lava menunjukkan tekstur hipokristalin, afanitik-fanerik sedang, subhedral, porfiritik, filotaksitik, komposisi mineral: plagioklas (andesin, labradorit), muskovit, masa dasar gelas, kuarsa, hornblende, opak, Nama: Andesit [13], [14]. Tufa tekstur klastik, terpilah buruk, relasi antar butir floating, subrounded, didukung oleh material sialik, *ferromagnesian*, tekstur khusus porfiritik komposisi: kuarsa, plagioklas, hornblende, *glass shard*, mineral opak, Nama: *Vitric tuff* [15]. Satuan piroklastik jatuhan Todoko-Ranu (Tjp) bersumber dari hasil aktivitas vulkanisme gumuk Todoko-Ranu, berupa breksi laharik, *tuff* dan lapili. Breksi laharik terdiri dari fragmen-fragmen andesit, andesit-basaltik, matriks *arkosic arenite* [15], tufa gelas [15], *lapilli tuff* [16]. Satuan breksi laharik Todoko-Ranu tersusun oleh breksi laharik yang bersumber dari gumuk Todoko-Ranu, matriks *subarkose arenite* [14]. Lava andesit Anak Todoko-Ranu (Atla) tersusun oleh hasil aktivitas vulkanisme berupa batuan kubah lava, nama: Andesit [13], [14].

Kelompok batuan vulkanik B'anyo Doi

Kelompok ini bersumber dari Gumuk B'anyo Doi, terdiri dari Satuan lava andesit-basaltik B'anyo Doi (Bla), dan Satuan breksi laharik B'anyo Doi (Bl), Satuan lava andesit-basaltik B'anyo Doi (Bla) tersusun oleh lava andesit, hipokristalin, afanitik-fanerik sedang, subhedral, porfiritik, tekstur khusus filotaksitik, komposisi: kuarsa, plagioklas (andesin dan labradorit), klinopiroksen, hornblende, mineral opak, ortoklas, masa dasar gelas, nama: Basalt [13], Andesit-basaltik [14]. Satuan breksi laharik B'anyo Doi (Bl) tersusun oleh breksi laharik, dan breksi polimiks, dengan fragmen-fragmen basalt, andesit-basaltik, serta andesit. Matriks breksi berupa *subarkosic arenite* [15].

Kelompok batuan vulkanik Uno

Kelompok ini bersumber dari Gumuk Uno, terdiri atas Satuan lava andesit-basaltik Uno 2 (Ula2), dan Satuan breksi laharik Uno (UI). Satuan lava andesit-basaltik Uno 2 (Ula2) terdiri dari lava andesit, hipokristalin, afanitik-fanerik sedang, subhedral, porfiritik, trakitik, dengan komposisi: plagioklas (andesin dan labradorit), hornblende, kuarsa, mineral opak, masa dasar gelas, nama: Andesit porfiri [14], andesit-basaltik [14]. Satuan lava andesit-basaltik Uno 2 (Ula2) tersusun oleh lava hipokristalin, afanitik-fanerik sedang, subhedral, porfiritik, filotaksitik, komposisi: plagioklas (andesin), muskovit, masa dasar gelas, kuarsa, hornblende, mineral opak, nama: Andesit [10, 11]. Satuan breksi laharik Uno (UI) tersusun oleh breksi laharik, dengan frafmen: andesit [13], [14], dan matriks *lithic* [15].

UMUR		STRATIGRAFI VULKANIK			PERIODE ERUPSI	KEGIATAN ERUPSI	PRODUK VULKANIK			Ketebalan Tersingkap (meter)	SATUAN BATUAN	
ZAMAN	KALA	BUSUR (Sukanto dkk, 1981)	BREGADA	KHULUK			GUMUK	Aliran Lava	Jatuhan Piroklastik			Aliran Piroklastik
Quarter	Holocen	Mandala Busur Kepulauan Gunungapi Kuarter	Halmahera Barat	Sabu	Post - Kaldera	Pusat	Atla			8	Lava Andesit Anak Todoko-Ranu	
					Syn - Barat				Talp	3	Piroklastik Aliran Anak Todoko-Ranu	
									Tjp	6,5	Piroklastik Jatuhan Anak Todoko-Ranu	
									Bl	4	Breksi Laharik B'anyo Doi	
									Ul	3	Breksi Laharik Uno	
										25	Lava Andesit 4 Todoko-Ranu	
					Pra - Barat		B'anyo Doi	Bla			3	Lava Andesit B'anyo Doi
							Uno	Ula2			3	Lava Andesit-basaltik 2 Uno
								Ula1			4	Lava Andesit-basaltik 1 Uno
											6	Lava Andesit-basaltik 3 Todoko-Ranu
							Todoko-Ranu	Tla1	Tla2	Tla3	7	Lava Andesit-basaltik 2 Todoko-Ranu
											3	Lava Andesit-basaltik 1 Todoko-Ranu

Gambar 3. Stratigrafi vulkanik kompleks Todoko-Ranu, menunjukkan variasi batuan yang dihasilkan oleh 3 pusat erupsi: Todoko-Ranu, B'anyo Doi, dan Uno.

Fasies Gunungapi

Analisis dan identifikasi fasies gunungapi [16], [17] berdasarkan pada pemetaan geologi, geomorfologi dan stratigrafi [18], [19] pada daerah penelitian dibagi menjadi tiga (3) fasies gunungapi yaitu fasies sentral, fasies proksimal dan fasies medial.

1. Fasies Sentral

Fasies sentral pada daerah penelitian terbagi menjadi dua bagian yaitu pada gumuk Todoko-Ranu dan Gumuk Uno. Morfologi gumuk Todoko-Ranu sudah tidak lagi memperlihatkan bentukan kerucut gunungapi melainkan membentuk kaldera sehingga penulis menginterpretasikan menjadi fasies sentral. Gumuk Uno masih jelas menunjukkan bentukan kerucut gunungapi, fasies sentral pada gumuk Todoko-Ranu tersusun oleh litologi lava andesit-basaltik, lava andesit dan breksi laharik, sedangkan pada gumuk Uno litologi yang tersusun berupa lava andesit basaltik.

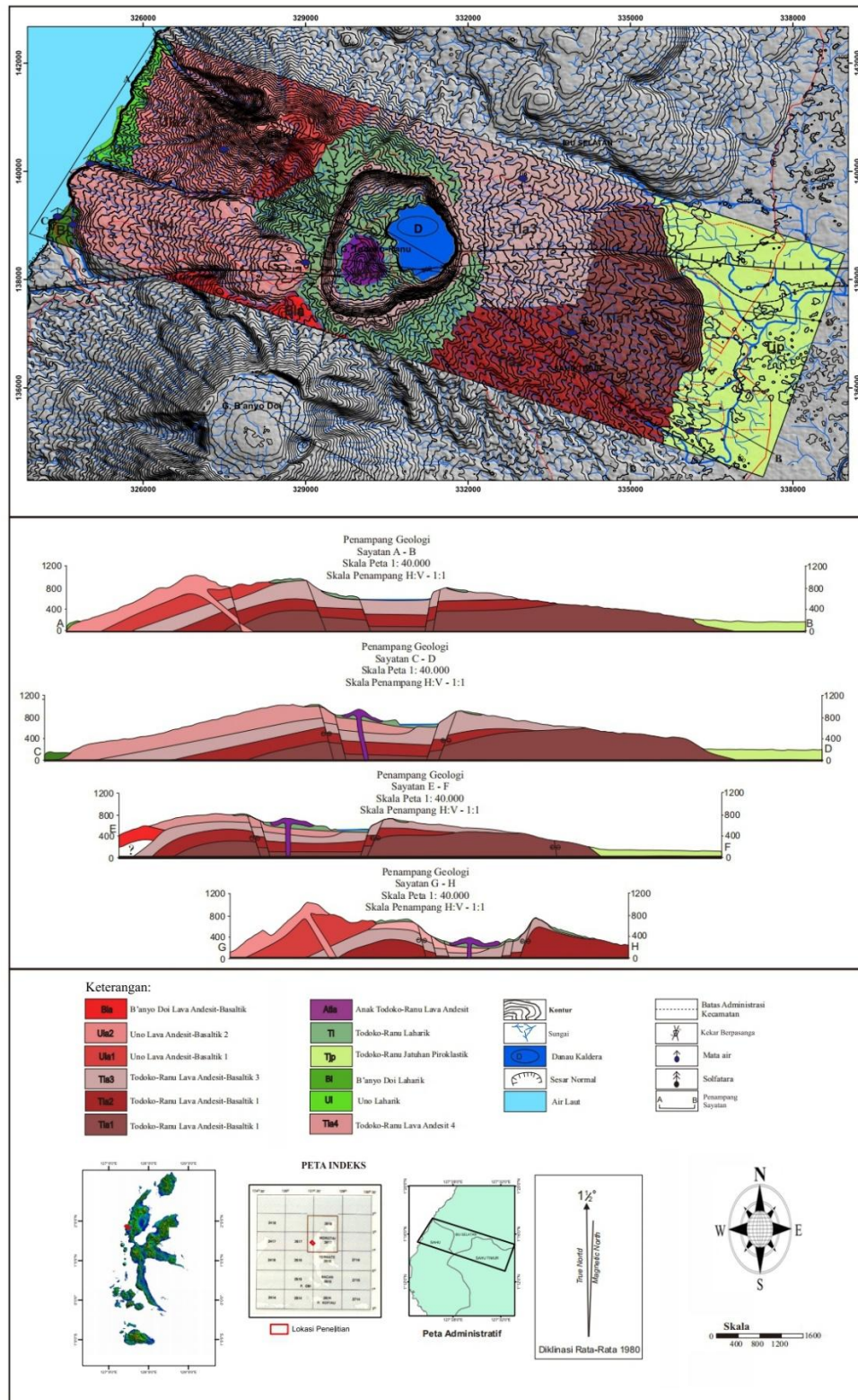
2. Fasies Proksimal

Fasies proksimal pada daerah penelitian meliputi lereng atas sampai lereng bawah dari kompleks gunungapi. Litologi penyusun fasies proksimal adalah lava andesit-basaltik, lava andesit, lapili, breksi piroklastika jatuhan, dan *tuff*.

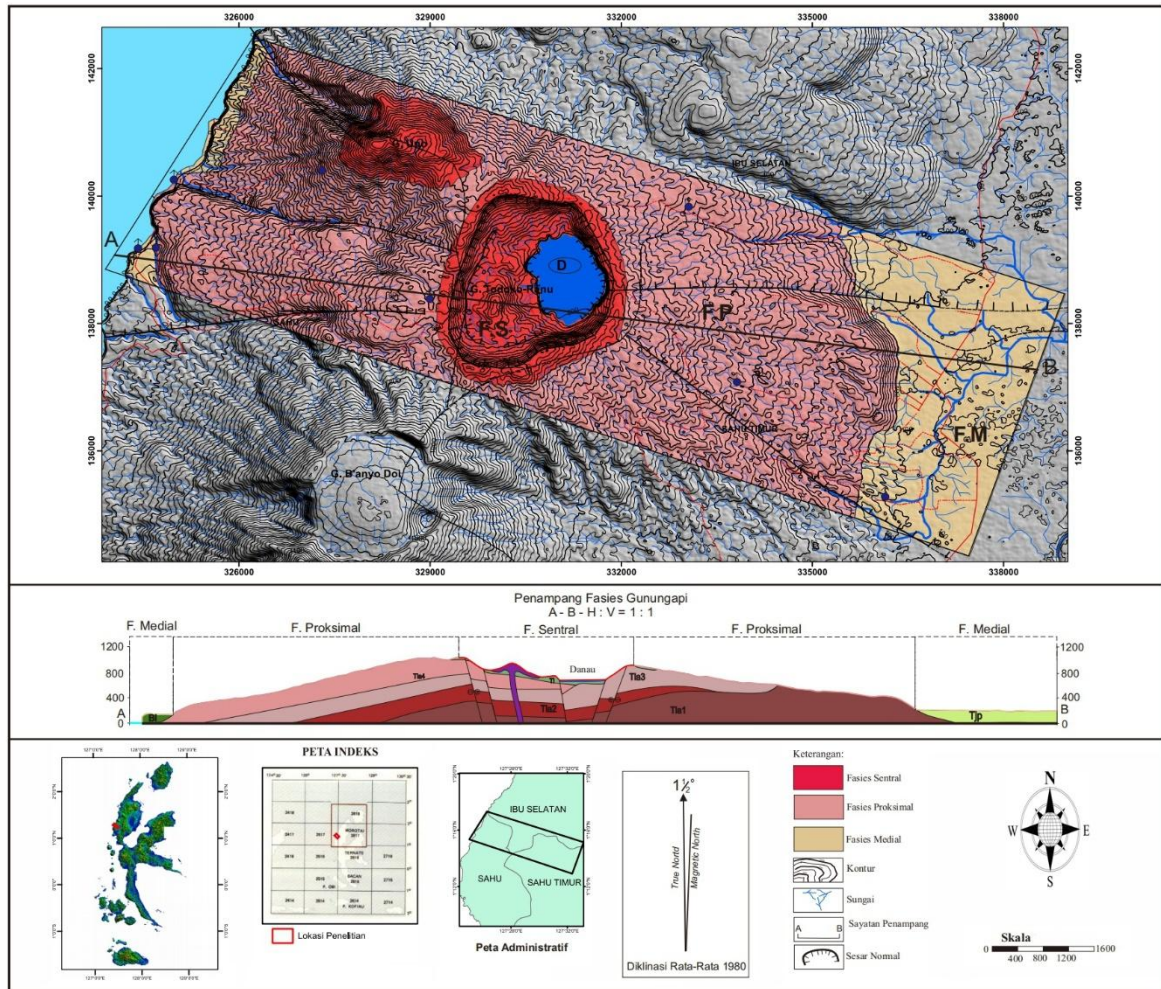
3. Fasies Medial

Fasies medial pada daerah penelitian, di bagian timur secara morfologi merupakan kaki gunungapi. Litologi tersusun oleh breksi piroklastika jatuhan, breksi laharik, lapili, *tuff* dan secara setempat terdapat batupasir dengan ukuran butir sedang hingga kasar. **Gambar 4** dan **Gambar 5** menunjukkan diagram blok geologi

daerah penelitian dan sekitarnya, serta sebaran fasies yang memperlihatkan posisi FS (Fasies Sentral), FP (Fasies Proksimal) dan FM (Fasies Medial).



Gambar 4. Peta Geologi, memperlihatkan sebaran satuan batuan dan struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian [20].



Gambar 5. Peta sebaran fasies gunungapi: sentral, proksimal, dan medial kompleks Gunung Todoko- Ranu

Geokimia

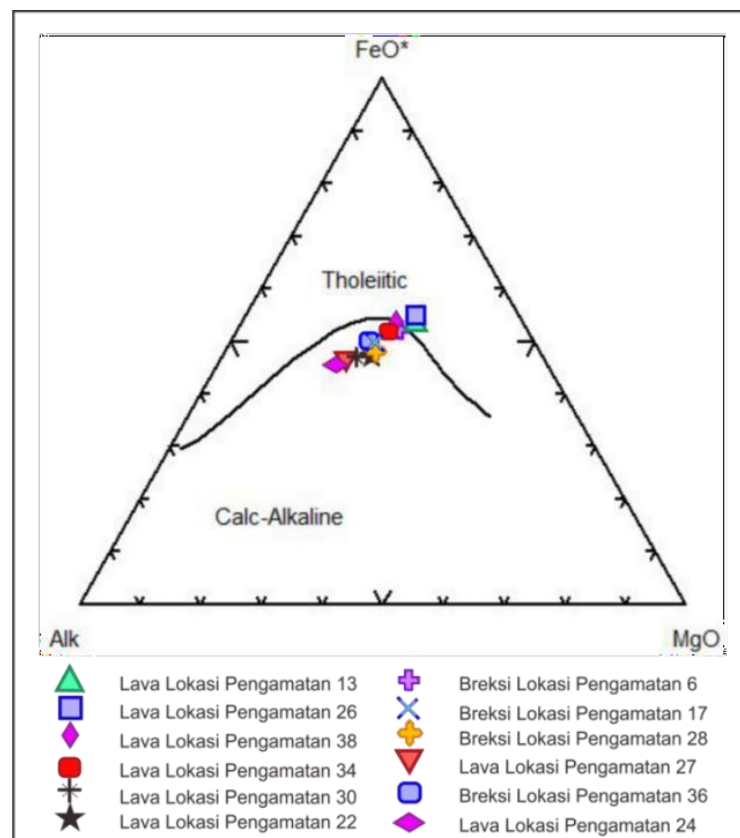
Untuk melakukan analisis geokimia [21], [22], telah diambil dua belas (11) sampel batuan dari daerah penelitian, pada lava dan fragmen breksi untuk diuji petrokimianya, guna mengetahui kandungan senyawa kimia batuan (**Tabel 1**). Selanjutnya data hasil analisis petrokimia tersebut di plot ke dalam diagram AFM (Alkali, Feroksida, dan Magnesia) [10]. Dari hasil plot, diketahui afanitas magma daerah penelitian termasuk *Calc-Alkaline* dan *Tholeiitic*, sepuluh (9) sampel batuan masuk ke seri *Calc-Alkaline*, sedangkan dua (2) sampel batuan lainnya termasuk ke dalam seri *Tholeiitic* (**Gambar 6**). Berdasarkan diagram afinitas [10] seluruh sampel dari daerah penelitian termasuk dalam *calc-alkaline* (**Gambar 7**)

Berdasarkan analisis terhadap hasil plot diagram Tass [11] didapatkan 2 jenis batuan, yaitu andesit-basaltik dan andesit. Perbedaan tersebut dapat terlihat dari komposisi senyawa SiO_2 , dengan rincian delapan (8) sampel batuan menunjukkan andesit-basaltik, dan empat (4) sampel dikategorikan sebagai andesit.

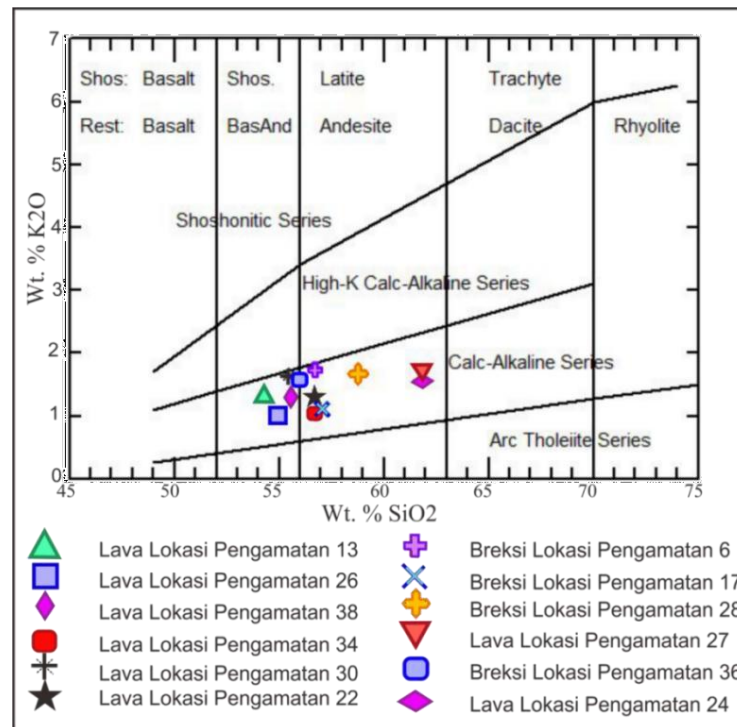
Setelah diketahui komposisi kimia batuan dengan proses deferensiasi yang seimbang dan mengikuti pola sebagaimana telah diinformasikan di atas, maka dapat diuraikan, bahwa nilai kadar CaO mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya konsentrasi SiO_2 , diikuti dengan meningkatnya kehadiran Na_2O [11]. Kedua senyawa ini diketahui terdapat di dalam mineral plagioklas. Penurunan konsentrasi senyawa Fe_2O_3 , MnO dan MgO terjadi pula seiring dengan kenaikan SiO_2 . Mineral-mineral pembawa ketiga senyawa tersebut di atas adalah olivin dan piroksen [11]. Kandungan K_2O mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar SiO_2 yang mencerminkan bahwa sifat batuan menjadi semakin asam [12], dikarenakan adanya proses deferensiasi magma.

Tabel 1. Hasil pengujian geokimia batuan

Litologi	No. Sampel (Lp)	Kandungan Senyawa Kimia (%)									
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO
Lava Andesit-basaltik (Tla1)	13	54,28	1,33	18,36	8,01	0,34	3,79	1,01	1,33	1,11	10,18
Lava Andesit-basaltik (Tla2)	29	54,95	1,28	18,27	7,89	0,23	3,61	1,19	1,03	1,08	11,52
Lava Andesit-basaltik (Tla3)	38	55,59	1,21	18,22	7,77	0,35	3,40	1,48	1,32	1,01	14,19
Lava Andesit-basaltik (Ula1)	34	56,76	1,18	18,15	7,59	0,30	3,33	2,04	1,02	0,93	10,94
Lava Andesit-basaltik (Ula2)	29	55,45	1,14	18,06	7,47	0,25	3,20	2,78	1,65	0,87	4,83
Lava Andesit-basaltik (Bla)	22	56,69	1,05	17,97	7,77	0,30	3,67	2,85	1,32	1,02	8,85
Lava Andesit (Tla4)	27	61,75	0,97	17,88	7,35	0,26	2,90	2,89	1,76	0,78	8,36
Fragmen Breksi Laharik (Tl)	36	56,70	1,19	18,21	7,81	0,24	3,60	1,07	1,75	1,07	9,92
Fragmen Breksi Laharik (Ul)	28	57,02	1,12	18,07	7,50	0,26	3,19	2,56	1,12	0,89	11,77
Fragmen Breksi Laharik (Bl)	17	58,79	0,99	17,96	7,60	0,23	3,50	2,15	1,69	1,04	5,35
Fragmen Breksi Piroklastik (Tjp)	6	55,90	1,19	18,25	7,78	0,20	3,20	2,32	1,59	0,94	10,72
Lava Andesit (Atla)	24	61,87	0,87	17,76	7,27	0,25	2,78	3,45	1,56	0,72	6,15



Gambar 6. Hasil plot geokimia pada diagram AFM (Alkali, Feroksida, dan Magnesia), menunjukkan tipe *calc-alkaline* (10 sampel), dan *tholeiitic* (2 sampel).

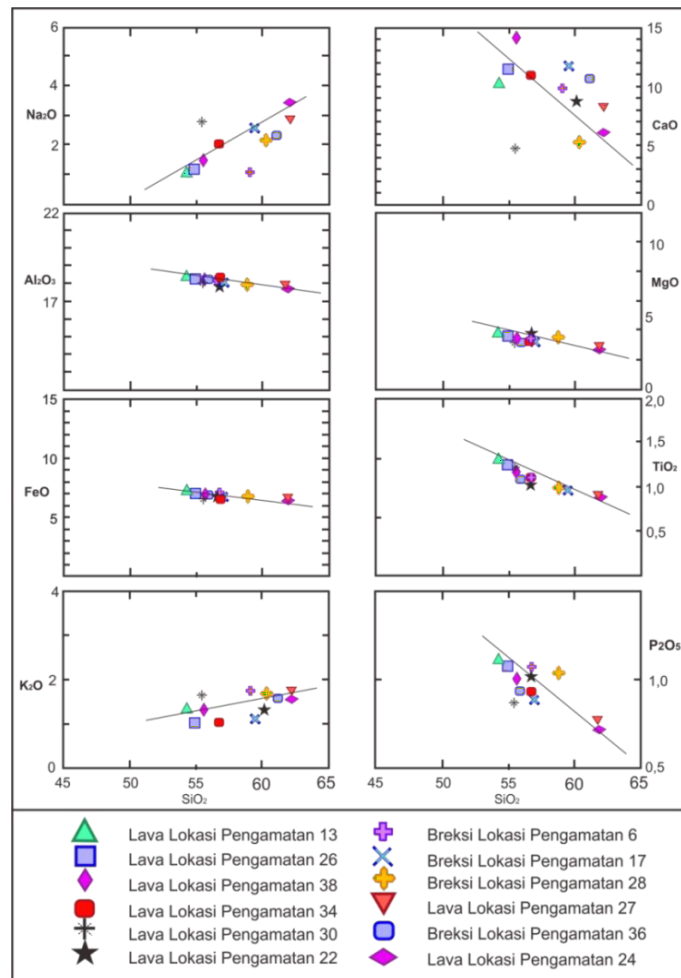


Gambar 7. Hasil plot sampel batuan pada diagram afinitas magma [11] menunjukkan seri *calc-alkaline*

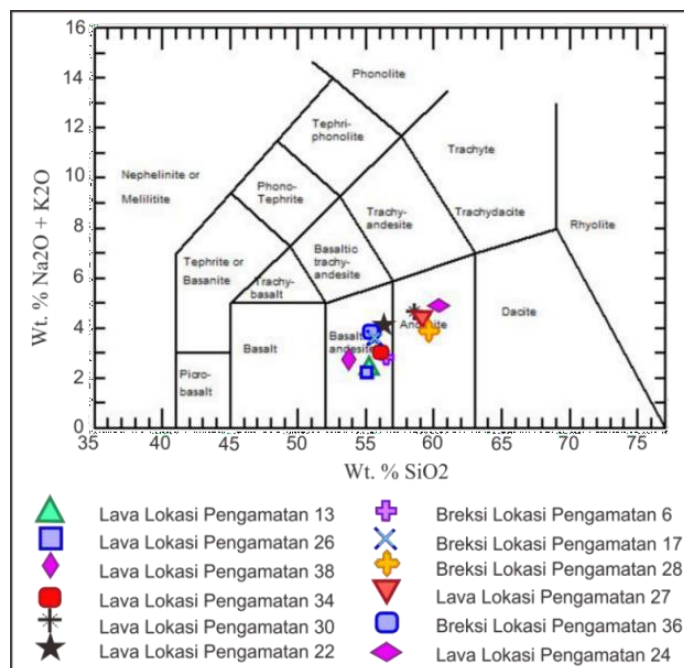
Evolusi Magmatik

Dari hasil analisis geokimia batuan berdasarkan plot pada diagram afinitas, dapat disimpulkan bahwa magma asal batuan penyusun kompleks Todoko-Ranu bersifat Calk-Alkali. Batuan yang dihasilkan dari magma tersebut yaitu andesit-basaltik dan andesit. Afinitas magma Calk-alkali pada umumnya terjadi pada lingkungan tektonik konvergen [23]. Hal ini dibuktikan dari plot pada diagram AFM dan sayatan tipis, ditandai dengan kehadiran fenokris yang beragam antara lain piroksen, plagioklas, dan hornblende, serta sedikit hadirnya kuarsa (Malloee dan McBirney, 1997).

Berdasarkan hasil plot diagram Harker (**Gambar 8**), diketahui bahwa senyawa CaO mengalami penurunan konsentrasi seiring dengan bertambahnya SiO₂ yang kemudian diikuti oleh peningkatan Na₂O. Kedua senyawa tersebut diketahui berasal dari mineral plagioklas yang mengalami penggantian ion yaitu dari Ca ke Na seiring dengan kenaikan senyawa SiO₂. Peristiwa ini terjadi sejalan dengan penurunan temperatur [23]. Meskipun demikian, dari koefisien korelasi yang bernilai rendah diduga terdapat proses lain yang menyertai diferensiasi, yaitu asimilasi magma [24], [25]. Penurunan konsentrasi senyawa-senyawa Fe₂O₃, TiO₂ dan MgO terjadi seiring dengan kenaikan SiO₂. Ketiga senyawa tersebut merupakan komponen utama yang dibawa oleh mineral-mineral mafik, yaitu olivine dan piroksen. Jika fraksionasi berjalan secara normal, maka komposisi tiga senyawa di atas akan menurun, sedangkan SiO₂ akan meningkat. Konsentrasi senyawa-senyawa Al₂O₃ dan P₂O₅ mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya SiO₂ yang disebabkan oleh naiknya volume volatile, ketika berlangsung penurunan temperatur [26]. Keadaan ini menunjukkan bahwa sebagian senyawa utama terdiferensiasi secara sistematis dan mengompensasi magma yang tidak jenuh silika [27]. Nilai senyawa K₂O mengalami kenaikan seiring bertambahnya nilai SiO₂ (**Gambar 9**) menandai sifat batuan menjadi semakin asam, dari basaltik menjadi andesitik [24], [25]. Evolusi magma dari berifat lebih basa menjadi lebih asam secara umum terjadi pada magma yang mengalami proses diferensiasi [24], [25].



Gambar 8. Plot geokimia pada diagram Harker menunjukkan terjadinya peningkatan dan penurunan senyawa-senyawa kimia tertentu, mencerminkan berlangsungnya diferensiasi magma.



Gambar 9. Plot geokimia pada diagram K₂O vs SiO₂ memperlihatkan adanya proses diferensiasi magma dari basaltik menjadi andesitik

4. KESIMPULAN dan SARAN

Berdasarkan pembahasan dari hasil analisis geokimia batuan vulkanik kompleks Todoko-Ranu, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Litologi daerah penelitian terbagi menjadi dua belas satuan batuan, terdiri dari 8 delapan satuan batuan dihasilkan oleh fase erupsi efusif, dan 4 satuan batuan dari fase eksplosif. Fase erupsi efusif yaitu satuan lava andesit-basaltik 1 Todoko-Ranu, satuan lava andesit-basaltik 2 Todoko-Ranu, satuan lava andesit-basaltik 3 Todoko-Ranu, satuan lava andesit 4 Todoko-Ranu, satuan lava andesit Anak Todoko-Ranu, satuan lava andesit-basaltik 1 Uno, satuan lava andesit-basaltik 2 Uno, dan satuan lava andesit-basaltik B'anyo Doi. Fase erupsi eksplosif yaitu satuan breksi laharik Uno, satuan breksi laharik B'anyo Doi, satuan piroklastik jatuhan Todoko-Ranu, serta satuan breksi laharik Todoko-Ranu.
2. Fasies gunungapi pada daerah penelitian terbagi menjadi tiga, yaitu fasies sentral, fasies proksimal, dan fasies medial.
3. Berdasarkan hasil analisis geokimia pada diagram AFM, batuan gunungapi kompleks Todoko-Ranu termasuk ke dalam seri *Calc-Alkaline* dan *Tholeiitic*, sumber magma merupakan hasil peleburan (*partial melting*) dari batuan kerak samudra. Berdasarkan diagram afanitas, batuan gunungapi daerah penelitian termasuk dalam seri *Calc-Alkanine*.
4. Hasil analisis dari diagram Harker dan diagram K₂O vs SiO₂ dapat disimpulkan, bahwa seiring dengan penurunan temperatur, magma sebagai sumber batuan kompleks Todoko-Ranu mengalami perubahan kandungan senyawa-senyawa kimiawi tertentu (peningkatan Na₂O dan K₂O, serta penurunan Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, TiO₂, P₂O₅), mencerminkan terjadinya proses diferensiasi magma dari basaltik menjadi andesitik. Meskipun demikian, dari koefisien korelasi yang bernilai rendah, diduga terdapat proses lain yang menyertai diferensiasi, yaitu asimilasi magma.
5. Sebagai saran, penelitian ini dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk memastikan adanya proses yang menyertai diferensiasi magma, yaitu asimilasi magma, secara lebih detail.

UCAPAN TERIMA KASIH OPSIONAL

Terima kasih disampaikan kepada Pimpinan dan Pengurus Jurusan Teknik Geologi serta Program Studi Magister Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi yang telah memberikan dukungan dan fasilitas, sehingga penelitian dan penulisan artikel ini dapat berjalan dengan baik serta lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. , & S. D. Apandi, "Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara, Skala 1:250.000," Bandung, 1980.
- [2] S. Supriatna, "eta Geologi Lembar Morotai, Maluku Utara = Geologic Map of the Morotai Quadrangle, North Maluku," Bandung, 1980.
- [3] A. J. , & W. S. Barber, "The Geology and Tectonics of Eastern Indonesia: Proceedings of the CCOP-IOC SEATAR Working Group Meeting, Bandung, Indonesia," Bandung, Jul. 1979.
- [4] R. Hall, "Plate boundary evolution in the Halmahera region, Indonesia," *Tectonophysics*, vol. 144, no. 4, pp. 337–352, Dec. 1987, doi: 10.1016/0040-1951(87)90301-5.
- [5] R. HALL, M. G. AUDLEY-CHARLES, F. T. BANNER, S. HIDAYAT, and S. L. TOBING, "Basement rocks of the Halmahera region, eastern Indonesia: a Late Cretaceous–early Tertiary arc and fore-arc," *J Geol Soc London*, vol. 145, no. 1, pp. 65–84, Jan. 1988, doi: 10.1144/gsjgs.145.1.0065.
- [6] S. Bronto, "Fasies gunung api dan aplikasinya," *Indonesian Journal on Geoscience*, vol. 1, no. 2, pp. 59–71, Jun. 2006, doi: 10.17014/ijog.1.2.59-71.
- [7] J. , D. M. , & A. R. McPhie, "Volcanic Textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks," Tasmania, 1993.
- [8] I. , & M. K. M. Bogie, "The application of a volcanic facies model to an andesitic stratovolcano hosted geothermal system at Wayang Windu, Java, Indonesia," in *Proceedings of the 20th New Zealand Geothermal Workshop*, New Zealand, 1998, pp. 256–270.
- [9] M. , S. H. , & T. J. J. Alzwar, *Pengantar Dasar Ilmu Gunungapi*. Bandung: Nova, Bandung, 1988.
- [10] A. Peccerillo and S. R. Taylor, "Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey," *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 58, no. 1, pp. 63–81, 1976, doi: 10.1007/BF00384745.
- [11] B. , & S. I. Setyanta, "Model struktur subdaksi kerak di perairan Laut Maluku dan vulkanisme berdasarkan analisis gaya berat dan kegempaan," *Jurnal Sumber Daya Geologi*, vol. 21, no. 4, pp. 213–223, 2011.

- [12] J. C. Eichelberger, "Silicic Volcanism: Ascent of Viscous Magmas from Crustal Reservoirs," *Annu Rev Earth Planet Sci*, vol. 23, no. 1, pp. 41–63, May 1995, doi: 10.1146/annurev.ea.23.050195.000353.
- [13] A. L. Streckeisen, "Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks: Recommendations and suggestions of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks," *Geology*, vol. 7, no. 7, pp. 331–335, 1979.
- [14] M. J. L. BAS, R. W. L. MAITRE, A. STRECKEISEN, and B. ZANETTIN, "A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram," *Journal of Petrology*, vol. 27, no. 3, pp. 745–750, Jun. 1986, doi: 10.1093/petrology/27.3.745.
- [15] F. J. Pettijohn, *Sedimentary Rocks (2nd ed.)*, 2nd ed. New York: Harper and Brothers, New York., 1957.
- [16] R. V. FISHER and G. A. SMITH, "VOLCANISM, TECTONICS AND SEDIMENTATION," in *Sedimentation in Volcanic Settings*, SEPM (Society for Sedimentary Geology), 1991, pp. 1–5. doi: 10.2110/pec.91.45.0001.
- [17] R. A. F. , & W. J. V Cas, *Volcanic Successions: Modern and Ancient*. London.: Allen and Unwin, , 1987.
- [18] Surono, "Litostratigrafi Pegunungan Selatan bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah," *Jurnal Sumber Daya Geologi*, vol. 19, no. 3, pp. 209–221, 2009.
- [19] S. Mulyaningsih, S. Bronto, A. Kusnaedi, I. Simon, and I. W. Prasetyanto, "Vulkanisme kompleks Gunung Patiayam di Kecamatan Jekulo, Kabupaten Kudus, Provinsi Jawa Tengah," *Indonesian Journal on Geoscience*, vol. 3, no. 2, pp. 75–88, Jun. 2008, doi: 10.17014/ijog.3.2.75-88.
- [20] L. Laratmase, S. B. Kusumayudha, and A. Harjanto, "Geochemical Correlation of Volcanic Rocks and Groundwater Quality in the Todoko-Ranu Complex, Sahu District, West Halmahera, North Maluku, Indonesia," *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 341–348, Sep. 2024, doi: 10.25299/jgeet.2024.9.3.15295.
- [21] A. G. Macdonald, *Volcanoes*. New Jersey.: Prentice-Hall, 1972.
- [22] M. H. Dirk, "Petrologi - geokimia batuan Gunung Api Tampomas dan sekitarnya," *Indonesian Journal on Geoscience*, vol. 3, no. 1, pp. 23–35, Mar. 2008, doi: 10.17014/ijog.3.1.23-35.
- [23] S. G. , & W. N. H. Fadlin, "Magmatisme Tholeitik pada Active Continental Margin (ACM) di Serayu bagian utara dan selatan, Banyumas, Jawa Tengah," *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Mineral*, vol. 19, no. 1, pp. 15–30, 2018.
- [24] J. B. Gill, *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag., 1981.
- [25] W. B. Hamilton, "Tectonics of the Indonesian Region (USGS Professional Paper No. 1078)," 1979.
- [26] I. Ipranta and R. Irzon, "Plagioclase Fractionation On The Holocene Volcanic Rocks Evolution In West Halmahera Regency," *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, vol. 20, no. 3, p. 165, Aug. 2019, doi: 10.33332/jgsm.geologi.v20i3.468.
- [27] A. R. , A. M. , & Sutarto. Mendy, "Analisa unsur utama dan unsur jejak dalam identifikasi petrogenesis pada batuan beku Gunung Galunggung, Jawa Barat," in *Seminar Nasional Kebumihan*, Yogyakarta, 2018.