



Mineralogi dan Geokimia Tuf Berumur Tersier dan Kuarter di Daerah Cibadak, Sukabumi, Jawa Barat

Mineralogy and Geochemistry of the Tertiary and Quarternary Tuffs in Cibadak Area, Sukabumi, West Java

Sam Permanadewi, Sigit Maryanto dan Joko Subandrio

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi

Jl. Diponegoro No. 57 Bandung, 40122

E-mail: sam_permanadewi@yahoo.com

Naskah diterima : 04 Mei 2017, Revisi terakhir : 13 November 2017, Disetujui : 13 November 2017, Online : 16 November 2017

Abstrak- Batuan piroklastika halus di daerah Cibadak, Sukabumi terbagi menjadi dua grup, yaitu tuf berumur Tersier penyusun Formasi Jampang dan tuf berumur Kuarter hasil letusan beberapa gunung api muda. Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan mineralogi dan kimia batuan piroklastika di daerah penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan hubungan antara komposisi mineralogi dengan kadar oksida utama yang terkandung di dalam batuan tersebut. Pengujian di laboratorium dilakukan terhadap lima puluh sampel batuan yang diambil dari lapangan. Jenis mineral pada batuan dapat diidentifikasi dengan pengujian mineralogi XRD (*X-Ray Diffraction*), sedangkan kandungan oksida utama batuan dapat dihitung dengan metode pengujian geokimia XRF (*X-Ray Fluorescence*). Hasil uji mineralogi metode XRD menunjukkan ada dua mineral sekunder yang menjadi pembeda antara kedua tuf tersebut, yaitu zeolit dan mineral lempung. Mineral zeolit kebanyakan hadir pada tuf berumur Tersier sebagai hasil ubahan batuan yang melibatkan peningkatan suhu dan tekanan formasi. Mineral lempung kebanyakan hadir pada tuf berumur Kuarter sebagai hasil lapukan batuan di permukaan. Mineral zeolit dan mineral lempung tersebut berhubungan nyata dengan hampir semua komponen oksida kimia batuan, meliputi SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , TiO , dan MnO . Hasil uji kimia batuan metode XRF tidak ada perbedaan komponen oksida utama pada kedua grup batuan piroklastika tersebut.

Katakunci: mineralogi, geokimia, tuf, Tersier, Kuarter.

Abstract- *Fine-grained pyroclastic rocks found in the Cibadak area, Sukabumi divided into two groups, namely Tertiary tuff composing of Jampang Formation and Quarternary tuff as the result of young volcanic eruptions. The relationship between mineralogy and geochemistry of those tuffs are discussed in this paper. Laboratory testing was conducted on fifty rock samples taken from the field. A kind of mineralogy composing the rock can be identified by the XRD (X-Ray Diffraction) mineralogy test, while the major oxide of the rock can be calculated with the XRF (X-Ray Fluorescence) geochemistry test. The XRD mineralogy test shows two secondary mineral that becomes the differentiation between the two tuffs are zeolites and clay minerals. The zeolites present at most of the Tertiary tuffs as a result of the rock alteration which involves an increasing in formation temperature and pressure. Clay minerals are mostly present at the Quarternary tuffs as a result of rock weathering on the surface. The zeolite and clay minerals are associated with almost all chemical oxides of the rocks. The chemical oxides including SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , TiO , and MnO . The XRF rock-chemically characters show there are no differences of the chemical oxide components on both of these pyroclastic rock groups.*

Keywords: *mineralogy, geochemistry, tuff, Tertiary, Quarternary.*

PENDAHULUAN

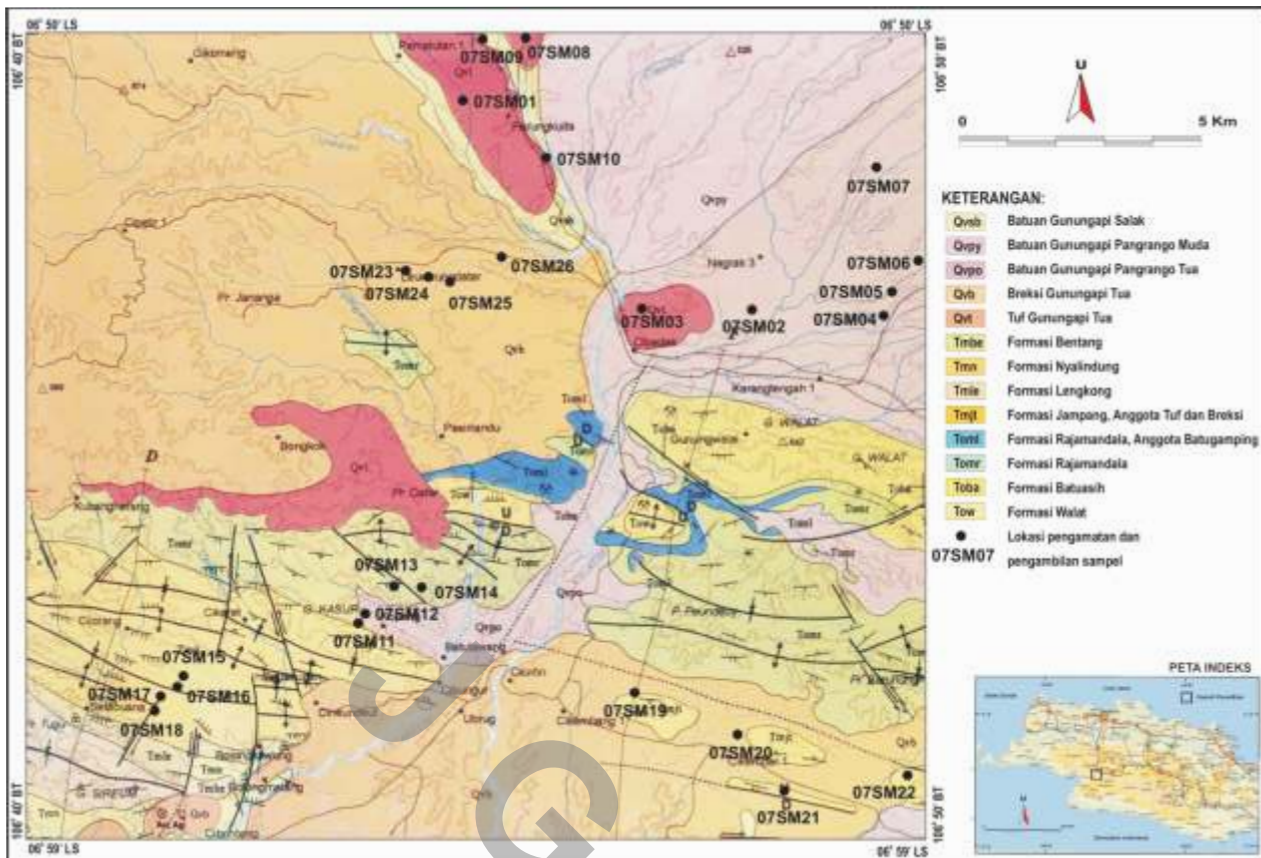
Batuan piroklastika dijumpai cukup banyak di daerah Cibadak, Sukabumi. Batuan ini dikenal di masyarakat pertambangan sebagai zeolit, yang dapat dipergunakan untuk keperluan berbagai industri (Fatimah drr., 2012; Subari & Widodo, 2015), karena memiliki sifat fisika dan kimia sebagai penyerap, penukar ion (Al-Jabri, 2008), penyaring molekul, dan sebagai katalisator (Trisunaryanti drr., 2013). Mineral-mineral yang termasuk dalam grup zeolit pada umumnya dijumpai dalam batuan tuf yang terbentuk sebagai hasil sedimentasi debu gunung api yang telah mengalami proses alterasi, diagenesis, dan hidrotermal (Kusdarto, 2008). Mineral zeolit kebanyakan dijumpai pada batuan piroklastika penyusun Formasi Jampang yang berumur Miosen, sebaliknya pada batuan piroklastika berumur Kuartar mineral zeolit ini jarang dijumpai. Permasalahan yang ada, hingga sekarang ini belum ada penelitian yang mengungkapkan mengapa zeolit hanya dijumpai di batuan piroklastika yang terendapkan pada kisaran umur Tersier (selanjutnya disebut sebagai tuf

berumur Tersier) dan sebaliknya tidak dijumpai pada batuan piroklastika yang terendapkan pada umur Kuartar (selanjutnya disebut sebagai tuf berumur Kuartar).

Maksud penelitian adalah untuk mengetahui kandungan mineralogi dan kimia batuan piroklastika berdasarkan pengujian di laboratorium. Lebih lanjut, penelitian ini bertujuan menentukan sejauh mana hubungan antara komposisi mineralogi dengan kadar oksida utama yang terkandung di dalam batuan piroklastika halus (tuf) yang dijumpai di daerah Sukabumi. Lokasi penelitian dan pengambilan sampel batuan berada di Kecamatan Cibadak dan sekitarnya, Kabupaten Sukabumi, Propinsi Jawa Barat (Gambar 1). Satuan batuan yang diambil sampelnya untuk diuji laboratorium adalah satuan batuan yang mengandung tuf, yaitu Formasi Jampang Anggota Tuf (Tmjt), Satuan Batuan Gunung Api Tua (Qvt), dan Satuan Batuan Gunung Api Kuartar yang lain. Sebagai catatan bahwa Batuan berumur Tersier tersingkap di wilayah selatan, sedangkan batuan berumur Kuartar banyak dijumpai di bagian utara daerah penelitian (Gambar 2).



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian yang berada di Cibadak, Sukabumi, Jawa Barat.



Sumber : Effendi drr (1998)

Gambar 2. Peta geologi daerah sekitar Cibadak dan lokasi pengambilan sampel batuan piroklastika

METODOLOGI

Metode kerja yang digunakan pada penelitian ini meliputi kegiatan lapangan dan uji laboratorium. Kegiatan lapangan dilakukan dengan pemerian dan pengambilan sampel batuan. Pekerjaan laboratorium meliputi uji mineralogi metode XRD dan uji geokimia metode XRF. Verifikasi data dilakukan dengan *software* khusus, yaitu *Statistica 6* untuk menentukan hubungan antar variabel kedua hasil uji laboratorium tersebut.

Sampel tuf diambil dari Formasi Jampang dan batuan gunung api Kuarter di berbagai lokasi secara acak untuk diuji mineralogi dan geokimia di laboratorium. Sampel batuan diambil pada ukuran butiran terhalus pada masing-masing lokasi singkapan. Hal ini dimaksudkan agar hasil uji mineralogi dan geokimia di laboratorium dapat mencerminkan seluruh komponen mineralogi dan geokimia magma sumber letusan gunung api. Pengujian di laboratorium dilakukan dengan metode mineralogi XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui jenis mineralogi batuan, dan metode geokimia XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui kandungan unsur geokimia batuan.

GEOLOGI REGIONAL

Hall *et al.* (2007) menyebutkan bahwa batuan piroklastika bawah laut hasil letusan di busur gunung api terjadi sejak Miosen Awal yang mengendapkan Formasi Jampang. Batuan piroklastika tersebut mengandung zeolit dan bentonit yang merupakan anggota Formasi Jampang (Simanjuntak dr., 2007). Sebaran Formasi Jampang dan formasi batuan yang lain telah dipetakan pada peta geologi Lembar Bogor, Jawa (Effendi dr., 1998; Gambar 2). Menurut Musper (1939) dan Samuel (1973), satuan batuan tertua di daerah ini adalah Formasi Walat (Tow), diikuti oleh Formasi Batuasih (Toba), Formasi Rajamandala (Tomr) dengan Anggota Batugamping (Toml), Formasi Jampang Anggota Tuf dan Breksi (Tmjt), Formasi Lengkong (Tmle), Formasi Nyalindung (Tmn), dan Formasi Bentang (Tmbe). Satuan Batuan Gunung Api Kuarter terdiri atas Batuan Gunung Api Tua tuf (Qvt) dan breksi (Qvb), Batuan Gunung Api Pangrango Tua (Qvpo), Batuan Gunung Api Pangrango Muda (Qvpy), dan Batuan Gunung Api Salak (Qvbs).

Tuf berumur Tersier

Anggota Tuf Formasi Jampang (Tmjt) merupakan satuan batuan yang dipilih untuk diteliti, tersebar di daerah penelitian berarah barat-timur sesuai dengan pola struktur lipatan. Tuf berumur Tersier ini pada umumnya berupa lapisan-lapisan tipis hingga sedang, berselingan dengan batuan sedimen klastika halus yang beberapa gampingan (Andyastiya dr., 2015). Tuf tersebut diperkirakan merupakan endapan laut turbidit dengan aktivitas gunung api eksplosif (Hall *et al.*, 2007), yang bersifat asam (Martodjojo, 2003). Karakter singkapan batuan seperti tersebut di atas dijumpai di Desa Girijaya serta di sebelah utara Desa Sompyong – Cibayawak (Gambar 3 dan 4). Berdasarkan karakter batuan, tuf yang dijumpai di lapangan cukup beragam, meliputi tuf lapili, tuf pasir, tuf, dan tuf lempungan. Batuan-batuan tersebut pada umumnya berwarna putih abu-abu sangat terang hingga coklat terang kekuningan, lebih terang apabila kering, kurang padat, kurang keras, dan pejal.

Tuf berumur Kuartar

Tuf berumur Kuartar di daerah sekitar Cibadak, Sukabumi terutama termasuk ke dalam Tuf dan Breksi Batuan Gunung Api Tua (Qvt dan Qvb), serta Batuan Gunung Api Pangrango Tua (Qvpo), dengan pola sebaran berbentuk radial mengikuti pusat erupsi gunung api. Tuf berumur Kuartar yang dijumpai pada umumnya berupa lapisan tersendiri atau merupakan sisipan di dalam breksi gunung api. Berdasarkan karakter batuan, tuf yang dijumpai di lapangan cukup beragam, meliputi tuf litik, tuf lempungan (Gambar 5), tuf (Gambar 6), batupasir tufan dan batulempung tufan.



Sumber : Dok.penulis

Gambar 3. Singkapan perlapisan tuf pejal dan kadang berlapis tebal berukuran pasir sangat kasar hingga sedang di sebelah utara Desa Sompyong - Cibayawak, Kecamatan Bantargadung. Kode sampel 07SM15.



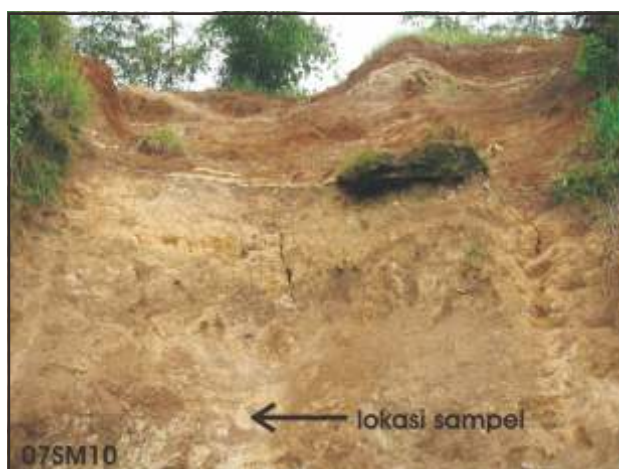
Sumber : Dok.penulis

Gambar 4. Singkapan perselingan antara batupasir tufan dan batulempung tufan, dan tuf di sebelah utara Desa Sompyong - Cibayawak, Kecamatan Bantargadung. Kode sampel 07SM18.



Sumber : Dok.penulis

Gambar 5. Singkapan tuf lempungan (yang diambil sampelnya) berselingan dengan batupasir tufan dan konglomerat gunung api di Desa Ciheulang Tonggoh, Kecamatan Cibadak. Kode sampel 07SM05.



Sumber : Dok.penulis

Gambar 6. Singkapan tuf yang berukuran pasir sangat kasar hingga halus di sebelah timur jalan raya antar kabupaten di selatan Desa Parungkuda, Kecamatan Parungkuda. Kode sampel 07SM10.

Batuan-batuan tersebut pada umumnya berwarna putih abu-abu sangat terang hingga coklat terang kekuningan, lebih terang apabila kering, kurang padat, kurang keras, pejal, sebagian lapuk sangat berat.

HASIL DAN ANALISIS

Sejumlah 50 (lima puluh) sampel batuan telah diuji mineralogi XRD dan geokimia XRF, meliputi 31 (tiga puluh satu) sampel batuan piroklastika halus berumur Tersier dan 19 (sembilan belas) sampel batuan piroklastika halus berumur Kuarter (Tabel 1). Beberapa sampel yang telah diambil tidak dilakukan pengujian laboratorium karena keadaan sampel telah lapuk kuat dan sebagian sampel tampak kotor tercampur tanah.

Analisis Laboratorium

Pengujian XRD yang dilakukan merupakan pengujian semi-kuantitatif, sehingga masing-masing mineral yang teridentifikasi dilengkapi dengan nilai persentasenya (Tabel 2). Berdasarkan hasil uji XRD tampak bahwa ada beberapa kelompok mineral yang dapat diidentifikasi, meliputi mineral lempung, serisit, zeolit, klorit, karbonat, kuarsa, feldspar, piroksen, dan mineral tambahan. Mineral lempung yang dijumpai meliputi montmorilonit, saponit, nontronit, illit, kaolinit, nakrit, dickit, dan halloysit. Jenis zeolit yang ada meliputi wairakit, analim, gismondin, chabazit, mordenit, stilbit, dan klinoptilolit. Feldspar yang dijumpai meliputi albit, Ca-albit, andesin, labradorit, sanidin, ortoklas, dan sodalit. Mineral karbonat hanya berupa kalsit dan dolomit. Mineral tambahan hadir beragam di beberapa sampel batuan yang sangat terbatas dengan jumlah kurang berarti. Pada penelitian ini hanya terhadap kelompok mineral utama yang diverifikasi dengan metode statistik untuk dilakukan uji beda dan uji korelasi. Verifikasi dengan metode statistik tidak hanya dilakukan untuk masing-masing kelompok mineral, akan tetapi juga dikaitkan dengan data geokimia batuan hasil uji geokimia XRF.

Berdasarkan hasil uji geokimia XRF (Tabel 3) terlihat bahwa oksida-oksida utama yang terkandung di dalam batuan piroklastika di daerah penelitian, secara berurutan dari yang terbesar adalah: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , dan habis dibakar (LoI). Jenis dan jumlah kandungan unsur oksida utama batuan ini dipakai sebagai dasar pengujian statistika dalam kaitannya dengan kandungan mineralogi masing-masing batuan piroklastika halus yang dijumpai, baik tuf berumur Tersier maupun tuf berumur Kuarter.

Pemisahan Populasi

Proses pertama pada verifikasi data dengan metode statistik adalah pemisahan sub-populasi tuf yang menjadi objek penelitian. Pemisahan sub-populasi ini langsung dilakukan di lapangan, dan berdasarkan peta geologi yang telah terbit serta kenampakan lapangan yang aktual. Apabila ada beberapa perbedaan pada saat pengeplotan lokasi, maka data aktual yang dijumpai di lapangan menjadi dasar utama pemisahan populasi. Berdasarkan jenis batuan dan kenampakan yang ada, maka tuf yang dijumpai di daerah penelitian dapat dipisahkan menjadi 2 (dua) grup populasi, yaitu tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2). Hasil uji laboratorium terhadap kedua sub-populasi sampel batuan ditabulasikan untuk mempermudah pekerjaan selanjutnya.

Tabulasi Data

Setelah populasi dipisahkan menurut kriteria yang telah ditetapkan tersebut, selanjutnya dilakukan tabulasi data menurut kode sampel yang ada, dan diikuti oleh grup populasi. Variabel pengukuran selanjutnya adalah persentase mineral utama yang hadir, berturut-turut adalah mineral lempung, serisit, zeolit, klorit, karbonat, kuarsa, feldspar, piroksen, dan mineral tambahan. Jenis mineral yang lebih rinci tidak ditabulasi pada penelitian ini. Variabel kemudian diikuti oleh persentase oksida utama, yaitu SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , dan LoI. Sistem tabulasi seperti ini sangat memudahkan di dalam penghitungan atau verifikasi dengan metode statistik. *Software* yang digunakan untuk pekerjaan verifikasi data adalah *Statistica 6*.

Uji Normalitas

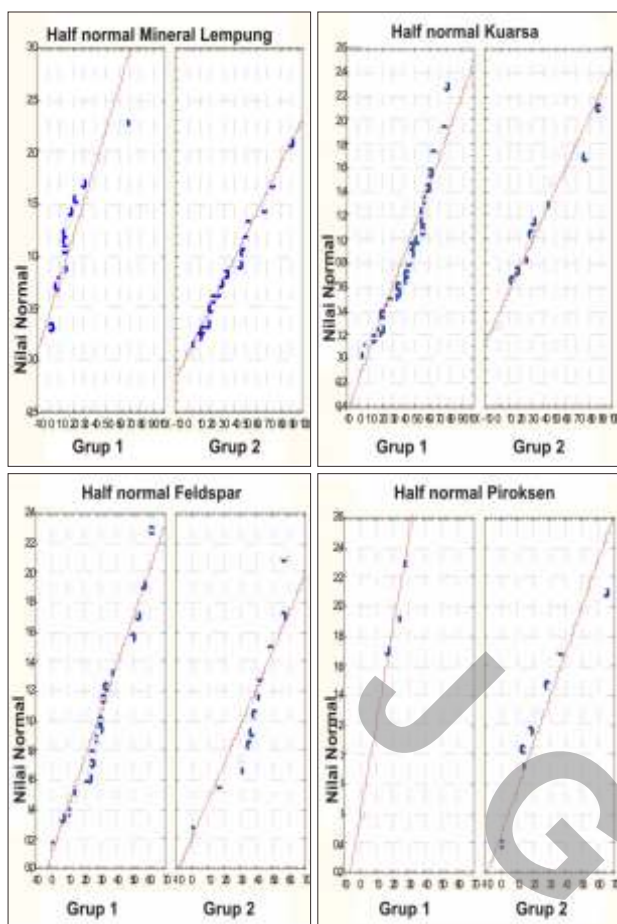
Uji normalitas untuk verifikasi dilakukan guna meyakinkan bahwa suatu data hasil penelitian terdistribusi normal di dalam suatu populasi tertentu. Uji normalitas data uji mineralogi XRD divisualkan dalam bentuk diagram (Gambar 7). Uji normalitas data uji geokimia XRF juga tampak normal (Maryanto dr., 2007). Diagram uji normalitas yang ada meliputi dua populasi sekaligus, grup 1 mewakili tuf berumur Tersier dan grup 2 mewakili tuf berumur Kuarter. Diagram ini diambil berdasarkan nilai tengah normal pada masing-masing variabel pengujian. Berdasarkan tampilan diagram pada masing-masing populasi, tampak bahwa hampir semua data uji terdistribusi normal. Beberapa data uji yang kurang terdistribusi normal tampak apabila kehadiran mineral atau oksida kimia sangat terbatas di beberapa sampel saja, khususnya pada uji mineralogi XRD.

Tabel 1. Daftar sampel tuf di daerah Cibadak dan sekitarnya

No.	Kode Sampel	Nama Batuan	Satuan	Umur	Grup
1.	07 SM 01	Tuf litik batuapung	Qvt	Plistosen Awal	2
2.	07 SM 02	Tuf litik lapili batuapung	Qvpo	Holosen Awal	2
3.	07 SM 03	Tuf sedang	Qvt	Plistosen Awal	2
4.	07 SM 04	Tuf halus	Qvpo	Holosen Awal	2
5.	07 SM 05A	Tuf lempungan	Qvpo	Holosen Awal	2
6.	07 SM 05B	Tuf lempungan	Qvpo	Holosen Awal	2
7.	07 SM 06	Tuf halus	Qvpo	Holosen Awal	2
8.	07 SM 07	Tuf litik lapili batuapung	Qvpo	Holosen Awal	2
9.	07 SM 08	Tuf kasar	Qvt	Plistosen Awal	2
10.	07 SM 09	Tuf litik lapili batuapung	Qvt	Plistosen Awal	2
11.	07 SM 10A	Tuf litik lapili batuapung	Qvt	Plistosen Awal	2
12.	07 SM 10B	Tuf litik lapili batuapung	Qvt	Plistosen Awal	2
13.	07 SM 10C	Tuf sedang	Qvt	Plistosen Awal	2
14.	07 SM 11A	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
15.	07 SM 11B	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
16.	07 SM 11C	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
17.	07 SM 11D	Tuf lempungan	Tmjt	Miosen Awal	1
18.	07 SM 11E	Tuf lempungan	Tmjt	Miosen Awal	1
19.	07 SM 11F	Tuf lempungan	Tmjt	Miosen Awal	1
20.	07 SM 11G	Tuf lempungan	Tmjt	Miosen Awal	1
21.	07 SM 11H	Tuf lempungan	Tmjt	Miosen Awal	1
22.	07 SM 11I	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
23.	07 SM 11J	Tuf lempungan	Tmjt	Miosen Awal	1
24.	07 SM 12	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
25.	07 SM 13	Tuf pasir	Qvpo	Holosen Awal	2
26.	07 SM 14	Tuf kasar	Qvpo	Holosen Awal	2
27.	07 SM 15	Tuf kasar	Tmjt	Miosen Awal	1
28.	07 SM 16A	Tuf sedang	Tmjt	Miosen Awal	1
29.	07 SM 16B	Tuf sangat kasar	Tmjt	Miosen Awal	1
30.	07 SM 16C	Tuf sangat kasar	Tmjt	Miosen Awal	1
31.	07 SM 17A	Tuf pasir	Tmjt	Miosen Awal	1
32.	07 SM 17B	Tuf pasir	Tmjt	Miosen Awal	1
33.	07 SM 18A	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
34.	07 SM 18B	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
35.	07 SM 18C	Tuf sedang	Tmjt	Miosen Awal	1
36.	07 SM 18D	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
37.	07 SM 18E	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
38.	07 SM 18F	Tuf lempungan	Tmjt	Miosen Awal	1
39.	07 SM 18G	Tuf kasar	Tmjt	Miosen Awal	1
40.	07 SM 18H	Tuf lempungan	Tmjt	Miosen Awal	1
41.	07 SM 18I	Tuf lempungan	Tmjt	Miosen Awal	1
42.	07 SM 18J	Tuf kasar	Tmjt	Miosen Awal	1
43.	07 SM 19	Tuf halus	Tmjt	Miosen Awal	1
44.	07 SM 20	Sampel hilang pada saat pemrosesan			
45.	07 SM 21	Tuf kasar terubah	Tmjt	Miosen Awal	1
46.	07 SM 22A	Tuf pasir terubah	Tmjt	Miosen Awal	1
47.	07 SM 22B	Tuf terubah	Tmjt	Miosen Awal	1
48.	07 SM 23	Tuf kasar	Qvb	Plistosen Awal	2
49.	07 SM 24	Tuf kasar	Qvb	Plistosen Awal	2
50.	07 SM 25	Tuf litik lapili batuapung	Qvb	Plistosen Awal	2
51.	07 SM 26	Tuf litik lapili batuapung	Qvb	Plistosen Awal	2

Tabel 2. Ringkasan hasil uji mineralogi XRD pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya

No.	Kode Sampel	Grup	Min. Lempung	Serisit	Zeolit	Klorit	Karbonat	Kuarsa	Feldspar	Piroksen	Min. Tamb.
1.	07 SM 01	2	49,50	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	38,50	0,00	0,00
2.	07 SM 02	2	27,10	0,00	0,00	0,00	0,00	25,30	29,70	0,00	17,90
3.	07 SM 03	2	65,60	0,00	0,00	34,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.	07 SM 04	2	47,30	0,00	13,70	0,00	0,00	0,00	39,00	0,00	0,00
5.	07 SM 05A	2	4,70	0,00	0,00	0,00	0,00	45,40	36,40	13,5	0,00
6.	07 SM 05B	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,20	34,70	12,2	11,90
7.	07 SM 06	2	25,40	0,00	0,00	18,90	0,00	0,00	55,70	0,00	0,00
8.	07 SM 07	2	20,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	63,9	0,00
9.	07 SM 08	2	18,80	22,90	0,00	0,00	0,00	29,50	28,80	0,00	0,00
10.	07 SM 09	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,10	35,8	16,10
11.	07 SM	2	8,10	0,00	0,00	0,00	0,00	22,90	40,80	28,2	0,00
12.	07 SM 10A	2	15,10	0,00	0,00	0,00	0,00	28,70	56,20	0,00	0,00
13.	07 SM 10B	2	88,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,50
14.	07 SM 10C	1	12,60	0,00	15,80	0,00	0,00	44,60	27,00	0,00	0,00
15.	07 SM 11A	1	13,80	0,00	19,10	0,00	0,00	43,00	24,10	0,00	0,00
16.	07 SM 11B	1	0,00	0,00	46,50	0,00	0,00	32,90	20,60	0,00	0,00
17.	07 SM 11C	1	0,00	0,00	7,00	0,00	0,00	63,90	29,10	0,00	0,00
18.	07 SM 11D	1	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	30,80	55,70	0,00	0,00
19.	07 SM 11E	1	45,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,60	0,00	24,90
20.	07 SM 11F	1	65,80	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00	5,30	0,00	9,90
21.	07 SM 11G	1	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,40	35,60	0,00	0,00
22.	07 SM 11H	1	12,20	0,00	0,00	0,00	0,00	56,40	31,40	0,00	0,00
23.	07 SM 11J	1	0,00	0,00	12,50	0,00	0,00	73,60	0,00	0,00	13,90
24.	07 SM 12	1	28,30	0,00	21,20	0,00	0,00	26,30	0,00	0,00	24,20
25.	07 SM 13	2	12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	87,50	0,00	0,00	0,00
26.	07 SM 14	2	17,00	0,00	0,00	0,00	6,80	76,20	0,00	0,00	0,00
27.	07 SM 15	1	12,80	0,00	32,00	0,00	0,00	55,20	0,00	0,00	0,00
28.	07 SM 16A	1	14,70	0,00	29,60	0,00	0,00	55,70	0,00	0,00	0,00
29.	07 SM 16B	1	11,50	0,00	46,70	0,00	0,00	41,80	0,00	0,00	0,00
30.	07 SM 16C	1	0,00	8,80	8,50	0,00	0,00	41,40	41,30	0,00	0,00
31.	07 SM 17A	1	8,10	0,00	8,30	0,00	0,00	55,50	0,00	28,1	0,00
32.	07 SM 17B	1	0,00	0,00	36,90	0,00	0,00	34,50	28,60	0,00	0,00
33.	07 SM 18A	1	22,60	0,00	16,50	32,00	0,00	16,50	12,40	0,00	0,00
34.	07 SM 18B	1	0,00	0,00	65,60	0,00	0,00	12,40	0,00	22,0	0,00
35.	07 SM 18C	1	0,00	0,00	15,10	12,60	0,00	19,80	52,50	0,00	0,00
36.	07 SM 18D	1	0,00	0,00	53,30	0,00	0,00	19,80	26,90	0,00	0,00
37.	07 SM 18E	1	0,00	10,00	33,50	0,00	0,00	24,90	23,20	0,00	8,40
38.	07 SM 18F	1	0,00	0,00	31,60	0,00	0,00	44,50	23,90	0,00	0,00
39.	07 SM 18G	1	0,00	0,00	35,90	0,00	0,00	0,00	48,90	0,00	15,20
40.	07 SM 18H	1	9,50	0,00	48,90	0,00	0,00	8,10	33,50	0,00	0,00
41.	07 SM 18I	1	0,00	0,00	33,20	0,00	0,00	5,40	61,40	0,00	0,00
42.	07 SM 18J	1	0,00	0,00	42,80	0,00	0,00	20,00	21,90	15,3	0,00
43.	07 SM 19	1	16,40	0,00	0,00	8,00	0,00	75,60	0,00	0,00	0,00
44.	07 SM 20										
45.	07 SM 21	1	0,00	0,00	43,80	0,00	0,00	41,20	15,00	0,00	0,00
46.	07 SM 22A	1	0,00	0,00	32,90	0,00	0,00	51,40	10,20	0,00	5,50
47.	07 SM 22B	1	0,00	0,00	28,30	0,00	0,00	61,30	10,40	0,00	0,00
48.	07 SM 23	2	72,80	0,00	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,70
49.	07 SM 24	2	32,00	0,00	0,00	31,20	0,00	0,00	0,00	21,4	15,40
50.	07 SM 25	2	51,00	0,00	0,00	33,40	0,00	15,60	0,00	0,00	0,00
51.	07 SM 26	2	43,70	0,00	31,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,1	8,20



Gambar 7. Contoh diagram hasil uji normalitas komponen mineral berdasarkan data uji mineralogi XRD pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

Uji Homogenitas

Uji homogenitas variat Metode Lavene (Dowdy *et al.*, 2004) pada uji mineralogi XRD (Tabel 4) memperlihatkan kesamaan karakter pada komponen mineral serisit ($p=0,2384$), kuarsa ($p=0,5054$), feldspar ($p=0,0910$), dan mineral tambahan ($p=0,3202$), sedangkan pada jenis mineral yang lain tampak berbeda. Uji homogenitas variat Metode Brown-Forsythe (Dowdy *et al.*, 2004) pada uji mineralogi XRD. (Tabel 5) memperlihatkan kesamaan karakter pada komponen mineral serisit ($p=0,5827$), klorit ($p=0,0987$), karbonat ($p=0,2049$), kuarsa ($p=0,6872$), feldspar ($p=0,1569$), dan mineral tambahan ($p=0,4117$), sedangkan pada jenis mineral yang lain tampak berbeda. Hasil uji variat (Anova) pada uji mineralogi XRD (Tabel 6) memperlihatkan kesamaan karakter pada komponen mineral serisit ($p=0,5827$), klorit ($p=0,0987$), karbonat ($p=0,2046$), feldspar ($p=0,8958$), dan mineral tambahan ($p=,4117$), sedangkan pada jenis mineral yang lain tampak berbeda.

Uji homogenitas variat Metode Lavene (Dowdy *et al.*, 2004) pada uji kimia XRF (Tabel 7) tampak adanya kesamaan karakter pada oksida kimia NaO ($p=0,1752$), TiO_2 ($p=0,0875$), P_2O_5 ($p=0,6749$), dan LOI ($p=0,1374$), sedangkan komponen oksida kimia yang lain tampak mempunyai perbedaan nyata. Uji homogenitas variat Metode Brown-Forsythe pada uji kimia XRF (Tabel 8) memperlihatkan kesamaan karakter pada oksida kimia SiO_2 ($p=0,2265$), MgO ($p=0,1039$), NaO ($p=0,1846$), TiO_2 ($p=0,0841$), P_2O_5 ($p=0,7417$), dan LOI ($p=0,1365$), sedangkan komponen oksida kimia yang lain tampak mempunyai perbedaan nyata. Uji homogenitas variat (Anova) pada uji kimia XRF (Tabel 9) memperlihatkan kesamaan karakter pada oksida kimia CaO ($p=0,4228$), MgO ($p=0,1197$), NaO ($p=0,0771$), dan P_2O_5 ($p=0,1202$), sedangkan komponen oksida kimia yang lain tampak mempunyai perbedaan nyata.

Selain ketiga metode uji tersebut di atas, juga dilakukan uji-F (Dowdy *et al.*, 2004) untuk lebih meyakinkan pembuktian hipotesis penelitian. Berdasarkan uji-F data hasil uji mineralogi XRD (Tabel 10), tampak bahwa kesamaan karakter hanya terjadi pada komponen mineral karbonat, kuarsa, feldspar, dan mineral tambahan, sedangkan jenis mineral yang lain praktis berbeda karakter di antara kedua grup populasi tersebut. Berdasarkan hasil uji-F data hasil uji kimia XRF (Tabel 11), tampak bahwa kesamaan karakter hanya terjadi pada komponen oksida kimia Na_2O saja, sedangkan semua oksida kimia yang lain praktis berbeda karakter di antara kedua populasi tersebut.

Selain uji beda dengan ketiga metode tersebut di atas, komponen mineralogi batuan perlu diuji kesamaannya dengan komponen oksida kimia. Pengujian dilakukan dengan perhitungan statistik atau uji signifikansi multivariat Wilks, Pillai's, Hotelling, dan Roy's (Dowdy *et al.*, 2004). Di dalam uji-statistik ini, nilai tersebut tidak dapat digunakan untuk menguji hipotesis statistik secara langsung. Untuk keperluan itu nilai tersebut harus diubah dahulu ke nilai Fdistribusi atau Fhitung, dan pada gilirannya diubah kembali ke nilai-p. Uji uji signifikansi multivariat ini dilakukan pada masing-masing komponen mineral utama batuan terhadap komponen oksida kimia batuan secara keseluruhan. Berdasarkan perhitungan statistik atau uji signifikansi multivariat (Tabel 12), terlihat bahwa mineral yang berhubungan cukup signifikan (nilai $p > 0,05$) dengan komponen oksida kimia antara lain zeolit, kuarsa, feldspar, piroksen, dan mineral tambahan. Mineral lempung, serisit, klorit, dan mineral karbonat tampak tidak berhubungan nyata (nilai $p < 0,05$) dengan persentase oksida kimia batuan.

Tabel 4. Hasil Uji homogenitas variat metode Lavene persentase komponen mineral berdasarkan data uji mineralogi XRD pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	SS 1	Df 1	MS 1	SS 2	Df 2	MS 2	F	p	Hasil
Min. Lempung	1367,80	1	1367,80	6838,05	48	142,45	9,601	0,0032	Heterogen
Serisit	15,55	1	15,55	523,85	48	10,913	1,425	0,2384	Homogen
Zeolit	1358,28	1	1358,28	3106,27	48	64,71	20,988	0,0001	Heterogen
Klorit	533,97	1	533,97	1940,29	48	40,42	13,209	0,0006	Heterogen
Karbonat	5,41	1	5,41	35,06	48	0,73	7,414	0,0089	Homogen
Kuarsa	77,34	1	77,34	8244,29	48	171,75	0,450	0,5054	Homogen
Feldspar	264,91	1	264,91	4276,60	48	89,09	2,973	0,0910	Homogen
Piroksen	945,75	1	945,75	3119,83	48	64,99	14,550	0,0003	Heterogen
Min. Tambahan	16,99	1	16,99	808,92	48	16,85	1,008	0,3202	Homogen

Tabel 5. Hasil Uji homogenitas variat metode *Brown-Forsythe* persentase komponen mineral berdasarkan data uji mineralogi XRD pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	SS 1	Df 1	MS 1	SS 2	Df 2	MS 2	F	p	Hasil
Min. Lempung	1324,06	1	1324,06	11316,1	48	235,75	5,616	0,0218	Heterogen
Serisit	4,22	1	4,22	662,85	48	13,80	0,305	0,5827	Homogen
Zeolit	1905,23	1	1905,23	4129,41	48	86,02	22,146	0,0000	Heterogen
Klorit	239,44	1	239,44	4055,48	48	84,48	2,8340	0,0987	Homogen
Karbonat	1,50	1	1,50	43,81	48	0,91	1,653	0,2046	Homogen
Kuarsa	37,80	1	37,80	11058,8	48	230,39	0,164	0,6872	Homogen
Feldspar	235,90	1	235,90	5477,61	48	114,11	2,067	0,1569	Homogen
Piroksen	754,08	1	754,08	6669,04	48	138,93	5,427	0,0240	Heterogen
Min. Tambahan	33,80	1	33,80	2366,67	48	49,30	0,685	0,4117	Homogen

Tabel 6. Hasil uji variat (anova) persentase komponen mineral berdasarkan data uji mineralogi XRD pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	SS 1	Df 1	MS 1	SS 2	Df 2	MS 2	F	p	Hasil
Min. Lempung	5740,74	1	5740,74	18248,6	48	380,17	15,100	0,0003	Heterogen
Serisit	4,22	1	4,22	662,8	48	13,80	0,305	0,5827	Homogen
Zeolit	5511,55	1	5511,55	11446,1	48	238,46	23,113	0,0001	Heterogen
Klorit	239,44	1	239,44	4055,4	48	84,48	2,834	0,0987	Homogen
Karbonat	1,50	1	1,50	43,8	48	0,91	1,653	0,2046	Homogen
Kuarsa	3149,48	1	3149,48	26231,3	48	546,48	5,7631	0,0202	Heterogen
Feldspar	6,55	1	6,55	18173,6	48	378,61	0,017	0,8958	Homogen
Piroksen	754,08	1	754,08	6669,0	48	138,93	5,427	0,0240	Heterogen
Min. Tambahan	33,80	1	33,80	2366,6	48	49,30	0,685	0,4117	Homogen

Tabel 7. Hasil Uji homogenitas variat metode Lavene persentase geokimia oksida utama batuan berdasarkan data uji kimia XRF pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	SS 1	MS 1	SS 2	MS 2	df	F	p	Hasil
SiO ₂	204,12	204,12	2395,76	49,91	48	4,089	0,0487	Homogen
Al ₂ O ₃	91,56	91,56	528,31	11,00	48	8,318	0,0058	Heterogen
Fe ₂ O ₃	37,65	37,65	115,61	2,40	48	15,635	0,0002	Heterogen
CaO	7,20	7,20	34,77	0,72	48	9,947	0,0027	Heterogen
MgO	2,27	2,27	17,66	0,36	48	6,177	0,0164	Heterogen
K ₂ O	1,35	1,35	6,22	0,12	48	10,451	0,0022	Heterogen
Na ₂ O	0,40	0,40	10,24	0,21	48	1,893	0,1752	Homogen
TiO ₂	0,06	0,06	1,00	0,02	48	3,041	0,0875	Homogen
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,37	0,01	48	0,178	0,6749	Homogen
MnO	0,02	0,02	0,08	0,01	48	16,237	0,0001	Heterogen
LOI	26,21	26,21	551,25	11,48	48	2,2823	0,1374	Homogen

Tabel 8. Hasil Uji homogenitas variat metode *Brown-Forsythe* persentase geokimia oksida utama batuan berdasarkan data uji kimia XRF pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	SS 1	MS 1	SS 2	MS 2	df	F	p	Hasil
SiO ₂	102,04	102,04	3264,40	68,00	48	1,500	0,2265	Homogen
Al ₂ O ₃	89,25	89,25	615,20	12,81	48	6,964	0,0111	Heterogen
Fe ₂ O ₃	35,65	35,65	146,15	3,04	48	11,709	0,0012	Heterogen
CaO	6,21	6,21	39,88	0,83	48	7,475	0,0087	Heterogen
MgO	1,51	1,51	26,49	0,55	48	2,746	0,1039	Homogen
K ₂ O	1,15	1,15	8,44	0,17	48	6,571	0,0135	Heterogen
Na ₂ O	0,70	0,70	18,62	0,38	48	1,811	0,1846	Homogen
TiO ₂	0,07	0,07	1,09	0,02	48	3,111	0,0841	Homogen
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,47	0,01	48	0,109	0,7417	Homogen
MnO	0,02	0,02	0,12	0,01	48	10,345	0,0023	Heterogen
LOI	26,44	26,44	553,68	11,53	48	2,292	0,1365	Homogen

Tabel 9. Hasil uji variat (anova) persentase geokimia oksida utama batuan berdasarkan data uji kimia XRF pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	SS 1	MS 1	SS 2	MS 2	df	F	p	Hasil
SiO ₂	4233,08	4233,08	4861,69	101,28	48	41,793	0,0001	Heterogen
Al ₂ O ₃	956,03	956,03	1491,81	31,07	48	30,760	0,0001	Heterogen
Fe ₂ O ₃	592,85	592,85	282,09	5,87	48	100,877	0,0001	Heterogen
CaO	1,01	1,01	74,50	1,55	48	0,653	0,4228	Homogen
MgO	2,11	2,11	40,37	0,84	48	2,509	0,1197	Homogen
K ₂ O	16,36	16,36	13,97	0,29	48	56,216	0,0001	Heterogen
Na ₂ O	2,72	2,72	40,06	0,83	48	3,263	0,0771	Homogen
TiO ₂	2,01	2,01	2,63	0,05	48	36,622	0,0001	Heterogen
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,51	0,01	48	2,501	0,1202	Homogen
MnO	0,19	0,19	0,21	0,01	48	42,959	0,0001	Heterogen
LOI	207,76	207,76	892,70	18,59	48	11,171	0,0016	Heterogen

Tabel 10. Hasil uji-F persentase komponen mineral berdasarkan data uji mineralogi XRD pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	Mean 1	Mean 2	t-value	df	p	N 1	N 2	SD 1	SD 2	F-ratio	p	Hasil
Min. Lempung	9,46	31,53	-3,88	48	0,000	31	19	14,82	25,45	2,94	0,008	Beda
Serisit	0,60	1,20	-0,55	48	0,582	31	19	2,35	5,25	4,98	0,000	Beda
Zeolit	24,69	3,06	4,80	48	0,000	31	19	18,52	8,00	5,35	0,000	Beda
Klorit	1,69	6,20	-1,68	48	0,098	31	19	6,21	12,68	4,17	0,000	Beda
Karbonat	0,00	0,35	-1,28	48	0,204	31	19	0,00	1,56	0,00	1,000	Sama
Kuarsa	36,57	20,2	2,40	48	0,020	31	19	21,24	26,55	1,56	0,271	Sama
Feldspar	21,56	22,31	-0,13	48	0,895	31	19	18,15	21,44	1,39	0,408	Sama
Piroksen	2,10	10,11	-2,32	48	0,024	31	19	6,75	17,15	6,44	0,000	Beda
Min. Tambahan	3,29	4,98	-0,82	48	0,411	31	19	7,05	6,96	1,025	0,981	Sama

Tabel 11. Hasil uji-F persentase geokimia oksida utama batuan berdasarkan data uji kimia XRF pada tuf berumur Tersier (grup 1) dan tuf berumur Kuarter (grup 2) dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	Mean 1	Mean 2	t-value	df	p	N 1	N 2	SD 1	SD 2	F-ratio	p	Hasil
SiO ₂	65,77	46,81	6,46	48	0,000	31	19	6,06	14,45	5,68	0,001	Beda
Al ₂ O ₃	16,33	25,34	-5,54	48	0,000	31	19	3,65	7,78	4,53	0,001	Beda
Fe ₂ O ₃	2,24	9,33	-10,04	48	0,000	31	19	1,16	3,65	9,79	0,001	Beda
CaO	1,99	1,70	0,80	48	0,422	31	19	0,64	1,85	8,36	0,001	Beda
MgO	0,55	0,97	-1,58	48	0,119	31	19	0,58	1,29	4,94	0,001	Beda
K ₂ O	1,38	0,20	7,49	48	0,000	31	19	0,65	0,23	7,91	0,001	Beda
Na ₂ O	1,07	0,58	1,80	48	0,077	31	19	0,99	0,76	1,67	0,253	Sama
TiO ₂	0,40	0,81	-6,05	48	0,000	31	19	0,18	0,30	2,74	0,014	Beda
P ₂ O ₅	0,03	0,08	-1,58	48	0,120	31	19	0,12	0,06	3,99	0,003	Beda
MnO	0,02	0,15	-6,55	48	0,000	31	19	0,04	0,08	3,23	0,004	Beda
LOI	9,32	13,52	-3,344	48	0,001	31	19	2,54	6,22	5,99	0,000	Beda

Tabel 12. Uji Signifikansi multivariat (Wilks, Pillai's, Hotelling, dan Roy's) komponen mineral terhadap oksida kimia pada tuf dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	Test	Value	F	Effect	Error	p	
Mineral	Wilks	0,0117	2,9059	33	27,21	0,0028	
	Lempung	Pillai's	1,9050	1,7399	33	33,00	0,0583
		Hotelling	24,0499	5,5873	33	23,00	0,0003
		Roy's	22,1785	22,1785	11	11,00	0,0006
Serisit	Wilks	1,0000		0			
	Pillai's	0,0000					
	Hotelling	0,0000					
	Roy's	0,0000					
Zeolit	Wilks	0,4747	1,6094	11	16	0,1877	
	Pillai's	0,5252	1,6094	11	16	0,1877	
	Hotelling	1,1064	1,6094	11	16	0,1877	
	Roy's	1,1064	1,6094	11	16	0,1877	
Klorit	Wilks	1,0000		0			
	Pillai's	0,0000					
	Hotelling	0,0000					
	Roy's	0,0000					
Karbonat	Wilks	1,0000		0			
	Pillai's	0,0000					
	Hotelling	0,0000					
	Roy's	0,0000					
Kuarsa	Wilks	0,1889	0,7092	22	12	0,7662	
	Pillai's	1,0335	0,6805	22	14	0,7966	
	Hotelling	3,1136	0,7076	22	10	0,7614	
	Roy's	2,6730	1,7010	11	7	0,2464	
Feldspar	Wilks	0,0158	1,2779	44	28,73	0,2459	
	Pillai's	2,3278	1,2655	44	40,00	0,2264	
	Hotelling	9,2034	1,1504	44	22,00	0,3698	
	Roy's	4,9982	4,5438	11	10,00	0,0119	
Piroksen	Wilks	0,8027	0,6254	11	28	0,7917	
	Pillai's	0,1972	0,6254	11	28	0,7917	
	Hotelling	0,2457	0,6254	11	28	0,7917	
	Roy's	0,2457	0,6254	11	28	0,7917	
Mineral Tambahan	Wilks	0,2972	1,1936	33	77,30	0,2593	
	Pillai's	0,8993	1,0897	33	84,00	0,3674	
	Hotelling	1,7522	1,3097	33	74,00	0,1686	
	Roy's	1,3665	3,4784	11	28,00	0,0037	

Uji Korelasi

Data hasil uji mineralogi XRD dan uji geokimia XRF dianalisis dengan metode statistik regresi-korelasi. Variabel terukur yang saling berhubungan dianalisis hubungan fungsional dan persamaan matematisnya, sehingga dapat diketahui gambaran hubungan antara dua komponen yang berbeda dan tingkat keeratan hubungannya. Dalam hal ini hubungan fungsional atau penetapan persamaan matematisnya merupakan analisis regresi, sedang keeratan hubungan adalah analisis korelasi.

Dengan menggunakan software *Statistica 6* selanjutnya ditentukan nilai koefisien korelasi (r), persamaan regresi, koefisien determinasi (R^2) dan bentuk garis regresinya. Pada penelitian kali ini hanya dihitung nilai koefisien korelasi saja, karena nilai ini yang paling

nyata menentukan tingkat keeratan hubungan antar variabel komponen mineralogi dan geokimia batuan. Pola (arah) hubungan antara variabel x dan variabel y yang garis regresinya berbentuk linier dapat searah (positif) atau berlawanan arah (negatif); sementara bentuk garis regresi yang tidak linier dapat berbentuk kuadrat, atau tidak teratur. Untuk menggambarkan garis regresi yang paling mendekati kenyataan, yang mewakili sebaran titik data, digunakan persamaan regresi yang mempunyai total kuadrat kesalahan (*error*) paling kecil (Boediono & Koster, 2004).

Uji korelasi yang pertama dilakukan terhadap komponen mineral hasil uji mineralogi XRD. Semua komponen mineral utama di dalam batuan diuji dengan metode ini, dan hasilnya seperti terlihat pada Tabel 13. Dari tabel korelasi ini terlihat hubungan sedang negatif terjadi pada mineral lempung dengan zeolit dan kuarsa, sedangkan hubungan antar mineral lainnya terlihat sangat lemah hingga lemah. Uji korelasi yang kedua dilakukan terhadap komponen kadar oksida kimia utama batuan hasil uji kimia XRF. Semua komponen oksida geokimia batuan diuji dengan metode ini, dan hasilnya seperti terlihat pada Tabel 14. Dari tabel korelasi tersebut tampak adanya hubungan sedang negatif hingga sangat kuat negatif terjadi pada SiO_2 dengan Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , TiO , MnO , dan LoI . Hubungan sedang negatif hingga sangat kuat negatif terjadi pada K_2O dengan Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 dan MnO . Hubungan sedang positif hingga sangat kuat positif terjadi pada SiO_2 dengan K_2O ; Al_2O_3 dengan Fe_2O_3 , TiO dan MnO ; Fe_2O_3 dengan TiO dan MnO ; TiO dengan LoI . Hubungan antar komponen oksida kimia yang lain sangat lemah hingga lemah.

Uji korelasi yang ketiga dilakukan terhadap komponen mineral utama batuan hasil uji mineralogi XRD dikorelasikan dengan komponen kadar oksida geokimia utama batuan hasil uji kimia XRF. Semua komponen oksida kimia batuan diuji dengan metode ini, dan hasilnya seperti terlihat pada Tabel 15. Berdasarkan hasil penghitungan yang telah dilakukan tampak bahwa mineral lempung, zeolit, dan kuarsa tampak berhubungan lemah hingga sedang dengan hampir semua komponen oksida kimia batuan, sedangkan mineral serisit, klorit, karbonat, feldspar, piroksen, dan mineral tambahan relatif berhubungan sangat lemah dengan oksida kimia batuan.

Berdasarkan uraian dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa ada beda nyata di antara kedua satuan batuan yang diteliti, yaitu tuf berumur Tersier dan tuf berumur Kuarter. Adanya perbedaan ini tentunya sangat dikontrol oleh proses geologi yang berpengaruh terhadap kedua satuan yang diteliti.

Tabel 13. Hasil uji korelasi regresi persentase komponen mineral berdasarkan data uji mineralogi XRD pada tuf dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	Min. Lempung	Serisit	Zeolit	Klorit	Karbonat	Kuarsa	Feldspar	Piroksen	Min. Tamb.
Min. Lempung	1,00	-0,08	-0,41	0,32	-0,01	-0,47	-0,34	-0,10	0,30
Serisit	-0,08	1,00	-0,08	-0,08	-0,03	0,01	0,10	-0,10	-0,06
Zeolit	-0,41	-0,08	1,00	-0,24	-0,13	-0,06	-0,14	-0,12	-0,17
Klorit	0,32	-0,08	-0,24	1,00	-0,05	-0,29	-0,18	-0,04	-0,06
Karbonat	-0,01	-0,03	-0,13	-0,05	1,00	0,27	-0,16	-0,06	-0,08
Kuarsa	-0,47	0,01	-0,06	-0,29	0,27	1,00	-0,26	-0,27	-0,32
Feldspar	-0,34	0,10	-0,14	-0,18	-0,16	-0,26	1,00	-0,04	-0,12
Piroksen	-0,10	-0,10	-0,12	-0,04	-0,06	-0,27	-0,04	1,00	0,04
Min. Tambahan	0,30	-0,06	-0,17	-0,06	-0,08	-0,32	-0,12	0,04	1,00

Tabel 14. Hasil uji korelasi regresi sederhana persentase geokimia oksida utama batuan berdasarkan data uji kimia XRF pada tuf dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI
SiO ₂	1,00	-0,90	-0,87	-0,04	-0,42	0,58	-0,02	-0,87	-0,35	-0,75	-0,70
Al ₂ O ₃	-0,90	1,00	0,80	-0,11	0,21	-0,58	0,17	0,87	0,34	0,75	0,40
Fe ₂ O ₃	-0,87	0,80	1,00	-0,15	0,42	-0,68	-0,26	0,85	0,34	0,79	0,50
CaO	-0,04	-0,11	-0,15	1,00	0,33	0,17	0,38	-0,07	0,02	-0,06	0,00
MgO	-0,42	0,21	0,42	0,33	1,00	-0,22	0,04	0,32	0,27	0,37	0,30
K ₂ O	0,58	-0,58	-0,68	0,17	-0,22	1,00	0,19	-0,60	-0,06	-0,56	-0,39
Na ₂ O	-0,02	0,17	-0,26	0,38	0,04	0,19	1,00	-0,01	0,12	-0,02	-0,26
TiO ₂	-0,87	0,87	0,85	-0,07	0,32	-0,60	-0,01	1,00	0,41	0,73	0,48
P ₂ O ₅	-0,35	0,34	0,34	0,02	0,27	-0,06	0,12	0,41	1,00	0,40	0,10
MnO	-0,75	0,75	0,79	-0,06	0,37	-0,56	-0,02	0,73	0,40	1,00	0,36
LOI	-0,70	0,40	0,50	0,00	0,30	-0,39	-0,26	0,48	0,10	0,36	1,00

Tabel 15. Hasil uji korelasi regresi persentase komponen mineral utama dan persentase geokimia oksida batuan berdasarkan data uji mineralogi XRD dan kimia XRF pada tuf dari daerah Cibadak dan sekitarnya.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI
Min. Lempung	-0,54	0,54	0,61	-0,47	0,18	-0,50	-0,36	0,48	0,12	0,38	0,40
Serisit	-0,11	0,15	0,09	-0,00	0,08	-0,11	0,05	0,19	0,04	0,22	0,04
Zeolit	0,40	-0,34	-0,54	0,15	-0,36	0,41	0,13	-0,40	-0,35	-0,38	-0,24
Klorit	-0,33	0,32	0,44	-0,35	0,33	-0,29	-0,19	0,42	0,04	0,33	0,19
Karbonat	-0,01	0,03	0,07	-0,19	-0,11	-0,17	-0,14	-0,13	-0,07	-0,08	0,03
Kuarsa	0,61	-0,64	-0,54	-0,02	-0,21	0,36	0,01	-0,56	-0,05	-0,51	-0,29
Feldspar	-0,06	0,10	-0,07	0,42	0,12	0,15	0,43	0,06	0,19	0,07	-0,12
Piroksen	-0,33	0,26	0,39	0,21	0,14	-0,28	-0,00	0,27	0,11	0,40	0,15
Min. Tamb.	-0,23	0,20	0,23	0,11	0,08	-0,21	-0,23	0,23	-0,09	0,15	0,16

DISKUSI

Berdasarkan hasil uni mineralogi XRD yang telah dilakukan, setelah dilakukan analisis statistik, terdeteksi bahwa ada beberapa mineral utama yang saling berhubungan antar sesamanya, atau berhubungan dengan oksida utama hasil uji geokimia XRF (Maryanto & Kurnia, 2015). Mineral lempung berhubungan sedang negatif dengan kuarsa, zeolit, dan feldspar. Zeolit, mineral lempung dan kuarsa berhubungan lemah hingga sedang dengan hampir semua komponen oksida kimia batuan. Di lain fihak, oksida utama yang berhubungan dengan kehadiran mineral tertentu adalah SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O, TiO, dan MnO.

Tuf berumur Tersier yang merupakan penyusun Formasi

Jampang, telah tertindih cukup tebal oleh beberapa formasi batuan lain yang lebih muda, sebelum tersingkap di permukaan. Sesuai dengan konsep gradien geotermal, maka telah terjadi peningkatan suhu di dalam Formasi Jampang, yang mengakibatkan terubahnya beberapa mineral menjadi zeolit (Kusdarto, 2008). Jenis zeolit yang dijumpai di dalam tuf berumur Tersier cukup beragam, meliputi mordenit (Trisunaryanti *et al.*, 2013), chabazit, stilbit, dan klinoptilolit (Semara, 2012). Keragaman jenis zeolit ini diduga bukan semata-mata merupakan cerminan komponen feldspar awal, akan tetapi merupakan gabungan proses pertukaran komponen kimia (Fatimah dr., 2012), yang berlangsung selama proses penimbunan dan penyingkapan batuan. Hal ini terbukti dengan tidak adanya hubungan nyata antara zeolit dengan feldspar. Zeolit dan kuarsa mempunyai hubungan lemah hingga sedang dengan hampir semua komponen oksida kimia batuan, khususnya dengan SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O, TiO, dan MnO. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa zeolit yang terbentuk memang terpengaruh oleh beberapa pengotor seperti Fe, Mg, Ti, dan Mn, yang membentuk beragam jenis zeolit di daerah penelitian.

Di lain fihak, proses pembentukan zeolit tersebut di atas tidak terjadi pada tuf berumur Kuartar. Beberapa mineral penyusun tuf berumur Kuartar setelah diendapkan lapuk dan membentuk mineral lempung (Subari & Widodo, 2015), khususnya montmorilonit, halloysit serta sedikit jenis mineral lempung yang lain. Kedua jenis mineral lempung utama tersebut, baik sendiri atau bersama-sama telah menggantikan feldspar di dalam batuan asal, terbukti dengan adanya hubungan sedang negatif pada mineral lempung dan feldspar. Kehadiran mineral lempung ini seiring dengan kehadiran mineral lapukan klorit serta mineral lainnya, yang dicirikan dengan hubungan sedang positif pada mineral-mineral tersebut. Dalam kaitannya dengan oksida utama, mineral lempung juga mempunyai hubungan lemah hingga sedang dengan hampir semua komponen oksida kimia batuan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa mineral lempung mempunyai unsur pengotor seperti Fe, Mg, Ti, dan Mn.

Satuan batuan berumur Tersier (Miosen) yang mengandung tuf adalah Formasi Jampang Anggota Tuf (Tmjt). Sumber erupsi batuan gunung api tuf ini sudah tidak diketahui lagi karena telah tertindih oleh beberapa satuan yang lebih muda. Dengan adanya penimbunan ini, maka tuf berumur Tersier tersebut mengalami alterasi akibat peningkatan suhu dan tekanan, yang membentuk zeolit dengan jenis beragam.

Sedangkan, satuan batuan gunung api yang berumur Kuarter terdiri atas Batuan Gunung Api Tua (Qvb) yang diperkirakan bersumber bahan Gunung Halimun dan yang terbanyak adalah Batuan Gunung Api Pangrango Muda (Qvpy). Mineral lempung menjadi unsur utama penyusun batuan piroklastika yang berumur Kuarter ini, yang terbentuk sebagai akibat pelapukan batuan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji mineralogi XRD dan uji geokimia XRF yang telah dilakukan terhadap sampel tuf berumur Tersier dan tuf berumur Kuarter di daerah Cibadak dan sekitarnya, dapat disimpulkan bahwa ada dua mineral sekunder yang menjadi kunci pembeda antara kedua tuf tersebut, yaitu zeolit dan mineral lempung. Mineral zeolit kebanyakan hadir pada tuf berumur Tersier

sebagai hasil ubahan batuan yang melibatkan peningkatan suhu dan tekanan akibat penimbunan formasi. Mineral lempung kebanyakan hadir pada tuf berumur Kuarter sebagai hasil lapukan batuan di permukaan. Zeolit dan mineral lempung berhubungan nyata dengan hampir semua komponen oksida kimia batuan, khususnya dengan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , TiO , dan MnO , yang menyebabkan terbentuknya jenis zeolit dan mineral lempung yang beragam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Sdr. Herwin Syah, Sdr. Purwo Kawoco dan Sdr. Heriyanto atas bantuannya dalam pendigitan gambar, pengambilan data uji XRD dan pengambilan data uji XRF.

ACUAN

- Al-Jabri, M., 2008. Kajian metode penetapan kapasitas tikar kation zeolit sebagai pembenah tanah untuk lahan pertanian terdegradasi. *Jurnal Standardisasi*, 10(2): 56-69.
- Andyastiya, A.S., Pribadi, G.A., Rizal, S., Syarifudin, M.A., Purba, G.R., Sunardi, E., dan Hardiyono, A., 2015. Tatanan stratigrafi daerah Cilangkap dan sekitarnya, Kecamatan Lengkon, Kabupaten Sukabumi. *Seminar Nasional Ke-III, Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran*, 7h.
- Boediono dan Koster, W., 2004. *Teori dan aplikasi statistika dan probabilitas*. Penerbit PT Remaja Rosdakarya, Bandung, Cetakan ketiga, 193 p.
- Dowdy, S., Wearden, S., and Chilko, D., 2004. *Statistics for research, 3rd edition*. John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 627 p.
- Effendi, A.C., Kusnama, dan Hermanto, B., 1998. *Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa, Skala 1 : 100.000*. Puslitbang Geologi Bandung.
- Fatimah, D., Estiaty, L.M., Soetjijo, H., Gani, M.U.A., dan Widodo, 2012. Penanaman TiO_2 pada tetrahedral zeolit alam untuk mengatasi masalah limbah *non-biodegradable* pada industri tekstil. Tim Pelaksana Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perakayasa, Kemenristek, 13h. (tidak terbit).
- Hall, R., Clements, B., Smyth, H.R., and Cottam, M.A., 2007. A new interpretation of Java's structure. *Indon. Petrol. Assoc. Proc. 31 Ann. Conv. Exhibition*, May 2007, IPA07-G-035, 35 p.
- Kusdarto, 2008. Potensi zeolit di Indonesia. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 7(2): 78-87.
- Martodjojo, S., 2003. *Evolusi Cekungan Bogor*. Penerbit ITB Bandung.
- Maryanto, S. dan Kurnia, 2015. Karakter oksida utama batuan piroklastika berbutir halus Tersier dan Kuarter di Cibadak, Sukabumi, Jawa Barat. *Publikasi Ilmiah Pendidikan dan Pelatihan Geologi*, 11(1): 1-12.
- Maryanto, S., Kurnia, Agustiany, I, dan Rustami, I., 2007. Penelitian geostatistik batuan piroklastika halus di daerah Cibadak dan sekitarnya, Kabupaten Sukabumi, Propinsi Jawa Barat. Pusat Survei Geologi Bandung (laporan tidak terbit).
- Musper, K.A.F.R., 1939. Report on field work in June – July 1939. Geological Survey of Indonesia (unpublished report).
- Samuel, L., 1973. Geologic map of Sukabumi and Pelabuhanratu area. Institute of Oil and Gas (unpublished report).

- Semara, I.P.P.W., 2012. Studi pengaruh aktivasi termal dan ukuran butir zeolit alam dari daerah Sukabumi, Jawa Barat terhadap kemampuan penyerapan limbah elektroplating nikel. Thesis S2, Program Magister, Program Studi Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Udayana, Denpasar
- Simanjuntak, S., Tampubolon, A., Sudarya, S., dan Kisman, 2007. Inventarisasi dan evaluasi mineral logam di daerah Kabupaten Cianjur dan Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Pusat Sumber Daya Geologi Bandung. <http://www.dim.esdm.go.id.<29/11/2007>>.
- Subari, S. dan Widodo, W., 2015. Tuf sebagai pelebur pada bahan pembuatan keramik bodi stoneware. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 25(1): 1. (abstrak).
- Trisunaryanti, W., Triyono, Rizki, C.N., Saptoadi, H., Alimuddin, Z., Syamsiro, M., Yoshikawa, K., 2013. Characteristics of metal supported-zeolit catalysts for hydrocracking of polyethylene terephthalat. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 3(4): 29-34.

J
G
S
M
