

Analisis Mineralogi dan Kimia Bentonit Daerah Bone Bolango, Provinsi Gorontalo

Sufriadin, Purwanto, Nanda Pratiwi Rapele, Chairil Sastria, Shany Sofiah Fauth,
Astina Aras*

Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar

**sufri.as@unhas.ac.id*

SARI

Bentonit merupakan salah satu jenis endapan mineral nir logam yang memiliki banyak aplikasi dalam industri. Agar pola pemanfaatan bentonit dapat dioptimalkan, maka diperlukan kajian awal mengenai kualitas terutama komposisi mineral dan kimia bentonit di suatu daerah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik mineralogi dan kimia bentonit di Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Analisis mineralogi dilakukan dengan metode mikroskopis dan difraktometri sinar X (XRD) sementara komposisi kimia sampel ditentukan dengan metode fluoresensi sinar X (XRF). Hasil analisis menunjukkan sampel bentonit disusun oleh mineral smektit jenis montmorillonit dengan mineral pengotor terdiri dari plagioklas, kuarsa, kalsit dan maghemit. Komposisi kimia bentonit Bone Bolango didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 dengan rasio $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ berkisar antara 1,38 sampai 1,68. Bentonit ini terbentuk dari proses pelapukan batuan vulkanik terutama yang berasal dari ubahan mineral plagioklas. Berdasarkan kandungan mineral dan kimianya, maka bentonit Bone Bolango tergolong tipe Ca-bentonit kadar rendah dan bersifat kurang mengembang. Akan tetapi, bentonit ini potensial digunakan sebagai bahan baku pembuatan keramik dan sebagai bahan penyerap.

Kata kunci: bentonit; smektit; plagioklas; pelapukan; Gorontalo.

ABSTRACT

Bentonite is one of industrial mineral deposit that has many applications in industries. In order to optimize its utilization, it is needed an initial assessment about the quality in particularly mineralogical and chemical composition. The objective of this study was to analyze mineralogical and chemical properties of bentonite samples from Bone Bolango Area, Gorontalo Province. Mineralogical analysis was performed by means of microscopic and X-ray diffraction (XRD) methods while chemical composition was determined by X-ray fluorescence (XRF) spectrometry. Results of analysis show that bentonite samples were composed of smectite mineral of montmorillonite type with the impurities constitute of plagioclase, quartz, calcite and maghemite. Chemical composition of Bone Bolango bentonite is dominated by SiO_2 and Al_2O_3 with the ratio in the range between 1.38 and 1.68.

How to Cite: Sufriadin, Purwanto, Rapele, N.P., Sastria, C., Fauth, S.S., Aras, A., 2020. Analisis Mineralogi dan Kimia Bentonit Daerah Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Jurnal Geomine, 8(2): 104-113.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submite 13 Juli 2020

Received in from 14 Juli 2020

Accepted 29 Agustus 2020

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



This bentonite was formed by weathering process of volcanic rocks mainly derive from plagioclase alteration. Based on mineral and chemical compositions, Bone Bolango bentonite is categorized as Ca-bentonite with relatively non-swelling property. However it is potentially used as raw materials in ceramic making and as absorbent.

Keywords: bentonite; smectite; plagioclase; weathering; Gorontalo.

PENDAHULUAN

Bentonit merupakan salah satu bahan galian nir logam yang umumnya terbentuk dari alterasi batuan vulkanik dengan komposisi mineral utama adalah kelompok mineral smektit terutama montmorilonit (Cristidis and Huff, 2009). Bentonit banyak dimanfaatkan dalam industri karena memiliki sifat-sifat fisik dan kimia yang khas seperti kristal struktur, komposisi kimia, ukuran kristal kecil, kapasitas tukar kation tinggi, hidrasi dan sifat mengembang, sifat koloidal dan dapat bereaksi dengan reagen-reagen organik dan anorganik (Odom, 1984). Berdasarkan sifat-sifat tersebut, maka bentonit dapat digunakan sebagai material lumpur pemboran, bahan penyerap dan nanokomposit.

Istilah bentonit pertama kali diperkenalkan oleh Knight tahun 1898 terhadap material yang mengandung mineral lempung dari Fort Benton, Wyoming, Amerika Serikat (Grim and Guven, 1978). Dalam konteks mineralogi, bentonit disusun oleh dioktahedral smektit terutama montmorillonite. Smektit merupakan kelompok phyllosilicate yang memiliki struktur 2:1 yakni setiap lapisan oktahedral diapit oleh 2 lapisan tetrahedral dengan total muatan negatif lapisan antara 0,2 sampai 0,6 per setengah sel satuan (Brigati et al., 2006). Lapisan oktahedral terutama disusun oleh unsur-unsur Al, Fe, Mg, Ni, Zn dan Li sementara lapisan tetrahedral didominasi oleh Si dan sebagian Al. Substitusi Si oleh Al pada lapisan tetrahedral menyebabkan pengurangan muatan positif, sebaliknya substitusi kation divalen terhadap kation trivalen pada lapisan oktahedral menyebabkan kelebihan muatan negatif (Choo and Bai, 2016). Kation-kation Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang terletak pada spasi *interlayer* yang mengimbangi muatan negatif pada lapisan 2:1 bersifat terhidrasi dan dapat menggantikan satu sama lain (Gambar 2.1), (Reddy et al., 2019).

Berdasarkan tipenya, Panjaitan, (2010) membagi bentonit menjadi dua tipe yaitu : a. Tipe Wyoming (*Na-bentonit - Swelling bentonite*). Na bentonit memiliki daya mengembang hingga delapan kali apabila dicelupkan ke dalam air dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Dalam keadaan kering berwarna putih atau cream, pada keadaan basah dan terkena sinar matahari akan berwarna mengkilap. Perbandingan soda dan kapur tinggi, suspensi koloidal mempunyai pH 8,5-9,8, tidak dapat diaktifkan, posisi pertukaran diduduki oleh ion-ion sodium (Na^+); b. Mg, (*Ca-bentonit-nonswelling bentonite*). Tipe bentonit ini kurang mengembang apabila dicelupkan ke dalam air dan tetap terdispersi di dalam air, tetapi secara alami atau setelah diaktifkan mempunyai sifat menghisap yang baik. Perbandingan kandungan Na dan Ca rendah, suspensi koloidal memiliki pH 4-7. Posisi pertukaran ion lebih banyak diduduki oleh ion-ion kalsium dan magnesium. Dalam keadaan kering bersifat rapid slaking, berwarna abu-abu, biru, kuning, merah dan coklat. Penggunaan bentonit dalam proses pemumian minyak goreng perlu aktivasi terlebih dahulu.

Selain dua tipe bentonit tersebut di atas, Huff (2016), mendiskusikan tentang tipe lain dari bentonit yaitu K-bentonit. Jenis bentonit ini juga terbentuk dari proses alterasi batuan vulkanik yang kaya magnesium. Substitusi Mg oleh K selama proses alterasi batuan atau abu vulkanik menghasilkan bentonit yang kaya kalium. Namun demikian, adanya variasi rasio muatan lapisan terhadap campuran lapisan dapat mempengaruhi sifat-sifat kimia fisik bentonit.

Indonesia memiliki sumberdaya bentonit yang cukup besar hingga mencapai 838,5 juta ton (PSG, 2019). Endapan bentonit di Indonesia tersebar di Pulau Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi dan Maluku Utara. Bentonit di Sulawesi dilaporkan terdapat di Kabupaten Tanah Toraja (Arifin dan Sudradjat, 1997). Keberadaan bentonit juga diindikasikan di berapa lokasi lainnya di Sulawesi diantaranya Kabupaten Gowa, Maros, Jeneponto dan Gorontalo. Namun demikian, pemanfaatan bentonit dalam negeri masih sangat rendah sehingga kebutuhan

domestik harus dipenuhi dengan impor. Masih rendahkan kualitas bentonit alam di Indonesia merupakan penyebab utama kurangnya pemanfaatan bahan galian ini di berbagai industri. Selain itu, informasi tentang jumlah cadangan yang pasti serta karakteristik kualitas bentonit yakni komposisi mineral dan kimia bentonit di dalam negeri masih sangat kurang sehingga pengusahaan komoditas tambang bentonit belum sesuai yang diharapkan.

Bentonit secara alami, selain tersusun oleh mineral lempung jenis smektit juga mengandung beberapa mineral lain sebagai pengotor. Kehadiran mineral-mineral pengotor akan menurunkan kualitas bentonit. Oleh sebab itu, data mengenai bentuk keterdapatan mineral lempung dan jenis mineral pengotor dalam sampel bentonit sangat bermanfaat dalam menentukan type dan kualitas bentonit. Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengetahui komposisi mineral, kimia dan type bentonit dari Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo dan prospek pemanfaatannya pada industri.

METODE PENELITIAN

Sebanyak 6 sampel bentonit yang digunakan pada penelitian ini, diambil dari sejumlah lokasi di Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo (Gambar 1). Selain sampel bentonit, juga dilakukan pengambilan sampel batuan dasar dengan menggunakan palu geologi. Sebanyak 2 hingga 3 kg sampel bentonit dikumpulkan pada setiap lokasi dengan menggunakan palu. Selanjutnya sampel dipreparasi sebelum dilakukan analisa mineral dan kimia.

Sampel yang telah diambil di lapangan kemudian dibawa ke laboratorium dan dilakukan pengeringan pada suhu kamar. Sebelum dianalisis, sampel digerus dengan menggunakan "*agate mortar*". Penggerusan dilakukan secara hati-hati untuk menghindari kerusakan struktur kristal mineral lempung. Pemisahan fraksi kasar dan halus melalui proses pengayakan dengan saringan ukuran 200# ($\sim 75 \mu\text{m}$). Mineral lempung memiliki ukuran lebih kecil dari 2 mikron, sehingga proses separasinya dapat dilakukan dengan cara sedimentasi gravitasi.

Pemisahan fraksi lempung dari mineral non-lempung lainnya dilakukan dengan cara suspensi menurut hukum Stokes. Sampel dimasukkan ke dalam beaker, kemudian disentrifugasi selama 5 – 10 menit agar terjadi dispersi secara optimal. Selanjutnya pengambilan fraksi lempung dengan pipet dilakukan setelah fraksi kasar mengendap. Fraksi lempung yang masih jenuh air tersebut diteteskan pada kaca preparat kemudian dikeringkan dalam desikator.

Analisis mineralogi dilakukan dengan menggunakan *X-Ray diffractometer* type SHIMADZU (Maxima X-7000) di Departemen Teknik Geologi UNHAS. Untuk analisis mineral secara ruah, pola difraksi diperoleh dengan memindai cuplikan pada sudut 2θ antara $2^\circ - 65^\circ$ sedangkan untuk analisis lempung, cuplikan dipindai pada sudut 2θ antara $2^\circ - 30^\circ$, scanning step 0.02° dengan waktu scanning 4 detik/step. Setelah pemindai pertama, cuplikan ditetesi dengan *ethylene glycol* dan dibiarkan beberapa saat, kemudian dipindai kembali pada sudut yang sama dengan langkah pertama. Selanjutnya pemindai ketiga dilakukan pada cuplikan yang telah dipanasi pada suhu 550°C selama 2 jam. Kondisi percobaan untuk analisis XRD adalah: voltase 40 kV, arus 30 mA dan radiasi tabung katoda $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.541\text{\AA}$). Identifikasi mineral yang terdapat dalam cuplikan dilakukan dengan membandingkan pola difraksi hasil percobaan dengan pola difraksi standar (database PDF, ICDD) serta menggunakan program Impact Match! 3 (*trial version*).

Analisis XRF bertujuan untuk menentukan komposisi kimia sampel bentonit yang mengindikasikan kualitas dan tipe bentonit. Sebelum analisis, sampel dibuat dalam bentuk press pellet yakni sampel bubuk bentonit ditempatkan dalam cincin pipa PVC dengan diameter 1 inchi, kemudian dipress dengan tekanan mencapai 10 kP. Sampel selanjutnya dianalisis dengan spectrometer (XRF) tipe Shimadzu EDXRF-720. Data komposisi kimia unsur utama dilaporkan dalam bentuk oksida.



Kenampakan Lapangan

Pada beberapa tempat masih dijumpai fragmen-fragmen batuan asal dari andesit. Keterdapatan bentonit di daerah studi berkaitan dengan keberadaan batuan vulkanik terutama andesit. Setempat dijumpai batuan vulkanik lainnya sebagai batuan dasar seperti trakit, breksi vulkanik dan tufa.

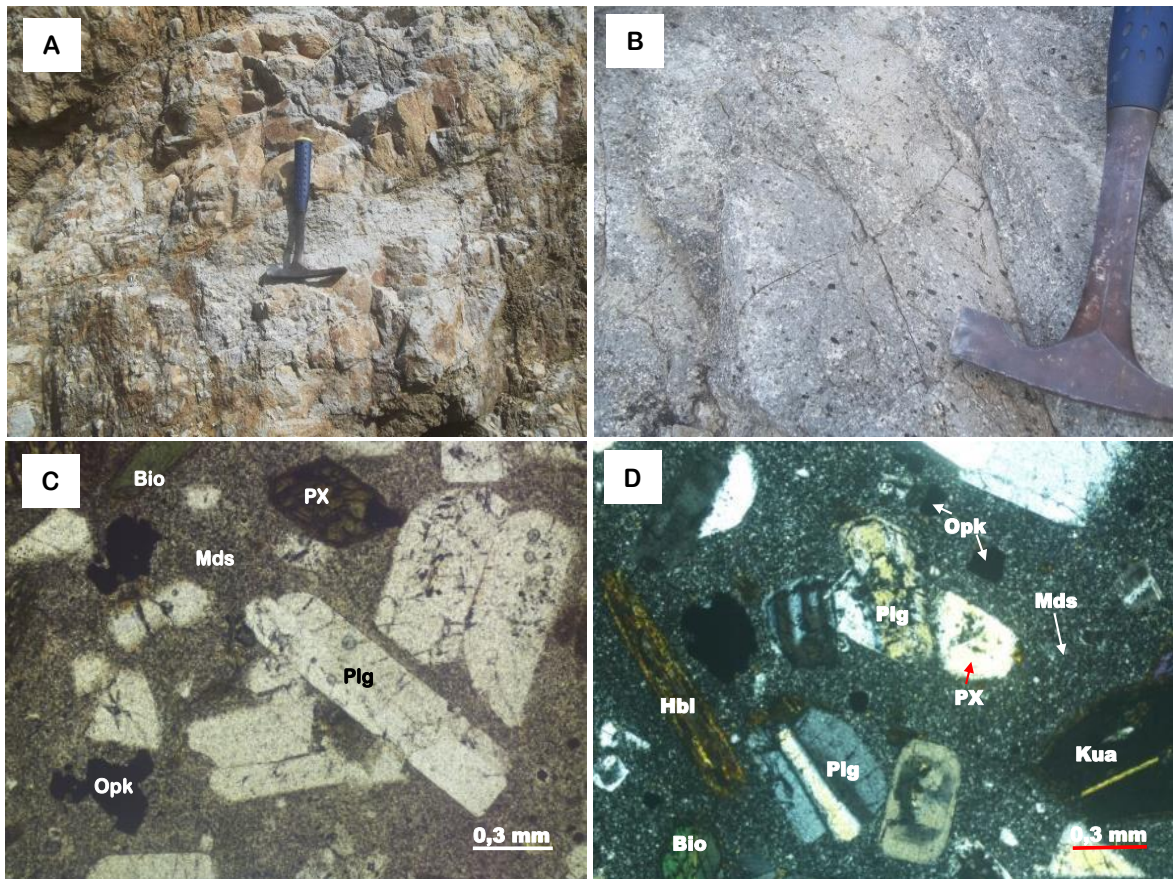


Gambar 2. Kenampakan singkapan bentonit pada beberapa lokasi di Kabupaten Bone Bolango. A: Bentonit hasil pelapukan tufa di Desa Talu Daa, Kec. Bone Raya. B: Sampling pada umur uji yang merupakan hasil pelapukan andesit. C dan D: Bentonit hasil pelapukan andesit di pinggir jalan Desa Olahita, Kec. Kabila Bone.

Litologi Batuan Dasar

Batuan dasar bentonit di Kabupaten Bone Bolango terdiri dari batuan vulkanik yang bersifat intermedit yakni andesit. Singkapan batuan andesit di temukan pada sejumlah lokasi seperti di Kecamatan Bone Raya, Kecamatan Bone Pantai dan kecamatan Kabila Bone. Kenampakan lapangan batuan andesit menunjukkan warna abu-abu sedang dalam keadaan segar dan warna-abu-abu terang hingga kecoklatan dalam keadaan lapuk (Gambar 3A dan 3B). Tekstur porfiritik, fenokris terdiri dari mineral plagioklas dan mineral mafik seperti piroksin, biotit, hornblende dan mineral opak. Mineral fenokris ini tertanam dalam masa dasar kriptokristalin hingga gelas.

Hasil analisis mikroskopis (Gambar 3C dan 3D) memperlihatkan tekstur porfiritik dengan fenokris terdiri dari plagioklas jenis andesin. Mineral plagioklas dicirikan oleh warna abu-abu terang, bentuk subhedral, ukuran kristal 0,2 sampai 1,0 mm, kembaran albit, sudut gelap berkisar 25° yang mengindikasikan mineral andesin. Sejumlah kecil mineral-mineral seperti piroksin, hornblende, biotit dan mineral opak juga dapat diamati di bawah mikroskop yang bertindak sebagai fenokris. Piroksin menunjukkan warna hijau kekuningan, kristal prisma pendek berbentuk subhedral. Biotit berwarna kehijauan, bentuk subhedral, Sementara itu, hornblende menunjukkan warna kuning kecoklatan, bentuk prisma panjang dengan ukuran mencapai 1,5 mm. Mineral opak berwarna hitam, bentuk unihedral dengan ukuran 0,1 – 0,5 mm. Masa dasar dari batuan ini berupa mineral kriptokristalin serta gelas vulkanik yang memiliki proporsi seimbang terhadap fenokris.

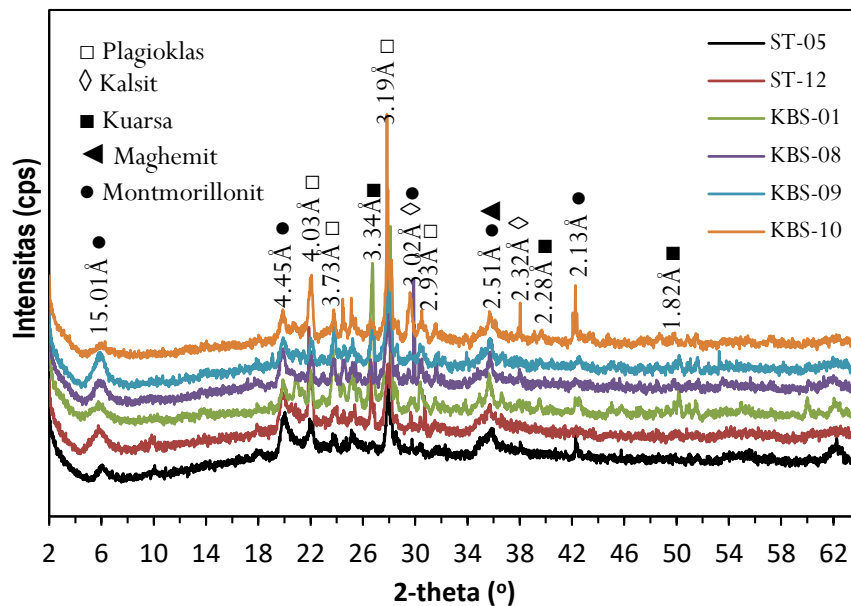


Gambar 3. Kenampakan litologi andesit (A dan B) serta fotomikrograf batuan andesit porfiri yang merupakan batuan dasar endapan bentonit di Kab. Bone Bolango (C dan D). *Keterangan:* Plg plagioklas; Hbl hornblende; Px piroksin; Bio biotit; Kua kuarsa; Opk opak dan Mds masa dasar (Foto C=nikol sejajar dan D=nikol silang; pembesaran objektif 10x).

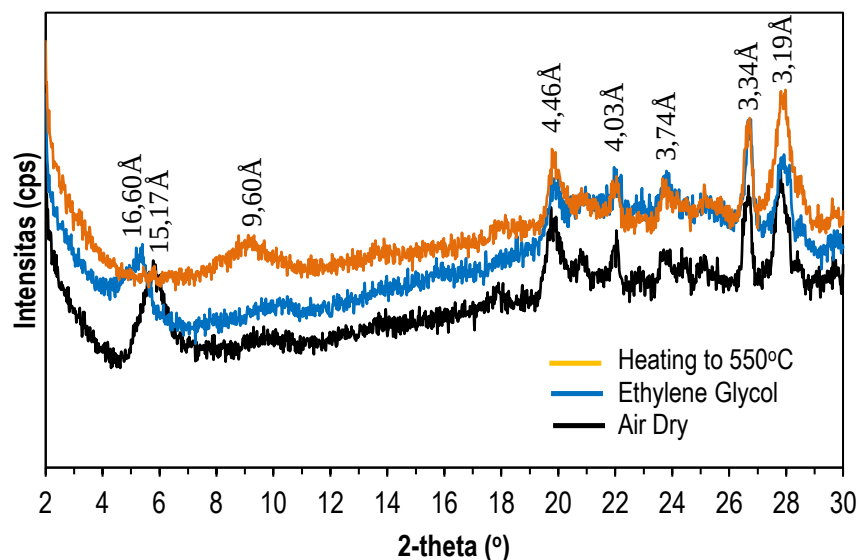
Mineralogi

Pola difraksi sinar X pada enam sampel bentonit dapat dilihat pada Gambar 4. Puncak refleksi pada sudut 2-theta dengan nilai d_{hkl} 15,01Å memperlihatkan indikasi kehadiran smektit jenis montmorillonite. Selain itu, keberadaan montmorillonite juga diperkuat dengan munculnya puncak difraksi dengan nilai d_{hkl} 4,45Å dan 3,02Å. Diindikasikan bahwa feldspar terutama dari kelompok plagioklas merupakan mineral primer yang dideteksi pada semua sampel. Keterdapatannya ditandai dengan munculnya intensitas refleksi maksimum pada sudut 2-theta 27,82° atau nilai d_{hkl} 3,19Å. Demikian pula puncak refleksi dengan nilai d_{hkl} 4,03Å; 3,73Å dan 2,93Å adalah karakteristik difraksi dari plagioklas. Selain plagioklas mineral-mineral lain yang terdeteksi adalah kuarsa [SiO_2] dengan nilai d_{hkl} 3,34Å; 2,28Å dan 1,82Å. Sementara itu, kalsit [CaCO_3] dapat dideteksi dengan munculnya peak dengan nilai d_{hkl} 3,02Å dan 2,32Å. Kehadiran mineral oksida besi yakni maghemit [$\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$] ditandai dengan puncak refleksi pada sudut 35,6° 2-theta (d_{hkl} ~2,51Å).

Konfirmasi lebih lanjut mengenai kehadiran montmorillonit dilakukan dengan memindai sampel lempung *oriented aggregate* dalam kondisi kering udara (Gambar 5) yang menunjukkan nilai d_{hkl} ~15,17Å. Setelah disolvasi dengan menggunakan larutan ethylene glycol, maka puncak difraksi bergeser ke kiri dengan nilai d_{hkl} ~16,60Å. Hasil pemindai XRD terhadap sampel yang telah dipanaskan pada suhu 550°C menunjukkan adanya penurunan intensitas refleksi dan bergeser ke kanan dengan nilai d_{hkl} turun menjadi 9,60Å.



Gambar 4. Pola difraksi sinar X sampel bentonit dari Kabupaten Bone Bolango



Gambar 5. Pola difraksi sinar X sampel clay KB-S9 yang menunjukkan mineral smektit jenis montmorillonit serta kehadiran mineral plagioklas dan kuarsa.

Komposisi Kimia

Komposisi kimia sampel bentonit asal Kabupaten Bone Bolango yang dilaporkan dalam basis *anhydrous* dapat dilihat pada Tabel 1. Kadar SiO_2 menunjukkan nilai tertinggi berkisar antara 50,64 sampai 53,21%, disusul oleh Al_2O_3 dengan kisaran kadar antara 30,08 sampai dengan 37,67%. Kedua unsur ini mendominasi komposisi kimia bentonit dengan nilai lebih dari 80%. Konsentrasi Fe_2O_3 menempati urutan ke tiga dengan kisaran kadar antara 4,73 sampai 9,08%. Berikutnya adalah kandungan CaO dengan nilai terendah adalah 2,62 dan tertinggi sebesar 9,98% pada sampel KBS-08.

Sementara itu, K₂O memiliki kadar rendah dengan nilai tertinggi 1,44%, sedangkan unsur-unsur lainnya seperti MgO, TiO₂ dan MnO umumnya memiliki kadar sangat rendah yakni kurang dari 0,82%. Nisbah SiO₂/Al₂O₃ menunjukkan nilai rendah dengan kisaran antara 1,38 dan 1,68.

Pembentukan Bentonit

Hasil pengamatan lapangan dan analisis laboratorium terhadap sampel bentonit mengindikasikan bahwa bentonit terbentuk akibat proses pelapukan kimia batuan vulkanik terutama andesit dan setempat trakit, tufa dan breksi vulkanik. Mineral utama andesit berupa plagioklas mengalami disolusi akibat aksi fluida dalam hal ini air meteorik melindih unsur-unsur mobil seperti Na, Ca dan K. Mekanisme pembentukan smektit pada proses hidrolisis mengikuti reaksi berikut (Arslan et al, 2010):



Tabel. 1. Hasil analisis komposisi kimia sampel bentonit dari Kabupaten Bone Bolango dengan metode XRF (basis anhydrous).

Oksida (%)	Kode Sampel					
	ST-05	ST-12	KBS-01	KBS-08	KBS-09	KBS-10
SiO ₂	52,94	51,01	52,83	50,64	52,66	53,21
Al ₂ O ₃	35,15	36,84	37,67	30,08	31,75	32,24
Fe ₂ O ₃	7,82	8,13	4,73	7,44	9,08	7,98
MgO	<0,01	0,31	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
CaO	2,89	2,73	2,62	9,98	4,72	5,06
K ₂ O	0,26	0,36	1,42	0,75	0,62	0,42
Na ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
TiO ₂	0,12	0,50	0,56	0,67	0,82	0,71
MnO	0,12	<0,01	0,04	0,12	0,18	0,16
Total oksida	99,30	99,87	99,88	99,68	99,83	99,78
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,51	1,38	1,40	1,68	1,68	1,65

Alterasi mineral feldspar dan gelas vulkanik dimulai dengan proses hidrolisis yang dikendalikan oleh proses difusi kemudian terjadi pertukaran ion. Secara kimia, Na hilang dan K meningkat. Namun jika alterasi berlanjut, maka K juga akan berkurang. Relatif tingginya kandungan CaO pada sampel mengindikasikan bahwa Ca selain disuplai oleh plagioklas, juga dapat berasal dari air meteorik yang melarutkan kalsit. Dengan demikian, bentonit di daerah studi termasuk tipe Ca-bentonit. Sebaliknya, kandungan MgO sangat rendah yang menunjukkan bahwa unsur ini sangat mobil selama alterasi berlangsung. Hasil analisis XRD menunjukkan kandungan montmorilonit rendah (<10%). Di lain pihak, intensitas pelapukan cukup tinggi akibat tingginya curah hujan. Namun demikian, pembentukan smektit tidak optimal yang disebabkan oleh kondisi pH air tanah yang relatif asam.

Potensi Pemanfaatan Bentonit Bone Bolango

Bentonit di Kabupaten Bone Bolango dicirikan oleh kandungan smektit rendah dan termasuk Ca-Bentonit yang tidak mengembang (*non swelling*). Dengan demikian, maka bentonit ini kurang cocok digunakan sebagai bahan baku dalam campuran lumpur pemboran. Sebaliknya, bentonit di daerah penelitian masih dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan keramik karena memiliki kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ yang tinggi. Demikian pula untuk bahan penyerap (absorbent). Namun perlu dilakukan aktivasi terlebih dahulu sebelum diterapkan sebagai bahan penyerap. Tingginya kandungan mineral pengotor dapat menghambat penggunaan bentonit dari Kabupaten Bone Bolango. Selain itu kehadiran unsur besi dalam jumlah yang signifikan dapat menurunkan kualitas bahan baku dalam pembuatan keramik.

KESIMPULAN

Endapan bentonit di Kabupaten Bone Bolango tersebar di sejumlah lokasi dan dijumpai pada tebing-tebing jalan. Kandungan mineral smektit jenis montmorilonit rendah (<10%) dan termasuk jenis Ca-smektit dengan mineral pengotor berupa plagioklas, kuarsa, kalsit dan oksida besi. Bentonit ini ditapsirkan terbentuk dari proses alterasi batuan vulkanik (andesitik) yang banyak mengandung mineral feldspar serta gelas vulkanik. Tingkat pelapukan yang intensif tidak diikuti oleh pembentukan bentonit secara optimal disebabkan oleh kondisi pH air tanah yang relatif asam.

Bentonit di Kabupaten Bone Bolango bersifat kurang mengembang sehingga kurang baik digunakan sebagai material dalam campuran lumpur pemboran. Namun masih dapat digunakan sebagai bahan pembuatan keramik serta bahan penyerap yang didahului oleh proses aktivasi

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Hasanuddin atas pemberian Hibah Penelitian Dosen Penasehat Akademik (PDPA) tahun 2020. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Sdr. Muhardi Jaya ST (Mining Engineer, PT. Mining Consultant, Gorontalo) atas bantuannya selama pengambilan sampel di lapangan. Terima kasih juga disampaikan kepada Sdr. Indra Bagaskara atas bantuannya dalam menganalisis XRD dan XRF.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M. dan Sudradjat, A., 1997, Bentonit (dalam Bahan Galian Industri, Editor: Suhala, S. dan Arifin, M.), Puslitbang Tekmira, Bandung.
- Arslan, M., Abdioglu, E. and Kadir, S., 2010, Minerlaogy, Geochemistry, and origin of Bentonite in Upper Cretaceous Pyroclastic Units of The Tirebolu Area, Giresun, Northeast Turkey, *Clays and Clay Minerals*, Vol.58, pp. 120 – 141.
- Brigatti, M.F., Galan, E., and Theng, B.K.G., 2006, Structures and Mineralogy of Clay Minerals (In Handbook of Clay Science: Bergaya, F., Theng B.K.G. and Lagaly, G, Editors), Elsevier, pp. 19-86.
- Choo, K.Y., and Bai, K., 2016, The effect of the mineralogical composition of various bentonites on CEC values determined by three different analytical methods, *Applied Clay Science*, Vol. 126, pp. 153-159.
- Cristidis, G.E. and Huff, W.D., 2009, Geological Aspects and Genesis of Bentonites, *Elements*, Vol.5, pp. 93-98.
- Eberl, D., 2003., User's Guide to RockJock – A Program For Determining Quantitative Mineralogy from Powder X Ray Diffraction Data., US Geological Survey, Open File Report 03 – 78, 55 p
- Grim, R.E., and Guven, N., 1978, *Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses*, Elsevier, Amsterdam, 256 p.
- Harvey, C.C and Lagaly, G., 2006., Conventional application (In Handbook of Clay Science: Bergaya, F., Theng B.K.G. and Lagaly, G, Editors), Elsevier, pp. 501-541.
- Huff, W.D., 2016, K-Bentonites: A Review, *American Mineralogist*, Vol. 101, pp. 43-70.
- Kaufhold, S., Dohrmann, R., Ufer, K., Meyer, F.M., 2002, Comparison of Methods for the Quantification of Montmorillonite in Bentonites, *Applied Clay Science*, Vol.22, pp. 145 – 151.
- Odom, I.E., 1984, *Smectites Clay Minerals: Properties and Uses*, Phil Trans. R. Soc. Lond. A311, pp. 171-189.
- Moore, D.M, and Reynolds, R.C., 1997, *X-ray diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, Oxford University Press, New York, 376 p.
- Murray, H.H., 2007, *Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Applicaion of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays*, Elsevier, Amsterdam.

- Panjaitan, R.R., 2010., Kajian penggunaan bentonit dalam industri, Vol. XLV, No.3, pp. 22-28. ([lib.kemenperin.go.id › neo › download_artikel](http://lib.kemenperin.go.id/neo/download_artikel))
- Pusat Sumberdaya Geologi., 2019, Executive Summary Pemutakhiran Data dan Neraca Sumberdaya Mineral dan Batubara Status 2018 (<http://psdg.geologi.esdm.go.id/images/stories/neraca/2018/ExSumNeracaMinerba2018.pdf>), diakses tanggal 11 November 2018.
- Reddy, K.R., Ravindranadh, K., Reddy, C.V., Babu, B., Naveen, S., and Raghu, A.V., 2019, Recent advances in layered clays intercalated polymer nanohybrids: Synthesis strategies, properties, and their applications (In *Modified Clay and Zeolite Nanocomposite Materials*), pp.197-217.
- Srodon, J., Drits, V.A., McCarty, D.K., Hsieh, J.C.C. and Eberl, D.D., 2001, Quantitative XRD analysis of clay-rich rocks from random preparations. *Clays and Clay Minerals*, Vol. 49, pp. 514-528.
- Srodon, J., 2002., Quantitative mineralogy of sedimentary rocks with emphasis on clays and with applications to K-Ar dating., *Mineralogical Magazine*, Vol.66 No.5, pp. 677-687.