

## Karakterisasi Komposisi Mineral *Mud Vulcano* Desa Napan Kawasan Perbatasan Republik Indonesia – Republic Democratic Timor Leste dan Potensi Pemanfaatannya

Gebhardus Djugian Gelyaman\*, Eduardus Edi

Program Studi Kimia, Fakultas Pertanian, Universitas Timor, Jl. KM 09, Kelurahan Sasi, Kefamenanu, Timor Tengah Utara, Nusa Tenggara Timur

\*Penulis korespondensi: [hagigelyaman@gmail.com](mailto:hagigelyaman@gmail.com), [dgelyaman@unimor.ac.id](mailto:dgelyaman@unimor.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v8.n2.29514>

**Abstrak:** Penelitian karakterisasi kimia terhadap lumpur volcano (*mud volcano*) desa Napan yang merupakan kawasan perbatasan negara Indonesia dan Timor Leste telah dilakukan. Karakterisasi dilakukan menggunakan instrumentasi XRD, FTIR, XRF. Karakterisasi bertujuan untuk mengetahui komposisi mineral-mineral dalam lumpur sehingga dapat mengeksplorasi potensi pemanfaatan lumpur tersebut berdasarkan pada studi literatur riset-riset sejenis yang telah dilakukan. Hasil karakterisasi memperlihatkan penyusun lumpur adalah  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Re}_2\text{O}_7$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  yang menyusun mineral-mineral besar yaitu kaolinit, gipsit, kuarsa, kristobalit, ilit, hematit, alumina (corundum). Terdapat tiga mineral yang mendominasi kandungan lumpur yaitu  $\text{SiO}_2$  (52%) diikuti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\pm 20,55\%$ ) dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\pm 15,5\%$ ). Lumpur tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti substituen semen, adsorben, katalis, sumber silika, zeolite, briket, silika gel dan aerogel.

**Kata kunci:** lumpur, vulcano, Napan, FTIR, XRD, XRF

**Abstract:** Characterization of chemical composition of mud volcano in the village of Napan, the border area of Indonesia and Timor Leste, has been carried out. The characterization was carried out using XRD, FTIR, and XRF instrumentation. The characterization aims to determine the composition of the minerals in the sludge. Therefore, it could explore the potential use of the sludge based on literature searches of similar studies that have been carried out. The characterization results show that the constituents of the sludge are  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Re}_2\text{O}_7$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  which compose large minerals namely kaolinite, gibbsite, quartz, cristobalite, illite, hematite, alumina (corundum). There were three minerals that dominate the mud, but the most abundant is  $\text{SiO}_2$  (52%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\pm 20,55\%$ ) and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\pm 20,55\%$ ). The sludge can be used for various purposes, such as cement substituents, adsorbents, catalysts, silica sources, zeolite, briquettes, silica gel and aerogel.

**Keywords:** mud, vulcano, Napan, FTIR, XRD, XRF

### PENDAHULUAN

Semburan lumpur (*mud volcano*) di kawasan perbatasan antara Republik Indonesia (RI) dan Republic Democratic Timor Leste (RDTL), tepatnya di desa Napan, telah muncul sejak tahun 2007. Desa Napan terletak di bagian utara pulau Timor yang merupakan wilayah Pemerintahan Kabupaten Timor Tengah Utara - Propinsi Nusa Tenggara Timur. Sebagian besar wilayah desa Napan adalah perbukitan. Penelitian Barber *et al.* (1977) memperlihatkan bahwa wilayah tersebut berada pada dua tipe pembentukan batuan meliputi Maubisse dan Bobonaro, dengan usia berturut-turut adalah 290 - 230 dan 25,2 - 5 Juta tahun lalu. Batuan gunung api dan gamping adalah penyusun tipe maubise sedangkan batuan mélange menyusun tipe bobonaro. Kedua tipe tersebut adalah segmen bagian besar atau patahan naik Lolotoi *et al.* (1977) menyatakan bahwa

seluruh pulau Timor termasuk desa Napan terletak di tapak busur Banda dan subduksi Australia. Grady & Berry (1977) melaporkan bahwa pulau Timor adalah fragmen yang terbagi dari lempeng Australia Utara. Hal ini dikonfirmasi oleh kemiripan fosil batuan di area landas benua Australia dan pulau Timor.

Semburan lumpur di desa Napan terjadi karena partikel padat berukuran kecil misalnya lempung atau pasir halus tersuspensi ke dalam air, yang mana kandungan zat cair melebihi batas cair, sehingga dapat bergerak (*flow mud*) ketika terjadi gaya tambahan. Gerakan lumpur dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah disebabkan gaya gravitasi bumi. Gerakan lumpur dari dalam bumi ke permukaan bumi atau dari tempat yang rendah ke tempat yang tinggi disebabkan tekanan gas yang terperangkap dalam bumi terhadap lumpur yang ada di sekitar gas tersebut. Tekanan gas ini akan semakin

kuat oleh pergeseran lapisan tanah yang mempersempit ruang gas tersebut. Tekanan ke permukaan juga dapat disebabkan oleh pemampatan lapisan tanah kering yang mendesak campuran material cair ini untuk bergerak ke permukaan tanah. Asqueli (2020) menyatakan bahwa erupsi lumpur desa napan secara geologi disebabkan oleh pergerakan fraktur mendatar dengan vektor Timur Laut ke Barat daya. Pergerakan tersebut menghasilkan celah yang membantu lumpur dalam tanah yang terdesak oleh tekanan tinggi zat cair keluar ke permukaan bumi.

Erupsi lumpur desa Napan merupakan *mud vulcano* terbesar dibandingkan erupsi lain yang terjadi pada beberapa daerah di propinsi Nusa Tenggara Timur (Leo dkk. 2015). Semburan ini telah menghasilkan 38 lubang dan masih aktif hingga tahun 2020. Lumpur mud vulcano yang terakumulasi dan kering telah membentuk gundukan setinggi kurang lebih 2 - 4 meter. Lumpur yang keluar terasa sejuk, berwarna keabu-abuan tersusun oleh air, gas, lempung, pasir. Permukaan tanah di sekitar titik semburan terus bergerak ke bawah dan menjadi semakin rendah. Area munculnya titik-titik semburan tidak hanya ditemui di desa Napan namun juga meluas hingga masuk pada distrik Oeccusi wilayah negara RDTL yang terletak bersebelahan dengan desa Napan.

Aktivitas *mud vulcano* di desa Napan sulit dihentikan selain oleh berakhirnya proses semburan lumpur itu sendiri. Semburan lumpur secara terus menerus berpotensi mengganggu aktifitas warga misalnya penggenangan lumpur pada fasilitas pelayanan publik, penutupan lumpur pada pemukiman warga serta lahan-lahan pertanian. Oleh karena itu, bertambahnya volume lumpur tersebut perlu dikurangi dengan cara memanfaatkannya.

Kajian pemanfaatan lumpur mud vulcano desa Napan belum banyak dilaporkan. Hal ini terjadi karena masih sangat sedikit publikasi tentang komposisi dari mineral lumpur tersebut. Naikofi dkk. (2017) hanya melaporkan komposisi lumpur tersebut berdasarkan kajian ilmu geologi dan belum melaporkannya secara rinci menurut kajian ilmu kimia. Walaupun demikian, kandungan mineral lumpur tersebut dapat diprediksi dengan membandingkan komposisinya terhadap erupsi sejenis misalnya *mud vulcano* lumpur Sidoarjo yang telah banyak dipublikasikan. Al Bakri *et al.* (2012) melaporkan bahwa lumpur Sidoarjo berisikan senyawa-senyawa oksida seperti aluminium oksida, silika dioksida, kalium oksida, titanium oksida, hematit, kalsium oksida, mangan oksida, fosforus pentoksida, sulfur oksida dan vanadium pentoksida. Mustopa & Risanti (2013) dalam penelitian yang berbeda dengan Putri dkk. (2019), keduanya melaporkan hal yang sama terkait komposisi mineral lumpur Sidoarjo. Seluruh hasil penelitian tentang komposisi menunjukkan bahwa silika dioksida adalah

mineral paling dominan dalam lumpur diikuti dengan besi oksida dan aluminium oksida.

Kandungan mineral dalam *mud vulcano* dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Penelitian pemanfaatan *mud vulcano* misalnya sebagai bahan pembuatan keramik oleh karena ikatan siloksan yang terbentuk setelah pemanasan di atas temperatur 900°C. Mineral tersebut juga berpotensi dijadikan sebagai gerabah jika kandungan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih besar dari 0,5% karena besi berkontribusi terhadap warna merah yang muncul setelah pembakaran lumpur (Gonggo dkk. 2013). Mineral tersebut berpotensi sebagai adsorben karena memiliki pori (Mustopa & Risanti 2013). Selain itu, kandungan silika, besi dan alumina merupakan bahan baku bangunan seperti bata merah, beton geopolimer dan semen portland (Mustopa & Risanti 2013). Mahardika *et al.* (2017) berhasil memanfaatkan lumpur Sidoarjo sebagai sumber silika untuk mensintesis zeolit MCM - 41. Zeolit adalah material berpori yang terbentuk dari ikatan alumina dan silikat. Zeolit tersebut diimbangkan logam Ca melalui metode impregnasi untuk dijadikan sebagai katalis dalam transesterifikasi minyak goreng bekas. Rosanti (2016) telah melaporkan bahwa lumpur *mud vulcano* dapat dijadikan campuran dalam pembuatan bata ringan karena kandungan mineral silika, besi dan alumina yang tinggi dapat bertindak sebagai material pozzolan. Material pozzolan dengan bantuan air menjadi mudah berikatan dengan kalsium hidroksida menghasilkan kalsium aluminat terhidrat. Senyawa ini akan meningkatkan kekerasan dari semen bata ringan.

Berdasarkan uraian sebelumnya maka diketahui bahwa lumpur *mud vulcano* di suatu daerah telah banyak digunakan sebagai material-material yang lebih bermanfaat. Namun, lumpur desa Napan belum dimanfaatkan secara optimal karena belum ada data rinci tentang komposisi lumpur tersebut. Oleh karena itu, peneliti tertarik mengkarakterisasi komposisi lumpur ini secara kimia menggunakan instrument X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffractometry (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Data yang diperoleh menjadi dasar kajian pemanfaatan lumpur tersebut.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan adalah lumpur kering dari mud volcano desa Napan.

### Alat

Peralatan yang digunakan meliputi alat gelas Pyrex, ayakan 200 mesh, FTIR tipe Thermoscientific Nicoled iS 10 (8400 Shimadzu) dengan bilangan gelombang 400-4000 cm<sup>-1</sup>, XRD Philips X-pert Powder Diffractometer tipe X'Pert Pro-Pan Analytical dengan radiasi Cu (K $\alpha$  = 1,54060) dan tegangan operasi alat adalah 30mA dan 40 kV, MiniPal 4 spektrometer Energy-Dispersive X-ray

Fluorescence (EDXRF) merek PAN Analytical yang dioperasikan dengan tegangan 30 kV.

### Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan me-review hasil-hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan *mud vulcano* dan *flow mud* yang pernah terjadi pada beberapa daerah di Indonesia dan di Desa Napan baik menyangkut pengukuran sifat fisiknya maupun metode karakterisasi mineraloginya. Studi literatur dilakukan saat awal penelitian hingga penyusunan laporan akhir penelitian.

### Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk mengamati secara langsung kondisi *mud vulcano* atau *flow mud* yang terjadi di desa Napan. Lumpur ini muncul di area kantor kecamatan Bikomi Utara dengan enam titik semburan yang berdekatan dengan jarak  $\pm$  5-10 meter. Pengambilan sampel dilakukan terhadap semua titik semburan tersebut.

### Pengambilan Sampel

Sampel disampling dengan cara mengambil sejumlah lumpur segar dari beberapa endapan yang terbentuk dan dicampur menjadi satu campuran. Lumpur kemudian dikering-anginkan untuk dipreparasi sebelum dikarakterisasi.

### Preparasi dan Karakterisasi Sampel

Sampel yang telah dikeringkan di udara terbuka, digerus menggunakan mortar dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Kemudian sampel diberikan 2 perlakuan yaitu tanpa dan dengan pemanasan. Sebanyak 5 gram sampel dipanaskan pada suhu 110°C selama 3 jam kemudian dikeluarkan dan dibiarkan dingin. Sampel ditimbang sebelum pemanasan dan setelah pemanasan untuk melihat perubahan berat saat pemanasan. Perlakuan ini dijadikan triplo dengan tujuan untuk dianalisis menggunakan FTIR, XRD dan XRF. Sampel tanpa pemanasan juga disertakan untuk dikarakterisasi menggunakan instrumen-instrumen tersebut. Preparasi sampel dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Timor dan

karakterisasi dilaksanakan di laboratorium mineral Institut Sepuluh November.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Studi Literatur

Penelusuran literatur memperlihatkan *mud volcano* di desa Napan secara visual menyerupai mud volcano yang terjadi di Kuwu dan di Kesongo (Burhannudinnur dkk. 2012). Sifat fisik lumpur desa Napan telah dipublikasikan Naikofi dkk. (2017) serta Widjaja & Dewanto (2017) masing-masing dalam penelitian yang berbeda. Naikofi dkk. (2017) melaporkan bahwa berat jenis (Gs), batas plastis (PL), batas cair (LL) dan indeks plastis (PI) masing – masing berturut-turut adalah 2,78; 19,35; 20,30 dan 1,05. Nilai viskositas ( $\eta$ ) mudflow ini adalah 1,25 Pa.s. dan yield stress ( $\tau_y$ ) adalah 2,98 kPa. Penelitian yang dilakukan Widjaja & Dewanto (2017), melaporkan bahwa aliran lumpur bergerak ke Timur dan Utara dengan kadar air, berat jenis (Gs), batas plastis (PL), batas cair (LL) dan indeks plastis (PI) masing – masing sebesar 22,1% ; 2,77; 15,84; 23,00 dan 7,16.

### Hasil Observasi Lapangan

Pengamatan lapangan terhadap *mud vulcano* di desa Napan ditemukan bahwa semburan lumpur masih aktif dan endapan lumpur telah membentuk gundukan yang cukup tinggi. Gundukan menyerupai miniatur gunung berapi yang ditampilkan pada Gambar 1.

Gundukan endapan lumpur yang telah kering saat ini berjumlah 5 gundukan besar dengan tinggi sekitar 2-4 meter dan diameter 1-3 meter. Lumpur mud volcano ini, berdasarkan Gambar 1, berwarna abu-abu gelap saat basah dan abu-abu terang saat kering. Lubang pada gundukan tersebut memiliki diameter sekitar 5-15 cm. Morfologi gundukan tersebut dikategorikan ke dalam morfologi Gryphon. Selain morfologi Gryphon terdapat juga beberapa semburan kecil yang baru muncul 1 tahun terakhir dan menampilkan morfologi pie dengan ukuran 0,5-1 meter. Deskripsi morfologi Gryphon dan pie telah dipublikasikan oleh Burhannudinnur dkk.(2012).



**Gambar 1.** Gundukan mudvulcano desa Napan TTU NTT dengan morfologi : (a) Gryphon, (b) pie

### Hasil Pengambilan Sampel

Sampel disampling pada beberapa gundukan lumpur baik lumpur segar maupun lumpur kering. Sampel-sampel ini dicampur menjadi satu bagian dan dijemur hingga kering. Sampel dalam keadaan basah berwarna abu-abu gelap sedangkan sampel kering berwarna abu-abu terang. Sampel-sampel yang basah setelah kering akan berwarna sama dengan sampel kering yaitu abu-abu terang.

### Hasil Preparasi Sampel

Warna sampel sebelum dan setelah pemanasan tetap berwarna abu-abu cerah. Sampel-sampel tidak mengalami perubahan massa yang cukup berarti yaitu 5 gram baik sebelum pemanasan maupun setelah pemanasan yang data-datanya dirangkum dalam Tabel 1.

Berdasarkan nilai perhitungan selisih massa sebelum dan setelah pemanasan sampel, teramati bahwa perubahan berat hanya sekitar  $0,18 \pm 0,01$  gram. Jika nilai ini dibandingkan dengan berat awal maka presentasi massa yang berkurang hanya sebesar 3,6%. Kemungkinan kehilangan massa tersebut berasal dari air dalam sampel yang menguap akibat pemanasan. Warna yang tidak berubah mengindikasikan bahwa mineral dalam sampel tidak mengalami perubahan fase akibat pemanasan pada temperatur  $110^{\circ}\text{C}$ . Hal ini menyerupai karakter lumpur Sidoarjo yang tidak mengalami perubahan warna pada pemanasan di bawah  $200^{\circ}\text{C}$ , namun akan berubah warna ketika dipanaskan hingga mencapai temperatur  $400\text{-}600^{\circ}\text{C}$  sebagai indikator terjadinya dehidrosilasi (Mustopa & Risanti 2013).

**Tabel 1.** Data perhitungan perubahan massa sampel sebelum dan setelah pemanasan

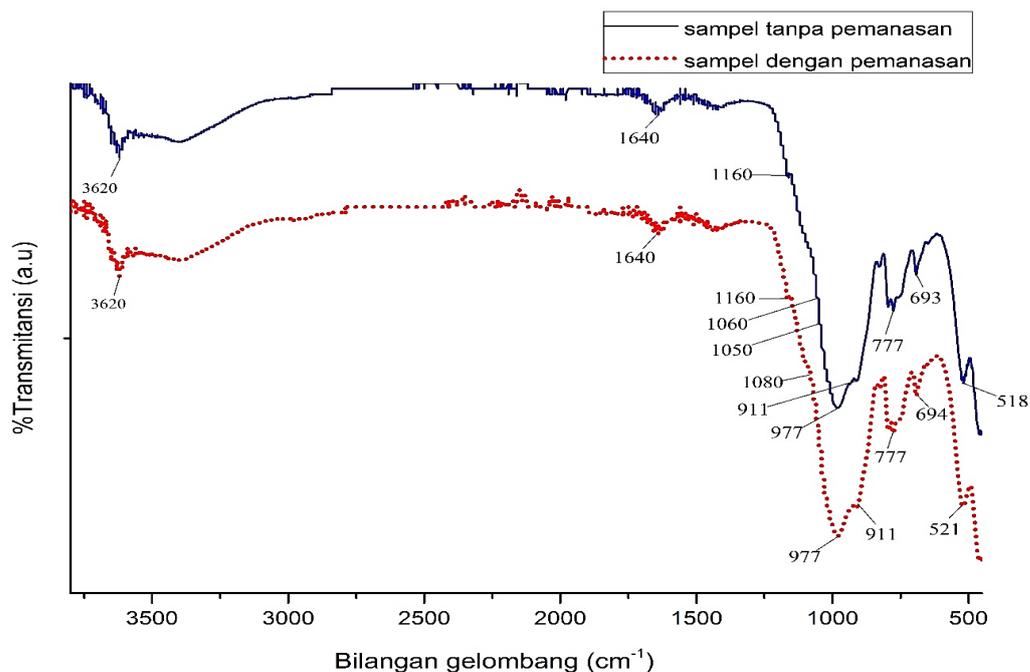
Ulangan (n)	Ma (gram)	Msp (gram)	Sm (gram)
1	5	4,82	0,18
2	5	4,81	0,19
3	5	4,82	0,18

Ma = massa awal, Msp = massa setelah pemanasan, Sm = selisih massa Ma – Msp

### Hasil Analisis FTIR

Spektra FTIR pada dua sampel dalam Gambar 2 menampilkan sedikit pergeseran titik serapan. Walaupun demikian, spektra kedua sampel tersebut menampilkan pola atau bentuk yang serupa. Hal ini mengindikasikan bahwa pemanasan dengan temperatur  $110^{\circ}\text{C}$  tidak mengubah secara signifikan ikatan antar atom dalam sampel-sampel tersebut. Spektra FTIR dari kiri ke kanan pada bilangan gelombang  $3900 - 450 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan serapan-serapan yang diduga adalah vibrasi dari ikatan O-H, Si-O-Si, Al-O-Al, Si-O-Al yang akan dijelaskan lebih rinci pada paragraf selanjutnya.

Serapan pada bilangan gelombang  $3620 \text{ cm}^{-1}$  dari masing – masing sampel menunjukkan adanya vibrasi ulur O-H yang sedikit bergeser jika dibandingkan dengan literatur yaitu  $3621 \text{ cm}^{-1}$  (Razak *et al.* 2015). Serapan pada  $1640 \text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan dari vibrasi tekuk ikatan H-O-H



**Gambar 2.** Spektra FTIR Sampel Mudvulcano desa Napan

yang juga sedikit bergeser jika dibandingkan dengan referensi acuan yaitu  $1638\text{ cm}^{-1}$  (Razak *et al.* 2015). Hal ini menginformasikan bahwa terdapat molekul  $\text{H}_2\text{O}$  yang masih terjebak dalam kisi kristal mineral (Sunardi *et al.* 2009). Kemungkinan lain adalah terserapnya uap air dari udara ke dalam sampel. Hal ini terjadi karena sampel terpapar udara lembab selama penanganan sebelum analisis dengan instrument FTIR.

Serapan pada  $1160\text{ cm}^{-1}$  dari sampel tanpa dan setelah pemanasan menginformasikan tentang adanya ikatan Si-O (Downs 2020). Hal ini didukung dengan serapan pada  $1060; 1050\text{ cm}^{-1}$  untuk sampel tanpa pemanasan dan  $1080\text{ cm}^{-1}$  untuk sampel dengan pemanasan, yang menunjukkan ikatan Si-O (Downs 2020) dan vibrasi ulur asimetris internal O-T-O (Sunardi *et al.* 2009). Ikatan O-T-O artinya dua atom O yang berikatan dengan T, yang mana T simbol dari atom Si atau Al. Hadirnya Al dan Si juga didukung oleh serapan pada  $977\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan vibrasi rentangan asimetris T-O-T Sunardi *et al.* (2009) memperlihatkan bahwa serapan T-O-T tersebut adalah serapan tajam yang sering muncul pada rentang  $950 - 1250\text{ cm}^{-1}$ .

Vibrasi tekuk Al-OH menurut Sunardi *et al.* (2009) muncul pada sekitar  $910\text{ cm}^{-1}$ , namun pada penelitian ini muncul pada  $911\text{ cm}^{-1}$  untuk sampel pemanasan maupun tanpa pemanasan. Serapan kedua sampel pada bilangan gelombang  $777\text{ cm}^{-1}$

menandakan vibrasi ulur simetri Si-O-Si, menurut Downs (2020) serta (Carlos & Vasconcelos 2020). Sumber lain menyatakan vibrasi ulur simetri Si-O-Si muncul di sekitar  $778\text{ cm}^{-1}$  (Razak *et al.* 2015)

Serapan pada  $693\text{ cm}^{-1}$  dari sampel tanpa pemanasan, yang juga teramati dari sampel dengan pemanasan pada  $694\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi tekuk Si-O (Downs 2020; Carlos & Vasconcelos 2020). Serapan – serapan tersebut kemungkinan lain menunjukkan ikatan Si-O-Al yang menurut (Razak *et al.* 2015) muncul di sekitar angka  $695\text{ cm}^{-1}$ .

Serapan pada  $518\text{ cm}^{-1}$  untuk sampel tanpa pemanasan dan serapan pada  $521\text{ cm}^{-1}$  untuk sampel dengan pemanasan adalah serapan dari ikatan Si-O yang menurut Carlos & Vasconcelos (2020) muncul pada  $522\text{ cm}^{-1}$ . Informasi lain diberikan oleh Madejová (2003) yang melaporkan bahwa serapan di sekitar  $520\text{ cm}^{-1}$  adalah serapan dari vibrasi ulur Si-O-AlVI. Aluminium VI atau  $\text{Al}^{\text{VI}}$  merupakan penulisan untuk Al dalam struktur oktahedral. Serapan  $\text{Al}^{\text{VI}}$  menurut Toledo *et al.* (2018) sering muncul pada rentang daerah bilangan gelombang  $500 - 750\text{ cm}^{-1}$ .

Spektra sampel paling banyak menghadirkan serapan pada daerah  $400 - 1000\text{ cm}^{-1}$  dibanding pada daerah lebih besar dari  $1000\text{ cm}^{-1}$ , umumnya rentang daerah ini merupakan serapan untuk material anorganik. Fenomena tersebut disebabkan ikatan

**Tabel 2.** Identifikasi gugus-gugus Spektra FTIR *Mudvulcano* Desa Napan

Bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )		Interpretasi vibrasi beserta acuan teoritis ( $\text{cm}^{-1}$ )	Referensi
Sampel tanpa pemanasan	Sampel dengan pemanasan		
3620	3620	OH <i>ulur</i> (3621)	(Razak <i>et al.</i> 2015)
1637	1637	H-O-H <i>tekuk</i> (1638)	(Razak <i>et al.</i> 2015)
1160	1160	Si-O (1162)	(Downs 2020)
1060 ; 1050	1080	Si-O (1058/1078)	(Downs 2020)
		O-T-O rentangan asimetris internal (1064)	(Sunardi <i>et al.</i> 2009)
977	977	T-O-T rentangan asimetris eksternal (950 -1250)	(Sunardi <i>et al.</i> 2009)
911	911	vibrasi tekuk Al-OH (910)	(Irawati dkk. 2013)
776 ; 777	776 ; 777	Si-O-Si stretching symmetry (777; 778)	(Downs 2020; Carlos & Vasconcelos 2020; Razak <i>et al.</i> 2015)
693	694	Si-O bending (694) Al-O-Si (695)	(Downs 2020; Carlos & Vasconcelos 2020; Razak <i>et al.</i> 2015)
517 ; 518	521	Si-O (522) vibrasi ulur Si-O-AlVI (520) $\text{Al}^{\text{IV}}$ (500 – 750)	(Carlos & Vasconcelos 2020; Madejová 2003) (Toledo <i>et al.</i> 2018)

Keterangan: T = Si atau Al,  $\text{Al}^{\text{VI}}$  = Al oktahedral

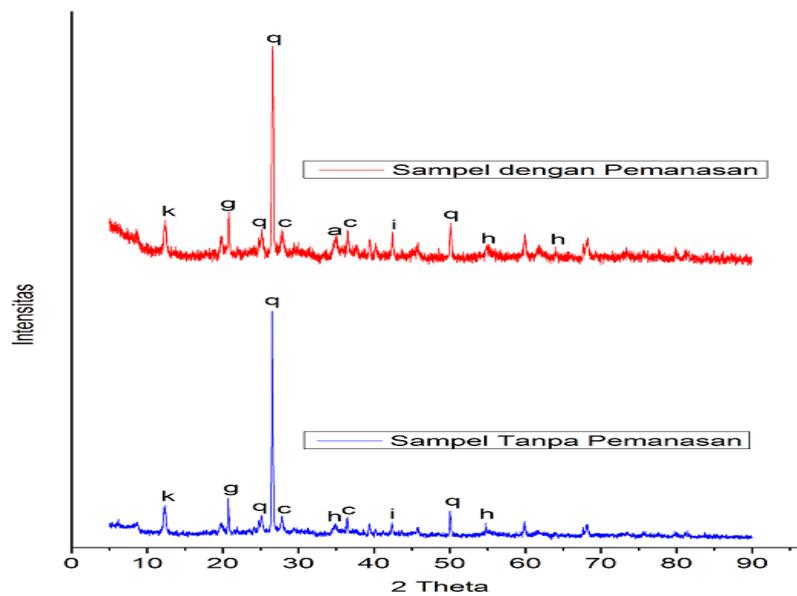
dalam Si-O atau Al-O cukup kuat di mana ikatannya hanya dapat divibrasikan oleh energi gelombang pada daerah tersebut. Selain itu, terjadi serapan yang tumpang tindih antara Al-O dan Si-O dalam T-O-T maupun O-T-O sehingga spektra masing-masing ikatan tidak terpisah dan tidak dapat diuraikan secara lebih spesifik. Interpretasi secara keseluruhan yang telah dijelaskan dirangkum dalam Tabel 2.

Berdasarkan interpretasi spektra FTIR di atas dapat dikatakan bahwa terdapat silikon dan aluminium dalam sampel yang diperkirakan berikatan dengan oksigen membentuk material-material oksida. Aluminium oksida kemungkinan berada dalam struktur oktahedral dan silika oksida

membentuk struktur tetrahedral. Oleh karena itu dapat diprediksi bahwa sampel mengandung kuarsa, kaolinit atau mineral lain yang mengandung alumina dan silikat. Walaupun demikian, data tambahan XRD dan XRF dibutuhkan untuk memprediksi komposisi mineral dalam sampel secara lebih akurat.

### Hasil Karakterisasi XRD

Difraktogram sinar X sampel lumpur desa Napan untuk perlakuan tanpa maupun dengan pemanasan menunjukkan pola serapan yang sama. Pola difraksi XRD seluruh sampel ditampilkan dalam difraktogram pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Difraktogram sampel lumpur kering dengan perlakuan pemanasan dan tanpa pemanasan. keterangan k = kaolinit, g = gibsit, q = kuarsa, c = kristobalit, i = ilit, h = hematit, a = alumina (corundum).

**Tabel 3.** Sudut 2 Theta dan d-spacing puncak serapan sampel

Sampel tanpa pemanasan		Sampel dengan pemanasan	
Sudut 2θ (derajat)	d-spacing (Å)	Sudut 2θ (derajat)	d-spacing (Å)
12,39	7,14	12,39	7,14
20,72	4,28	20,80	4,27
25,16	3,54	25,15	3,54
26,50	3,36	26,60	3,35
27,84	3,20	27,85	3,20
34,80	2,58	35,02	2,56
36,44	2,46	36,46	2,46
42,32	2,13	42,39	2,13
50,03	1,82	50,10	1,82
54,74	1,68	54,98	1,67
		64,03	1,45

Pola pada Gambar 3 menunjukkan bahwa pemanasan tidak mengubah komposisi kristalinitas mineral dalam sampel, mengingat mineral-mineral ini tidak terdegradasi pada pemanasan dengan temperatur 110°C (Mustopa & Risanti 2013). Puncak serapan sudut 2θ pada difraktogram diolah menggunakan persamaan  $2 d \sin \theta = n \lambda$  untuk mendapatkan nilai d-spacing. Hasil olahan data tersebut ditampilkan dalam Tabel 3.

Nilai d-spacing adalah khas untuk setiap mineral. Nilai ini menunjukkan jarak antar atom yang tersusun secara periodik dalam kisi kristal. Nilai d tersebut dicocokkan dengan literatur. Puncak tertinggi serapan kedua sampel muncul pada sudut 2θ sekitar 26,500 – 26,600 dengan nilai d-spacing 3,35 – 3,36. Puncak tertinggi ini merupakan serapan dari kuarsa yang dicocokkan dengan laporan (Sirappa & Sastiono 2002) terkait nilai d-spacing kuarsa berkisar 3,35 – 4,21 Å. Puncak tertinggi ini juga menginformasikan bahwa kuarsa menjadi mineral yang paling dominan dalam lumpur desa Napan.

**Tabel 4.** Perbandingan d-spacing sampel dan referensi

d-spacing sampel (Å)		d-spacing acuan (Å)	Mineral	Referensi
tanpa pemanasan	dengan pemanasan			
7,14	7,14	7,10 – 7,20	Kaolinit	
4,28	4,27	3,30 – 4,83	Gibsit	
3,54	3,54	3,35 – 4,21	Kuarsa	(Sirappa & Sastiono, 2002)
3,36	3,35	3,35 – 4,21	Kuarsa	
3,20	3,20	3,15 – 4,05	Kristobalit	
2,58	2,56	2,58/2,56	Hematit/Alumina	(Veal et al., 2006)
2,46	2,46	2,465	Kristobalit	(Mindat C, 2020)
2,13	2,13	2,132	Ilit	(Liew et al. 1985)
1,82	1,82	1,8179	Kuarsa	(Mindat Q 2020)
1,68	1,67	1,693	Hematit	(Dos Santos et al. 2016)
	1,45	1,453	Hematit	(Mindat H 2020; Dos Santos et al. 2016)

**Tabel 5.** Data XRF Komposisi mineral dalam sampel

Mineral	Persentasi komposisi sampel (%)		Unsur	Persentasi komposisi sampel (%)	
	Tanpa pemanasan	Dengan pemanasan		Tanpa pemanasan	Dengan pemanasan
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,00	16,00	Al	12,00	12,00
SiO <sub>2</sub>	52,00	52,00	Si	39,00	39,50
K <sub>2</sub> O	5,46	5,46	K	8,38	8,36
CaO	3,63	3,53	Ca	4,94	4,82
TiO <sub>2</sub>	2,03	2,03	Ti	2,37	2,39
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,08	V	0,08	0,08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,04	Cr	0,05	0,05
MnO	0,28	0,28	Mn	0,46	0,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,65	20,45	Fe	31,15	31,00
CuO	0,12	0,12	Cu	0,24	0,23
ZnO	0,05	0,05	Zn	0,10	0,10
Rb <sub>2</sub> O	0,09	0,09	Rb	0,21	0,21
SrO	0,15	0,15	Sr	0,31	0,30
ZrO <sub>2</sub>	0,13	0,12	Zr	0,23	0,22
BaO	0,15	0,10	Ba	0,30	0,20
Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,05	0,04	Re	0,08	0,08

Selain itu, serapan kuarsa kedua sampel juga muncul pada  $2\theta$  sekitar 250 dan 500 dengan nilai masing – masing d-spacing 3,54 dan 1,82 Å (Sirappa & Sastiono 2002; Mindat 2020).

Puncak serapan  $2\theta$  muncul pada sudut 12,390 dengan nilai d-spacing sebesar 7,14 Å menandakan

adanya kaolinit dalam sampel. Puncak pada 20,720 dengan d-spacing 4,28 Å untuk sampel tanpa pemanasan menandakan hadirnya gibsit. Puncak gibsit juga muncul untuk sampel yang dipanaskan pada 20,800 dengan d-spacing 4,27 Å. Serapan yang menandakan mineral kristobalit muncul pada 27,840

dan 36,440 untuk kedua sampel dengan nilai d-spacing masing-masing adalah 3,20 dan 2,46 Å.

Mineral hematit terdapat dalam sampel yang serapannya muncul pada 34,800 dengan d-spacing 2,58 Å. Lumpur ini juga mengandung alumina corundum ditandai dengan serapan pada 35,020 dengan d-spacing 2,56 Å. (Veal *et al.* 2006) melaporkan bahwa serapan hematit dan alumina seringkali muncul secara tumpang tindih. Hal ini ditandai dengan pembelahan puncak serapan pada  $2\theta$  sekitar  $34 - 35^\circ$  dengan nilai d-spacing 2,58 Å untuk hematit dan 2,56 Å untuk alumina. Serapan yang menandakan hematit juga muncul pada sudut sekitar 54,740 dan 54,980 untuk masing-masing sampel. Sampel dengan pemanasan juga menginformasikan adanya hematit dengan menampilkan serapan pada sudut  $2\theta$  sebesar 64,030 dengan nilai d-spacing sebesar 1,45 (Å) (Mindat 2020; Dos Santos *et al.* 2016). Mineral ilit juga terdeteksi dalam sampel. Secara keseluruhan hasil olahan data sudut  $2\theta$  dan nilai d-spacing sampel dibandingkan acuan literatur dirangkum pada Tabel 4.

Berdasarkan olahan data XRD maka dapat dikatakan bahwa sampel *mud vulcano* atau *flow mud* desan Napan mengandung kuarsa, kaolinit, gibsit, kristobalit, hematit, alumina dan ilit. Walaupun demikian, perlu data pendukung instrument XRF untuk mengkonfirmasi informasi data XRD tersebut.

### Hasil Karakterisasi XRF

Data XRF menjelaskan kepada kita tentang komposisi sampel. Hasil analisis memperlihatkan bahwa sampel mengandung mineral yang cukup beragam namun yang dominan adalah  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ . Komposisi mineral dalam sampel secara ringkas ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5 menginformasikan bahwa sampel tanpa pemanasan memberikan urutan komposisi mineral dari yang paling sedikit hingga paling banyak adalah  $Cr_2O_3 < Re_2O_7 = ZnO < V_2O_5 < Rb_2O < CuO < ZrO_2 < BaO = SrO < MnO < TiO_2 < CaO < K_2O < Al_2O_3 < Fe_2O_3 < SiO_2$ . Sampel dengan pemanasan memiliki komposisi berikut:  $Cr_2O_3 = Re_2O_7 < ZnO < V_2O_5 < Rb_2O < BaO < CuO = ZrO_2 < SrO < MnO < TiO_2 < CaO < K_2O < Al_2O_3 < Fe_2O_3 < SiO_2$ . Persentasi mineral  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $BaO$ ,  $Re_2O_7$  menurun setelah pemanasan namun penurunan tersebut sangat kecil dan tidak mengubah persentasi mineral yang dominan dalam lumpur. Hal ini menunjukkan bahwa sampel tersebut memiliki ketahanan panas hingga  $110^\circ C$ . Komposisi mineral dominan pada lumpur desa Napan hampir sama dengan lumpur lapindo di Sidoarjo yaitu mengandung mineral dominan adalah  $Al_2O_3 < Fe_2O_3 < SiO_2$  (Al Bakri *et al.* 2012; Putri dkk. 2019). Walaupun demikian, persentasi  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  dan  $SiO_2$  dalam lumpur desa Napan lebih banyak daripada lumpur Sidoarjo. Kemiripan komposisi mineral tersebut menjadikan lumpur desa Napan jika dipanaskan pada temperatur lebih tinggi dari  $110^\circ C$

akan mengalami perubahan fase menyerupai lumpur Sidoarjo seperti yang dilaporkan oleh Mustopa & Risanti (2013). Kandungan silika, hematit dan alumina sebelum dan setelah pemanasan memiliki presentasi rata – rata  $SiO_2$  ( $\pm 52\%$ ),  $Fe_2O_3$  ( $\pm 20,55\%$ ),  $Al_2O_3$  ( $\pm 15,5\%$ ).

Persentasi unsur-unsur yang berubah setelah pemanasan sangat kecil dan tidak mempengaruhi unsur-unsur komposisi utama dalam sampel. Persentasi unsur berdasarkan Tabel 5 menampilkan urutan 3 unsur yang paling dominan baik melalui pemanasan dan tanpa pemanasan adalah  $Al < Fe < Si$ .

Data XRF mengkonfirmasi data FTIR dan XRD yang menunjukkan bahwa terdapat  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  dalam lumpur desa Napan. Silika dan alumina tersebut berada dalam fase kuarsa, kaolinit, gibsit, ilit dan alumina dalam bentuk corundum. Data XRF juga menegaskan bahwa terdapat  $Fe_2O_3$  sebagai hematit dalam lumpur tersebut. Data – data tersebut menjadi dasar untuk mengeksplorasi potensi pemanfaatan lumpur desa Napan.

### Potensi Pemanfaatan Lumpur Desa Napan

Komposisi mineral lumpur desa Napan memiliki kemiripan dengan lumpur Sidoarjo. Dengan demikian, lumpur tersebut memiliki potensi pemanfaatan sama dengan lumpur Sidoarjo. Berdasarkan hasil analisis FTIR, XRD dan XRF *mudvulcano* diperoleh informasi bahwa ada banyak mineral teridentifikasi dalam lumpur tersebut namun terdapat tiga mineral yang persentasinya cukup tinggi yaitu silika, hematit dan alumina. Oleh karena itu, ketiga mineral tersebut paling berpotensi dieksplorasi pemanfaatannya berdasarkan penelitian-penelitian relevan yang telah dilakukan. Potensi pemanfaatan silika, hematit dan alumina diuraikan pada paragraf selanjutnya.

Kandungan silika dan alumina dalam lumpur desa Napan dapat dimanfaatkan sebagai material perekat dalam geopolimer guna meningkatkan kuat tekan suatu material. Hal ini didasarkan pada ikatan antara Si dan O maupun Al dan O yang dapat berpolimerisasi membentuk suatu polimer anorganik yang sangat kuat (Putri dkk. 2019). Lumpur desa Napan ini dapat menjadi sumber silika yang diekstraksi secara kontinyu oleh aliran larutan KOH (Fadli dkk. 2013) untuk dimanfaatkan sebagai prekursor pembuatan silika gel dan aerogel (Rosmawati dkk. 2013). Silika ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan zeolite Y (Toto 2016) dan juga dalam pembuatan amplas (Listiyani dkk. 2019).

Kandungan alumina dan silika yang tinggi dari *mud vulcano* desa Napan dapat dijadikan sebagai material keramik berpori (Ilyas 2012). Lumpur ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bangunan seperti bata merah, beton geopolimer dan semen portland (Mustopa & Risanti 2013), bahan pembuatan keramik (Gonggo dkk. 2013), berpotensi

sebagai adsorben dan katalis (Mahardika *et al.* 2017), bata ringan dan sebagainya (Rosanti 2016).

Mineral hematit, silika dan alumina beserta mineral runtu lainnya dalam lumpur dapat dijadikan sebagai substituen semen pada campuran pembuatan paving block (Wiryasa dkk. 2008), bata beton pejal (Wiryasa & Sudarsana 2009). Hadirnya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari lumpur pada bahan pembuatan briket dapat berperan sebagai katalis reduktor peningkat kalor pembakaran (Windya dkk. 2018).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uraian pada bagian pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa mud volcano desa Napan mengandung Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, ZnO, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Rb<sub>2</sub>O, CuO, ZrO<sub>2</sub>, BaO, SrO, MnO, TiO<sub>2</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> yang diperoleh dari data XRF. Senyawa-senyawa tersebut tergabung dan menyusun mineral-mineral besar yaitu kaolinit, gibsit, kuarsa, kristobalit, ilit, hematit, alumina (corundum). Terdapat tiga mineral yang mendominasi dalam lumpur namun paling banyak yaitu SiO<sub>2</sub> diikuti Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Lumpur dari aktivitas *mud volcano* desa Napan dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan yaitu substituen semen, adsorben, katalis, sumber silika, zeolite, briket, silika gel dan aerogel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al Bakri, A.M., Rafiza, A.R., Hardjito, D., Kamarudin, H. & Khairul Nizar, I. (2012). Characterization of LUSI mud volcano as geopolymer raw material. *Advanced Materials Research*. **548**: 82-86.
- Asqueli, V.J., 2020. Potensi Geowisata Erupsi Lumpur Gunung-api di Napan Bikomi Utara TTU. [gardamalaka.com](http://gardamalaka.com). URL <https://gardamalaka.com/2020/03/02/potensi-geowisata-erupsi-lumpur-gunung-api-di-napan-bikomi-utara-ttu/> (accessed 11.2.20).
- Barber, A.J., Audley-Charles, M.G. & Carter, D.J. (1977). Thrust tectonics in Timor. *Journal of the Geological Society of Australia*. **24(1-2)**: 51-62.
- Carlos & Vasconcelos, P. (2020). Quartz R050125 - RRUFF Database: Raman, X-ray, Infrared, and Chemistry. <https://rruff.info/quartz/display=default/R050125>. (Accessed 07/08/2020)
- Dos Santos, R., Patel, M., Cuadros, J. & Martins, Z. (2016). Influence of mineralogy on the preservation of amino acids under simulated Mars conditions. *Icarus*. **277**: 342-353.
- Downs, B. (2020). Quartz R040031 - RRUFF Database: Raman, X-ray, Infrared, and Chemistry. <https://rruff.info/quartz/display=default/R040031>. (Accessed 07/08/2020).
- Fadli, A.F., Tjahjanto, R.T. & Darjito, D. (2013). Ekstraksi Silika Dalam Lumpur Sidoarjo Menggunakan Metode Kontinyu. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*. **1(2)**: 182-187.
- Gonggo, S.T., Edyanti, F. & Suherman, S. (2013) Karakterisasi fisikokimia mineral lempung sebagai bahan dasar industri keramik di Desa Lembah Bomban Kecamatan Bolano Lambunu Kabupaten Parigi Moutong. *Jurnal Akademika Kimia*. **2(2)**: 105-113.
- Ilyas, M.A. (2012). Studi Pembuatan Keramik Berpori dari Lumpur Lapindo dengan Tanin sebagai Cetakan Pori. Disertasi. Universitas Brawijaya. Malang
- Irawati, U., Sunardi, S. & Suraida, S. (2013). Sintesis dan karakterisasi gamma alumina ( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dari kaolin asal Tatak Selatan berdasarkan variasi temperatur kalsinasi. *Molekul*. **8(1)**: 31-42.
- Leo, Novemy, Omdsmy, 2015. Asal-muasal Lumpur Vulkanik [WWW Document]. Pos Kupang. URL <https://kupang.tribunnews.com/2015/03/04/asal-muasal-lumpur-vulkanik> (Accessed: 26/08/2020)
- Liew, K.Y., Khoo, L.E. & Bong, K.T. (1985). Characterisation of bidor kaolinite and illite. *Pertanika*. **8**: 323-330.
- Listiyani, N., Dharmawan, A.P., Afifah, F. & Cahyaningrum, S.E. (2019). Pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai bahan baku pembuatan amplas. *Indonesian Chemistry and Application Journal*. **3(1)**: 24-27.
- Madejová, J. (2003). FTIR techniques in clay mineral studies. *Vibrational Spectroscopy*, **31(1)**: 1-10.
- Mahardika, I.B.P., Trisunaryanti, W., Triyono, T., Wijaya, D.P. & Dewi, K. (2017). Transesterification of used cooking oil using CaO/MCM-41 catalyst synthesized from Lapindo mud by sonochemical method. *Indonesian Journal of Chemistry*. **17(3)**: 509-515.
- Rosanti, W.M. & Winanti, E.T. (2016). Pemanfaatan lumpur Lapindo dan fly ash sebagai bahan campuran pada pembuatan bata beton ringan. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. **2**: 1-7.
- Mindat C, 2020. Cristobalite: Mineral information, data and localities. [WWW Document]. URL <https://www.mindat.org/min-1155.html> (accessed 7.8.20)
- Mindat H, 2020. Hematite: Mineral information, data and localities. [WWW Document]. URL <https://www.mindat.org/min-1856.html> (accessed 7.8.20)
- Mindat Q, 2020. Quartz: Mineral information, data and localities. [WWW Document]. URL <https://www.mindat.org/min-3337.html> (accessed 7.8.20)
- Mustopa, R.S. & Risanti, D.D. (2013). Karakterisasi sifat fisis lumpur panas Sidoarjo dengan aktivasi kimia dan fisika. *Jurnal Teknik ITS*. **2(2)**: F256-F261.
- Naikofi, M.I., Widjaja, B., Rahardjo, P.P. (2017). Studi reologi mudvolcano di desa Napan Pulau Timor dengan Flow Box Test. Presented at the 1st National Conference on Civil Engineering.

- Putri, K.Y., Iskandar, I., Ruhana, R., Miswar, M. & Fauzi, A. (2020). Pengaruh penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai substitusi material fly ash pada geopolimer. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. 3(1): 134.
- Razak, R.A., Abdullah, M.M.A.B., Hussin, K., Ismail, K.N., Hardjito, D. & Yahya, Z. (2015). Optimization of NaOH molarity, LUSI mud/alkaline activator, and Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH ratio to produce lightweight aggregate-based geopolymer. *International Journal of Molecular Sciences*. **16(5)**: 11629-11647.
- Rosmawati, A., Tjahjanto, R.T. & Prananto, Y.P. (2013). Variasi prosedur preparasi gel pada sintesis aerogel silika dari lumpur Lapindo. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*. **1(2)**: 161-167.
- Sirappa, M.P. & Sastiono, A. (2002). Analisis mineral lempung tanah regosol Lombok dengan menggunakan sinar-X dalam kaitannya dengan penentuan sifat dan cara pengelolaan tanah. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. **3(2)**: 1-6.
- Sunardi, S., Arryanto, Y. & Sutarno, S. (2009). Adsorption of gibberellic acid onto natural kaolin from Tatakan, South Kalimantan. *Indonesian Journal of Chemistry*. **9(3)**: 373-379.
- Toledo, R.R., Santoyo, V.R., Sánchez, D.M. & Rosales, M.M. (2018). Effect of aluminum precursor on physicochemical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> by hydrolysis/precipitation method. *Nova Scientia*. **10(20)**: 83-99.
- Tyas, U. (2016). Sintesis dan karakterisasi zeolit Y dari lumpur lapindo dengan variasi suhu hidrotermal menggunakan metode sol-gel (Skripsi) Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Veal, B.W., Paulikas, A.P. & Hou, P.Y. (2006). Tensile stress and creep in thermally grown oxide. *Nature Materials*. **5(5)**: 349-351.
- Widjaja, B. and Dewanto, I.R., 2017. Simulasi mud volcano di Desa Napan Nusa Tenggara Timur menggunakan Program Flo2D dan RAMMS. Makalah dipresentasikan pada Seminar Nasional Teknik Sipil VII. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Solo, 16-18 Mei 2017
- Windya, K.K., Wilopo, W. & Anggara, F. (2018). Karakterisasi dan pemanfaatan lumpur sidoarjo untuk campuran bahan baku pembuatan briket. *Jurnal Geomine*. **6(3)**: 117-123.
- Wirayasa, N.M.A. & Sudarsana, I.W. (2009). Pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan bata beton pejal. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. **13(1)**: 39-46.
- Wirayasa, N.M.A., Sugita, I.N. & Wedasana, A.S. (2008). Pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai bahan substitusi semen pada pembuatan paving block. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. **12(1)**: 29-36.
-