Potensi Unsur Tanah Jarang (*Rare Earth Elements*) Di Lumpur Panas Sidoarjo, Indonesia

Handoko Teguh Wibowo[1], Bambang Pratisho[2], C. Prasetyadi[3], dan Dwi Fitri Yudiantoro[4]
Program Doktor Jurusan Teknik Geologi, UPN "Veteran" Yogyakarta[1,2,3,4]
e-mail: handokoteguh@gmail.com[1]

ABSTRACT

The terminology of Lumpur Sidoarjo (Lusi) as a mud volcano is no longer relevant. Based on geochemical analysis, it shows evidence of volcanic traces in Lusi and has a positive correlation, so Lusi can be said to be a hydrothermal system in a sedimentary basin. The hydrothermal system is always related to mineral enrichment, especially in the clay layer. Geothermal fluid is acidic, has the potential to dissolve metal elements, so that the elemental content in the mud will be affected. Lusi belongs to a low epithermal sulfide system with an argillic alteration zone characterized by the formation of low-temperature clay minerals such as kaolinite, smectite and illite. The results of laboratory analysis using the ICP and XRF methods obtained high concentrations of rare earth element such as Ce, Dy, Eu, Gd, La, Nd, Pr, Sc, Sm and Y.

Kata kunci: *Lumpur Sidoarjo (LUSI), Sedimentary Hosted Hydrothermal System, Fluid Magmatism, Enrichment Minerals, Rare Earth Elements*

ABSTRAK

Terminologi lumpur sidoarjo (Lusi) sebagai sebuah gunung lumpur saat ini sudah tidak relevan lagi. Berdasarkan analisis geokimia menunjukkan bukti-bukti jejak gunung api pada Lusi dan sudah berkorelasi positif, sehingga Lusi dapat dikatakan sebuah sistem hidrotermal pada cekungan sedimen. Sistem hidrotermal selalu berkaitan dengan pengkayaan mineral terutama pada lapisan lempung. Fluida geotermal bersifat asam, potensial melarutkan unsur logam, sehingga kandungan unsur pada lumpur akan terpengaruh. Lusi termasuk ke dalam sistem endapan epitermal sulfida rendah (*low ephitermal sulfide*) dengan zona ubahan argilik yang ditandai oleh pembentukan mineral lempung yang bertemperatur rendah seperti kaolinit, smektit dan illit Adanya sistem hidrotermal yang bekerja pada Lusi dengan karakteristik tersebut membuat Lusi memiliki peluang untuk pengkayaan unsur tanah jarang. Hasil analisis laboratorium menggunakan metode ICP dan XRF didapat konsentrasi pelimpahan unsur tanah jarang seperti Ce, Dy, Eu, Gd, La, Nd, Pr, Sc, Sm dan Y yang relatif tinggi.

Kata kunci: Lumpur Sidoarjo (LUSI), Sistem Hidrotermal di Cekungan Sedimen, Fluida Magmatisme, Pengkayaan Mineral, Unsur Tanah jarang

.

PENDAHULUAN

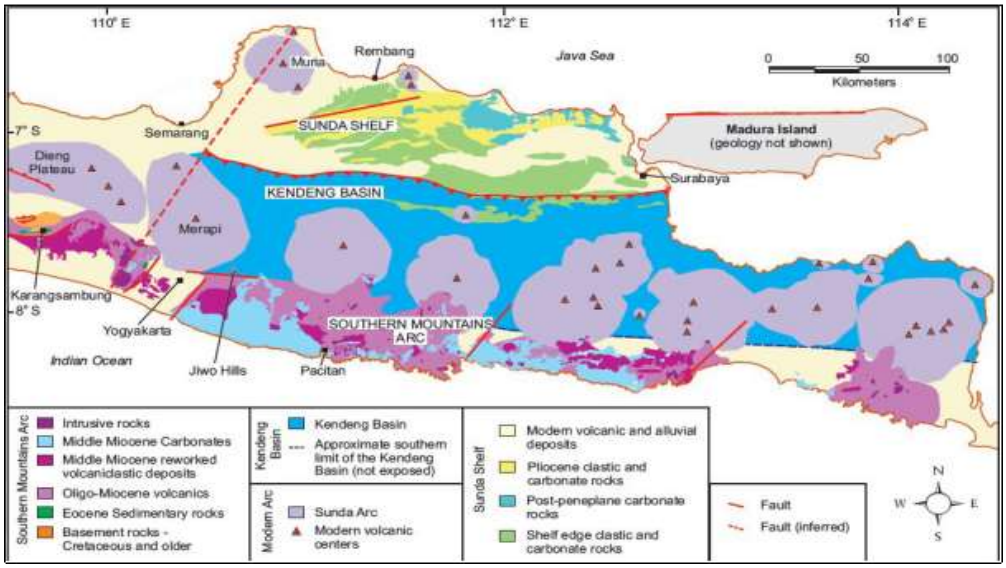
Semburan Lumpur Panas Sidoarjo (Lusi) keluar sejak 29 Mei 2006 di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo dan telah menenggelamkan 4 desa. Beberapa ahli seperti [1] berpendapat bahwa sumber lumpur dan air berasal dari diagenesa Formasi Kalibeng. [2] menduga bahwa air panas berasal dari sistem geotermal di sekitarnya. Berdasarkan analisis geokimia dan kondisi temperatur Lusi yang menunjukkan adanya anomali panas (±400ºc) di bandingkan gradien geotermal sekitarnya serta adanya kemunculan gas CO_2 yang lebih dominan membuat munculnya paradigma baru bahwasanya Lusi merupakan *"sediment-hosted hydrothemal system".* Hal-hal tersebut yang menjadikan suatu bukti adanya pengaruh migrasi magma dan fluida hidrotermal pada *back-arc sedimentary basin,* yang memicu reaksi alterasi termo-metamorfik pada lapisan kaya akan material organik [3]. Sedangkan[4] mengemukakan adanya potensi kejadian vulkanisme pada saat ini (*neovulkanisme*) yang muncul di zona Kendeng dan Rembang pada Cekungan Jawa Timur[5]. Oleh karena itu lahirnya LUSI sebagai geiser, menjadi jendela sekaligus cara pandang baru dan tantangan tentang tektonisme dan vulkanisme pada cekungan sedimentasi dan mineralisasi.

Endapan Lusi yang terus menerus menumpuk sejak tahun 2006 telah di identifikasi memiliki potensi mineral-mineral berharga seperti Pb, Zn, Mn, Ag, Cd, Sb, Au, Se, dan Hg [6]. Dari penelitian yang di lakukan tim [4], menggunakan *X-ray Diffaction (XRD) dan Scanning Electron Microscopy* (SEM), mengindikasikan material Lusi di dominasi oleh mineral lempung dengan material organik, kuarsa, dan feldspar yang lebih sedikit. Mineral lempung yang sangat dominan smektit, illit, dan campuran smektit-illit, dengan kaolinit dan klorit yang lebih sedikit. Analisis kimia pendahuluan pada material anorganik menunjukkan adanya konsentrasi arsenik, aluminium, besi, dan vanadium dan lain-lain yang merupakan kategori mineral industri yang muncul pada lumpur. Hal ini tentu sangat menarik untuk dikaji karena akan memunculkan peluang atau probabilitas mineralisasi di LUSI sebagai cadangan mineral berharga di masa depan.

TINJAUAN PUSTAKA

Kondisi Geologi

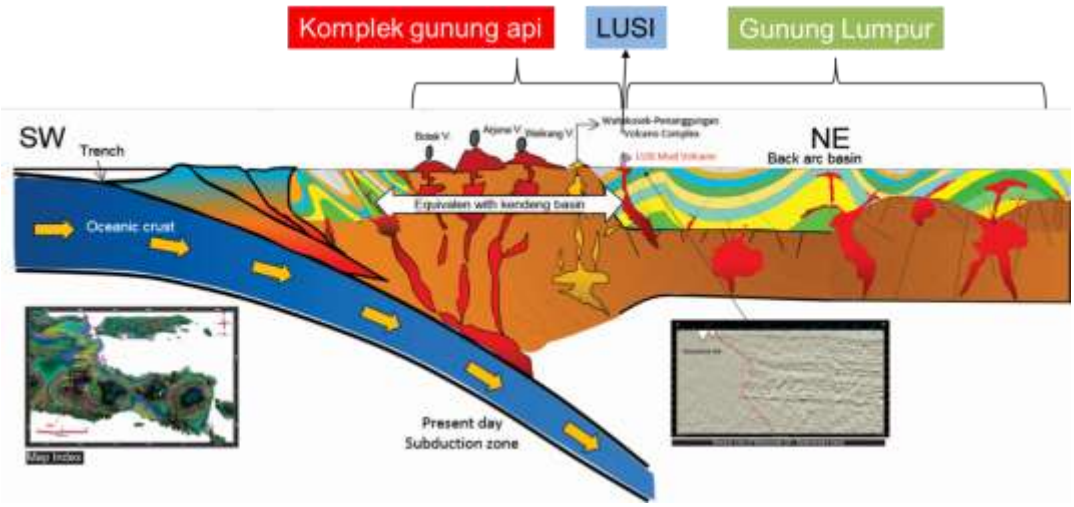
Lumpur Sidoarjo secara fisiografi terletak pada tatanan geologi Jawa bagian Timur [7]. Seperti yang di tunjukkan pada Gambar 35 & Gambar 36Gambar 36, Daerah ini termasuk kedalam zona Kendeng yang diapit oleh zona Rembang di bagian utara dan zona Solo di bagian selatan [8] pada Kala Eosen-Miosen yang mempunyai lapisan batuan vulkanogenik dan sedimen pelagik yang tebal [7].



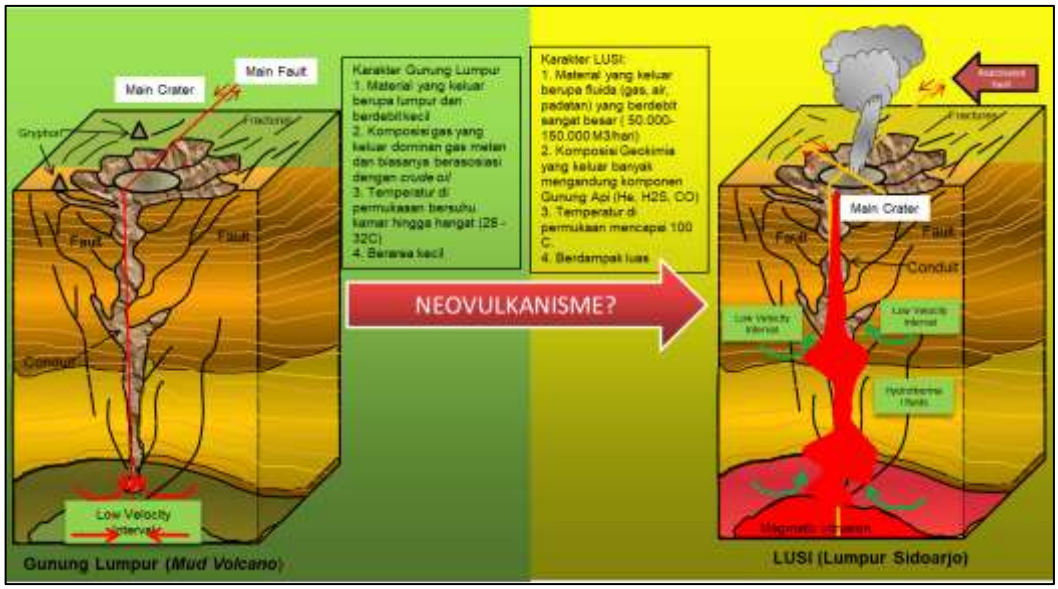
Gambar 35 Fisiografi Jawa Bagian Timur [7]. Daerah penelitian ditandai dengan kotak merah

Paradigma Baru Lumpur Sidoarjo

Terminologi Lusi sebagai sebuah gunung lumpur saja saat ini sudah tidak relevan lagi. Berdasarkan analisis geokimia menunjukkan bukti-bukti jejak gunung api pada Lusi dan sudah berkorelasi positif, sehingga Lusi dapat dikatakan sebuah gunung lumpur tipe *hybrid* atau sebuah sistem hidrotermal pada cekungan sedimen (Gambar 3). Sistem hidrotermal selalu berkaitan dengan pengkayaan mineral terutama pada lapisan lempung. Fluida geotermal bersifat asam, potensial melarutkan unsur logam, sehingga kandungan unsur pada lumpur akan terpengaruh. Suhu dengan kisaran mendekati 100°C merupakan zona epitermal yang umumnya merupakan zona dijumpainya unsur seperti Cu, Pb, Zn,Mn, Fe, Cd, As, Sb, Au, Ag, Hg, dan Se dan unsur tanah jarang[9]. Fluida geotermal berasal dari cairan sisa magma, dapat juga dari air tanah yang terkonduksi panas magmatik, atau percampuran keduanya. Karakteristik fluida geotermal tidak selalu konstan, dapat berubah-ubah tergantung aktivitas magmatik itu sendiri serta siklus geohidrologi pada zona di sekitarnya. Hal ini akan mempengaruhi kandungan unsur-unsur terlarut di dalam fluidanya.



Gambar 36. Posisi Fisiografi antara Gunung (Volcano) Vs. LUSI Vs. Gunung Lumpur (Mud Volcano). Lusi berada diantara kompleks gunung api dan cekungan sedimentasi yang banyak terdapat gunung lumpur (mud volcano) dalam [4].

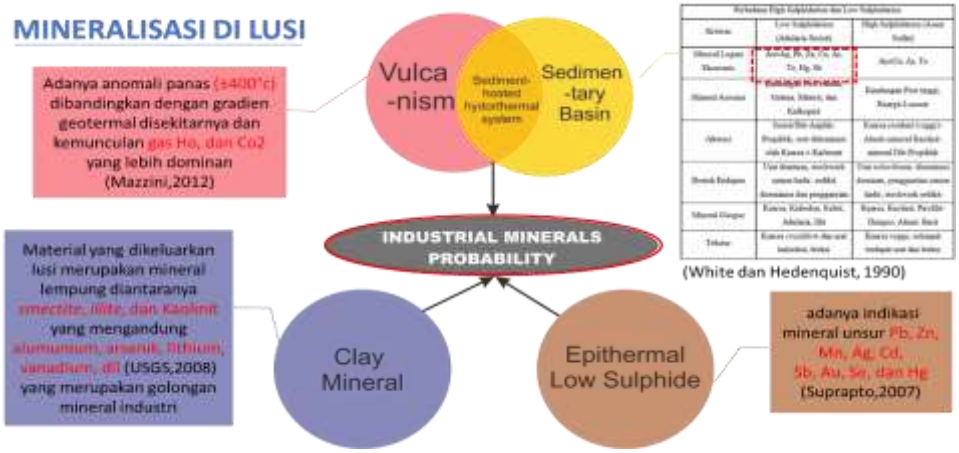


Gambar 3 Model 3D evolusi Lumpur Sidoarjo[5].

Mineralisasi di Lumpur Sidoarjo

Lusi merupakan sebuah sistem hidrotermal cekungan sedimen *(Sediment hosted hydrothermal system)* karena terletak pada cekungan sedimen yang berasosiasi dengan magmatisme. Lusi termasuk ke dalam sistem endapan epitermal sulfida rendah (*low ephitermal sulfide*) dengan zona ubahan argilik yang ditandai oleh pembentukan mineral lempung yang bertemperatur rendah seperti kaolinit, smektit dan illit (

Gambar 4). Adanya sistem hidrotermal yang bekerja pada Lusi dengan karakteristik tersebut membuat Lusi memiliki potensi mineral ekonomis[10]. Secara teori sistem hidrotermal *low sulphide* mempunyai penciri mineral diantaranya: Timbal (Pb), Zinc (Zn), Mangan (Mn), Perak (Ag), Cadmium (Cd), Antimon (Sb), Emas (Au), Selenium (Se), Raksa (Hg) [6].



Gambar 4 Hubungan vulkanisme, cekungan sedimen, mineral lempung dan sistem hidrotermal low sulphide terhadap mineralisasi di Lusi.

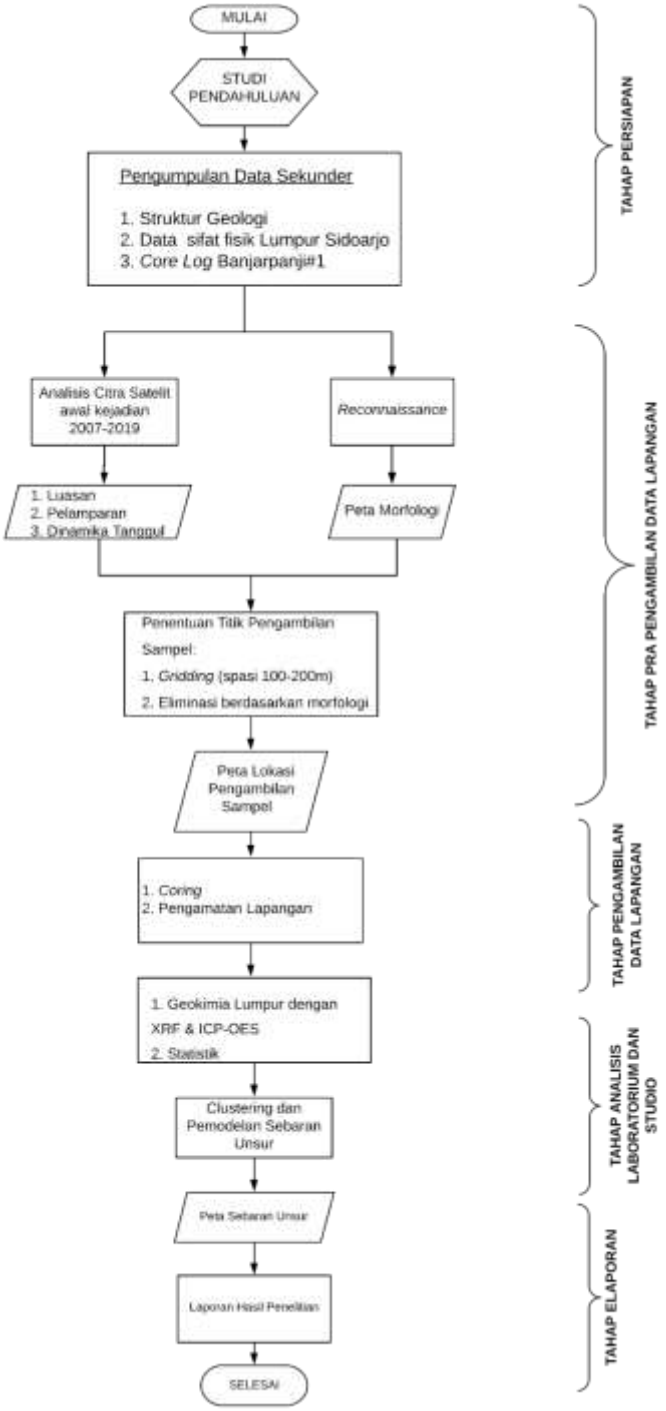
METODE

Kajian ini merupakan studi untuk mengidentifikasi probabilitas mineral industri pada Lusi. Secara garis besar penelitian yang dilakukan meliputi analisis morfokronologi erupsi Lusi dari prakejadian tahun 2006 hingga pascakejadian (saat ini, 2019) melalui *ovelay* citra satelit dari tahun ke tahun, pemetaan permukaan, pemetaan bawah permukaan, analisis geokimia, analisis statistik dan permodelan menggunakan software.

Penelitian dilakukan dengan menganalisis 150 sampel *coring* pada 75 titik pengambilan sampel (Gambar 6). Penentuan titik sampel berdasarkan analisis morfologi dan *gridding* dengan jarak antar titik 100-200m. Untuk mengetahui konsentrasi unsur dilakukan analisis geokimia menggunakan instrumen *X-Ray Fluoresence* (XRF) dan *Inductively coupled plasma - optical emission spectrometry* (ICP-OES). Hasil uji laboratorium yang didapat kemudian dianalisis kembali menggunakan perhitungan statistik untuk menentukan nilai tengah, nilai minimum, nilai maksimum dan standar deviasi tiap unsur (Gambar 7).

Gambar 5 Peta lokasi pengambilan sampel

Setelah unsur tersebut di klasifikasikan, nilai-nilai per unsur kemudian di kalkulasi secara statistik. Untuk mengetahui besaran nilai potensi dilakukan perhitungan secara matematis dan untuk menganalisis penyebarannya dilakukan melalui permodelan digital.



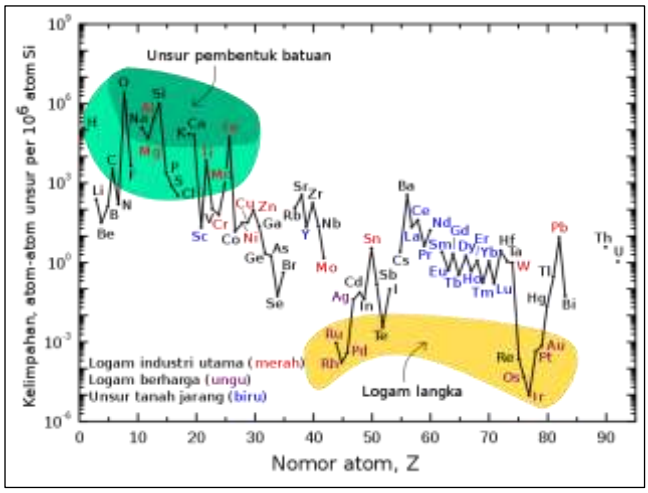
Gambar 6 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Konsentrasi Unsur

Penelitian dilakukan dengan analisis geokimia pada sampel lumpur dengan instrumen *X-Ray Fluorescence*. Untuk mendapatkan data yang lebih detail cuplikan sampel diambil dengan penyebaran, interval dan pada kedalaman tertentu. Setelah hasil analisis laboratorium keluar, data-data tersebut diolah kemudian dianalisis menggunakan metode statistik untuk mengetahui nilai tertinggi (maksimal), nilai terendah (minimal), nilai

rata-rata (mean) dan standar deviasi dari keseluruhan sampel. Tahap selanjutnya adalah mengklasifikasikan unsur-unsur tersebut menurut klasifikasi [9], (Gambar).



Gambar 8 Kelimpahan unsur dalam kerak bumi bagian atas [9].

Tabel 24 Ringkasan Statistik kandungan kelimpahan unsur tanah jarang (REE) yang teridentifikasi oleh XRF & ICP-OES dari 150 sampel endapan Lumpur Sidoarjo.

No	Unsur [ppm]		Nilai Konsentrasi per unsur dari 150 sampel LUSI			
			Min [ppm]	Maks [ppm]	Konsentrasi Rata-Rata [ppm]	Standar Deviasi
1	Ce	Serium	55.80	239.90	86.79	19.73
2	Dy	Disprosium	0.08	7.08	0.94	0.70
3	Eu	Europium	0.83	9.85	7.85	1.81
4	Gd	Gadolinium	0.58	13.58	6.49	2.77
5	La	Lanthanum	28.50	120.60	49.73	10.65
6	Nd	Neodimium	27.00	106.50	56.57	12.02
7	Pr	Praseodimium	8.80	45.10	24.47	6.27
8	Sc	skandinium	6.30	36.30	17.11	4.94
9	Sm	Samarium	0.90	13.60	6.21	2.14
10	Y	Yttrium	18.20	34.00	23.24	2.52

Selain unsur tanah jarang yang terdeteksi dalam hasil analisis, unsur lain seperti Lithium (Li), Strontium (Sr) dan Scandinium (Sc) juga terdeteksi dengan hasil rata-rata konsentrasi Li : 126,55 ppm, Sr : 401,49 ppm, Sc : 17,11 ppm.

KESIMPULAN

Lusi termasuk ke dalam sistem endapan epitermal sulfida rendah (*low ephitermal sulfide*) dengan zona ubahan argilik yang ditandai oleh pembentukan mineral lempung yang bertemperatur rendah seperti kaolinit, smektit dan illit Hasil analisis laboratorium menggunakan metode ICP dan XRF didapat konsentrasi rata-rata pelimpahan unsur tanah jarang yang terdapat dalam material erupsi Lusi adalah Ce : 86,79 ppm , Dy : 0,94 ppm, Eu : 7,85 ppm, Gd : 6,49 ppm, La : 49,73 ppm, Nd : 56,57 ppm, Pr : 24,47 ppm, Sc : 17,11 ppm, Sm : 6,21 ppm dan Y : 23,24 ppm. Selain unsur tanah jarang yang terdeteksi dalam hasil analisis, unsur lain seperti Lithium (Li), Strontium (Sr) dan Scandinium (Sc) juga terdeteksi dengan hasil rata-rata konsentrasi Li : 126,55 ppm, Sr : 401,49 ppm, Sc : 17,11 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Mazzini *et al.*, "Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia," *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 261, no. 3–4, pp. 375–388, 2007, doi: 10.1016/j.epsl.2007.07.001.

[2] M. P. Hochstein and S. Sudarman, "Monitoring of LUSI Mud-Volcano - a Geo-Pressured System, Java, Indonesia," *Proc. World Geotherm. Congr.*, no. June 2006, pp. 25–29, 2010.

[3] A. Mazzini, G. Etiope, and H. Svensen, "A new hydrothermal scenario for the 2006 Lusi eruption, Indonesia. Insights from gas geochemistry," *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 317–318, no. February, pp. 305–318, 2012, doi: 10.1016/j.epsl.2011.11.016.

[4] B. G. S. Plumlee *et al.*, "Prel imi n ary An a lyt ic a l Resu l ts for a Mud Samp l e C o l l e c t e d from th e LUSI Mud Vo lc a n o , Si d o arjo , E ast J ava , In d o n es ia," 2008.

[5] H. T. Wibowo, B. Prastisho, C. Prasetyadi, and D. F. Yudiantoro, "The evolution of Sidoarjo hot mudflow (Lusi), Indonesia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 212, no. 1, pp. 0–11, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/212/1/012050.

[6] S. J. Suprapto, R. Gunradi, and Y. R. Ramli, "Geokimia Sebaran Unsur Logam Pada Endapan Lumpur Sidoarjo," *Bul. Sumber Daya Geol.*, vol. 2, no. 2, pp. 4–13, 1970, doi: 10.47599/bsdg.v2i2.209.

[7] H. Smyth, "East Java: Cenozoic basins, volcanoes and ancient basement," no. August, pp. 251–266, 2018, doi: 10.29118/ipa.629.05.g.045.

[8] R. W. Van Bemmelen, "The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes," *Government Printing Office, The Hague*. pp. 1–766, 1949.

[9] G. B. Haxel, J. B. Hendrick, and G. J. Orris, "Rare Earth Elements — Critical Resources for High Technology," pp. 1–11, 2002.

[10] R. J. Davies, M. Brumm, M. Manga, R. Rubiandini, R. Swarbrick, and M. Tingay, "The East Java mud volcano (2006 to present): An earthquake or drilling trigger?," *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 272, no. 3–4, pp. 627–638, 2008, doi: 10.1016/j.epsl.2008.05.029.