



ANALISIS KANDUNGAN MINERAL PASIR BESI PANTAI SELATAN KABUPATEN LUMAJANG HASIL SEPARASI MAGNETIK

Muh. Azis Albar J^{a,*}, Aditya Perdana Putra^a, Eriek Aristya Pradana Putra^b

^aProgram Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali

Jalan Poros Trans Sulawesi, Desa Labota, Kecamatan Bahodopi, Morowali Indonesia 94974

^bProgram Studi Teknik Perawatan Mesin, Politeknik Industri Logam Morowali

Jalan Poros Trans Sulawesi, Desa Labota, Kecamatan Bahodopi, Morowali Indonesia 94974

*E-mail: azis.albar.j@gmail.com

Masuk Tanggal : 4 Nopember , revisi tanggal : 16 Nopember, diterima untuk diterbitkan tanggal : 12 Desember 2022

Abstrak

Potensi pasir besi di Pantai Selatan Kabupaten Lumajang cukup besar tapi belum dikelola secara mendalam dan modern. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral magnetik pasir besi yang ada di Pantai Selatan Kabupaten Lumajang agar dapat memberikan informasi dan bahan kajian dalam pengembangan pengolahan pasir besi ke depan. Metode yang digunakan adalah metode separasi magnetik menggunakan magnetik separator untuk memisahkan dan mendapatkan konsentrat pasir besi *titanomagnetite* yang merupakan senyawa mineral besi yang kaya kandungan titanium. Berdasarkan hasil analisa XRD diketahui bahwa kandungan mineral pasir besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang hasil separasi magnetik mengandung mineral magnetik 39,4% dan non magnetik 60,6% yang terdiri dari senyawa kelompok mineral besi *magnetite* (Fe_3O_4), *titanomagnetite/magnetite titania* ($Fe_{2.17}O_4Ti_{0.54}$), *iron titanium oxide* ($Fe_{0.1482}O_2Ti_{0.8882}$), *augite* serta pengotor berupa senyawa silika yakni *bustamite* ($Ca_{0.81}Mn_{0.19}O_3Si$), *albite* ($Al_{1.08}NaO_8Si_{2.92}$), dan *anthophyllite* ($Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$). Untuk hasil analisa XRF menunjukkan kadar titanium dan besi meningkat setelah dilakukan separasi magnetik pada pasir besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang. Kadar titanium meningkat sebesar 3,42 % dan besi 49,6 %.

Kata Kunci: Pasir Besi, mineral magnetik, separasi magnetik, XRD, XRF

Abstract

The potential for iron sand on the South Coast of Lumajang Regency is quite large but has not been managed in a deep and modern way. This study aims to determine the magnetic mineral content of iron sand in the South Coast of Lumajang Regency in order to provide information and study material in the development of iron sand processing in the future. The method used is a magnetic separation method using a magnetic separator to separate and obtain *titanomagnetite* iron sand concentrate which is an iron mineral compound rich in titanium content. Based on the results of XRD analysis, it is known that the mineral content of iron sand on the South Coast of Lumajang Regency as a result of magnetic separation contains 39.4% magnetic minerals and 60.6% non-magnetic minerals consisting of iron *magnetite* (Fe_3O_4), *titanomagnetite/magnetite titania* ($Fe_{2.17}O_4Ti_{0.54}$), *iron titanium oxide* ($Fe_{0.1482}O_2Ti_{0.8882}$), *augite* and impurities in the form of Silica compounds are *bustamite*, *albite*, and *anthophyllite*. The results of XRF analysis showed that the levels of titanium and iron increased after magnetic separation was carried out on the iron sands of the south coast of Lumajang. Titanium content increased by 3.42% and iron 49.6%.

Keywords: Iron Sand, magnetic minerals, magnetic separations, XRD, XRF

1. PENDAHULUAN

Pasir besi merupakan salah satu sumber daya mineral yang melimpah di Indonesia karena terdapat di sepanjang pantai Indonesia [1]. Pasir besi memiliki peranan yang penting, karena digunakan dalam berbagai bidang industri seperti industri baja dan alat berat lainnya [2]. Pasir besi umumnya mengandung mineral magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan *maghemite* ($\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang juga dapat dimanfaatkan sebagai pewarna dan bahan dasar magnet permanen [3].

Salah satu daerah penghasil pasir besi di Indonesia adalah Kabupaten Lumajang di pesisir pantai bagian selatan [4]. Wilayahnya diapit oleh tiga gunung api aktif yakni Gunung Semeru, Gunung Lamongan dan Gunung Bromo [5]. Hal ini membuat Kabupaten Lumajang memiliki cadangan mineral pasir besi melimpah yang berasal dari hasil endapan erupsi gunung berapi [6]. Cadangan pasir besi yang ada di Kabupaten Lumajang bahkan disebut sebagai yang terbesar di Indonesia, dengan kualitas terbaik [7].

Karakteristik fisik Pasir Pantai Lumajang berwarna sangat hitam dan kasar. Hal tersebut menandakan pasir pantai tersebut mengandung pasir besi yang tinggi [8]. Sehingga jika dikelola dengan benar dengan metode yang tepat secara lebih mendalam dan modern maka akan bernilai lebih ekonomis.

Informasi terkait jumlah dan sebaran potensi pasir besi di Kabupaten Lumajang masih cukup minim, sehingga belum diketahui secara pasti kapasitas dan sebarannya, terlebih juga belum dilakukan pengolahan serta eksplorasi yang lebih mendalam [9]. Hal ini dikarenakan pasir besi secara umum masih lebih banyak difungsikan sebagai salah satu bahan bangunan yaitu sebagai campuran semen. Padahal, jika dikelola dengan lebih modern, pasir besi dapat menghasilkan produk bernilai ekonomi tinggi, dengan mengolah kandungan besi oksida dan mineral magnetik yang terkandung di dalamnya [10]. Pengolahan mineral *magnetite* dapat dilakukan dengan metode separasi magnetik. Mineral magnetik yang banyak ditemukan pada unsur logam yang ada dalam tanah sawah [11] dan wilayah pantai adalah senyawa *magnetite* (Fe_3O_4) berjenis *titanomagnetite* ($\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 1$)) yang cukup respon pada medan magnet luar sehingga sangat bermanfaat dalam pengembangan riset di berbagai bidang industri, apalagi senyawa *titanomagnetite* juga memiliki struktur *spinel* dan merupakan bahan feromagnetik yang berfungsi sebagai salah satu bahan utama dalam industri baja dan juga industri kemagnetan seperti rekayasa elektronika dan pembuatan magnet permanen [12][13].

Berdasarkan paparan di atas, dengan melihat potensi dan cadangan pasir besi yang melimpah di Kabupaten Lumajang yang belum dikelola secara maksimal, maka dianggap perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kandungan mineral magnetik pasir besi yang ada di Kabupaten Lumajang agar dapat memberikan informasi dan bahan kajian dalam pengembangan pengolahan pasir besi ke depan serta dapat dijadikan dasar melakukan penelitian lanjutan terkait ekstraksi titanium dioksida (TiO_2) dari pasir besi *titanomagnetite* Pantai Selatan Lumajang.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Fokus penelitian ini adalah identifikasi kandungan mineral dari pasir besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang hasil separasi magnetik sebagai dasar dalam pengembangan penelitian lanjutan berbasis ekstraksi titanium dioksida (TiO_2) dari senyawa *titanomagnetite* pasir besi.

Metode separasi yang digunakan merupakan metode pemisahan dengan *magnetic separator* untuk mendapatkan konsentrat pasir besi *titanomagnetite* yang merupakan senyawa mineral besi yang kaya kandungan titanium dan memisahkan dari mineral magnetik dan silika lainnya. Untuk *raw material* yang digunakan adalah pasir besi pantai yang digunakan berasal dari daerah Pantai Selatan Kabupaten Lumajang. Pada proses preparasi awal, material pasir besi dicuci dengan air lalu dikeringkan di bawah sinar matahari untuk menghilangkan pengotor dan kandungan garam. Proses selanjutnya adalah pasir besi yang telah bersih dan kering diayak sampai ukuran 100 mesh. Hasil pasir besi yang telah lolos ukuran ayakan 100 mesh tersebut dilakukan separasi magnetik menggunakan *magnetic separator* dari magnet lemah yang terbuat dari magnet *feritik* dan magnet kuat terbuat dari magnet *neodymium*-besi-boron *grade* N38. Magnet *neodymium*-besi-boron *grade* N38 ini memiliki kekuatan magnet sebesar 1.18–1.28 T atau setara 12300 Gauss yang mampu menarik mineral paramagnetik dengan minimal intensitas kekuatan magnet sebesar 11000 Gauss.

Proses separasi dilakukan dengan menggunakan magnet untuk memisahkan antara konsentrat yang tertarik magnet dan tailing yang tidak bisa tertarik magnet. Proses separasi magnet ini diawali dengan separasi magnet *feritik*.

Dikarenakan fokus penelitian ini adalah pengolahan senyawa titanium dari mineral yang terkandung dalam pasir besi yang memiliki karakteristik susah ditarik magnet lemah maka hasil separasi yang diolah lebih lanjut adalah hasil separasi berupa tailing 1 dan memisahkan hasil separasi konsentrat 1 yang kaya akan mineral magnetik sebagai produk sampingan.

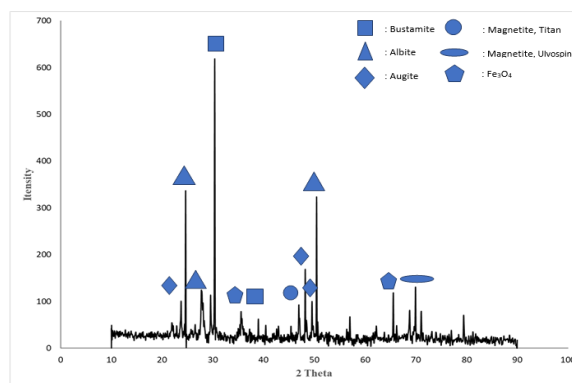
Proses separasi magnet selanjutnya menggunakan magnet *neodymium*-besi-boron *grade* N38 dilakukan pada hasil separasi tailing 1 menghasilkan hasil separasi berupa konsentrat 2 dan tailing 2. Konsentrat 2 inilah hasil separasi yang kaya senyawa *titanomagtete*. Separasi magnet *neodymium*-besi-boron *grade* N38 tidak dilakukan diawal karena tujuan dan fokus utama pada proses separasi magnet ini adalah mendapatkan senyawa mineral titanium dan meminimalkan didapatkannya senyawa mineral besi sehingga jika separasi magnet kuat *neodymium*-besi-boron *grade* N38 dilakukan diawal maka akan banyak mineral besi seperti magnetite yang didapatkan.

Analisis hasil pengujian dilakukan berdasarkan uji XRD dan XRF pada *raw material* pasir besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang, tailing 1 hasil separasi magnet *feritik* yang tidak tertarik magnet lemah dan konsentrat 2 hasil separasi magnet *neodymium*-besi-boron *grade* N38 yang tertarik magnet kuat untuk mengetahui senyawa mineral yang terkandung di dalamnya dan komposisi unsur dan peningkatan kadar titanium dan besi hasil separasi magnetik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kandungan Raw Material Pasir Pantai Selatan Kabupaten Lumajang

Karakteristik fisik pasir besi Pantai Selatan Lumajang setelah dikeringkan berwarna hitam yang mengandung mineral magnetik 39,4% dan non magnetik 60,6%. Hasil analisis XRD *raw material* disajikan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Hasil Pengujian XRD Pasir Besi Pantai Lumajang.

Hasil identifikasi mineral menggunakan difraksi sinar X pada sampel *raw material* pasir besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang menghasilkan puncak-puncak seperti yang terlihat pada Gambar 1. Tampak senyawa dominan pada sudut 2θ yaitu 30,4048, 24,6531, 30,4945, 50,4680 dan 48,2245. Puncak-puncak tersebut kemudian dianalisa menggunakan kartu JCPDS. Didapatkan analisa puncak dengan fasa dominan pada pasir besi pantai Lumajang adalah seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Senyawa yang terdapat dalam sampel Pasir Pantai Selatan Kabupaten Lumajang.

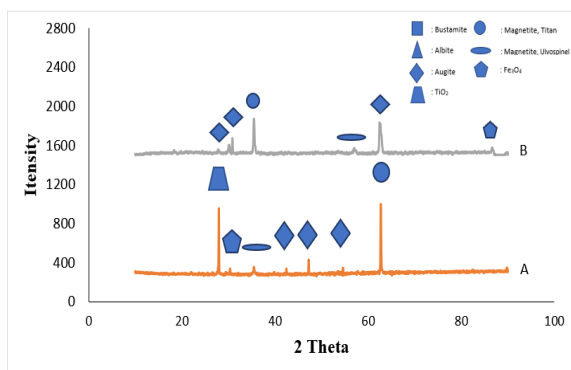
No.	Nama Mineral	Rumus Molekul	No. JCPDS
1	Magnetite	Fe ₃ O ₄	01-077-1545
2	Magnetite Titania	Fe _{2.17} O ₄ Ti _{0.54}	01-071-6449
3	Magnetite Ulvospinel	Fe _{2.9} O ₄ Ti _{0.096}	01-077-8398
4	Iron Titanium Oxide	Fe _{0.1482} O ₂ Ti _{0.8882}	01-070-0143
5	Bustamite Calcian	Ca _{0.81} Mn _{0.19} O ₃ Si	01-086-1607
6	Albite	Al _{1.08} NaO ₈ Si _{2.92}	01-076-0757
7	Anthophyllite	Mg ₇ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	00-045-1343

Hasil analisa XRD pada pasir Pantai Selatan Kabupaten Lumajang mengandung senyawa mineral berupa *magnetite*, *magnetite titania*, *magnetite ulvospinel* dan *iron titanium oxide* yang ketiganya merupakan kelompok mineral besi *titanomagtete*. Selain itu, terdapat senyawa pengotor berupa kelompok senyawa silika yang tampak juga sangat dominan berupa *bustamite*, *albite*, dan *anthophyllite*.

3.2 Kandungan Senyawa Pasir Besi Hasil Separasi Magnetik

Setelah dicuci lalu dikeringkan dan diayak sampai pada ukuran 100 mesh pasir besi dilakukan benefisasi magnet lemah atau separasi magnetik menggunakan magnet *feritik* untuk dipisahkan hasil konsentrat 1 dan tailing 1. Hasil separasi berupa tailing 1 selanjutnya dilakukan separasi kembali menggunakan magnet kuat yaitu magnet *neodymium-besi-boron grade* N38 menghasilkan konsentrat 2 dan tailing 2.

Tailing 1 hasil separasi magnet lemah dan Konsentrat 2 hasil separasi magnet kuat dilakukan pengujian XRD mengetahui kandungannya senyawa mineral kandungannya seperti yang terlihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Hasil Pengujian XRD setelah separasi magnetik: A. Tailing 1, B. Konsentrat 2

Hasil analisa XRD pada hasil separasi magnet lemah tailing 1 menunjukkan kandungan senyawa mineral merupakan senyawa *titanomagnetite* dan *albite* ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$). Karakteristik senyawa *titanomagnetite* merupakan senyawa yang memiliki susunan *invers ulvospinel* dalam kation Fe *Magnetite* sehingga masih akan selalu ditemukan senyawa *magnetite* (Fe_3O_4). *Titanomagnetite* memiliki sifat paramagnetik sehingga susah ditarik magnet lemah. Golongan mineral *titanomagnetite* memiliki intensitas daya tarik magnet antara 0,1-1,1 T [14]. *Albite* ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$) merupakan senyawa yang memang memiliki sifat diamagnetik yang tidak dapat ditarik magnet [15] dan dapat digunakan dalam bahan baku pembuatan porselen dan bata [16][17].

Sementara hasil analisa XRD pada hasil separasi magnet kuat konsentrat 2 terdapat senyawa *titanomagnetite* dan *magnetite* dengan puncak-puncak yang semakin menguat namun masih menyisakan *augite* yang dianggap sebagai senyawa silika pengotor. Analisa puncak dengan fasa dominan hasil uji XRD pada hasil konsentrat 2 yang ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Senyawa Hasil Separasi Magnetik Kuat Konsentrat 2

No.	Nama Mineral	Rumus Molekul	No. JCPDS
1	<i>Magnetite</i>	Fe_3O_4	01-077-1545
2	<i>Magnetite Titania</i>	$\text{Fe}_{2,17}\text{O}_4\text{Ti}_{0,54}$	01-071-6449
3	<i>Magnetite Ulvospinel</i>	$\text{Fe}_{2,9}\text{O}_4\text{Ti}_{0,096}$	01-077-8398
4	<i>Albite</i>	$\text{Al}_{1,08}\text{NaO}_8\text{Si}_{2,92}$	01-076-0757

Hasil uji XRD senyawa bentukan diidentifikasi sebagai puncak-puncak dengan fasa yang dominan. Mengingat pula klasifikasi secara teoritis diatur berdasarkan kuantitas kadar maka perlu dilakukan pengujian XRF untuk mengetahui kadar unsur yang terkandung di dalam *raw material* pasir Pantai Selatan Kabupaten Lumajang, tailing 1 dan konsentrat 2.

Data uji komposisi menggunakan pengujian XRF *raw material* pasir besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang, tailing 1 dan konsentrat 2 ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Komposisi Kadar Unsur pada *Raw Mineral* Pasir Besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang, Tailing 1 dan Konsentrat 2 Hasil Separasi Magnetik.

Komposisi	Pasir Pantai (wt. %)	Tailing 1 (wt. %)	Konsentrat 2 (wt. %)
Al	8,4	2,7	
Si	26,3	9	1,7
K	2,23	0,33	
P	0,72	0,48	0,1
Ca	17,9	6,68	1,002
Ti	1,87	3,48	5,29
V	0,12	0,41	0,71
Cr	0,086	0,12	0,13
Mn	0,77	0,62	0,49
Fe	39,4	74,91	89
Cu	0,17	0,14	0,067
Zn	0,04	0,04	0,05
Eu	0,5	0,8	
Re	0,4	0,4	0,2

Dari hasil pengujian komposisi kadar unsur di atas, terlihat peningkatan kadar titanium seiring dengan penurunan unsur pengotor (aluminium, silika, kalsium) akibat proses separasi magnet. Titanium yang terkandung pada *raw material* pasir besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang mengalami peningkatan dengan kadar awal 1.87%

menjadi 3.48% dengan separasi magnet lemah dan meningkat menjadi 5.29% dengan proses separasi magnet. sehingga titanium mengalami peningkatan kadar sebesar 3.42%. Sedangkan besi yang terkandung pada *raw material* pasir besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang juga mengalami peningkatan dengan kadar awal 39.4% menjadi 74.91% dengan separasi magnet lemah dan meningkat menjadi 89%. sehingga besi mengalami peningkatan kadar sebesar 49.6% dengan proses separasi magnet.

Dari hasil separasi magnet didapatkan senyawa *titanomagnetite* yang mengandung titanium namun untuk mendapatkan titanium masih membutuhkan pengolahan lebih lanjut dengan mengekstraksi titanium dari senyawa *titanomagnetite* [18].

4. KESIMPULAN

Kandungan senyawa pasir besi di Pantai Selatan Kabupaten Lumajang hasil separasi magnetik mengandung mineral magnetik 39,4% dan mineral non magnetik 60,6% yang terdiri dari *magnetite* (Fe_3O_4), *magnetite titania* ($\text{Fe}_{2,17}\text{O}_4\text{Ti}_{0,54}$), *magnetite ulvospinel* ($\text{Fe}_{2,9}\text{O}_4\text{Ti}_{0,096}$) yang merupakan kelompok mineral besi *titanomagnetite* serta pengotor berupa senyawa silika yakni *bustamite* ($\text{Ca}_{0,81}\text{Mn}_{0,19}\text{O}_3\text{Si}$), *albite* ($\text{Al}_{1,08}\text{NaO}_8\text{Si}_{2,92}$), dan *anthophyllite* ($\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$). Selain itu hasil separasi magnetik didapatkan senyawa *titanomagnetite* yang kaya kandungan titanium dan menaikkan kadar titanium meningkat sebesar 3,42 % serta menaikkan kadar besi sebesar 49,6 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan Politeknik Industri Logam Morowali dan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya atas kesempatan untuk merealisasi penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pemberi dana penelitian atau donator dan kepada pihak-pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian dan penulisan karya ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sobirin, N. Rosita, M. Fitriawan, F. Usriyah, R. Faizal, and A. Yulianto, "Sintesis Nanokomposit Stronsium Ferit-keramik Porselin Alumina sebagai Peningkat Struktur Dielektrik Kapasitor Berbahan Dasar Pasir Besi," *J. Creat. Students*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2016.
- [2] Juharni, "Karakteristik Pasir Besi di Pantai Marina Kabupaten Bantaeng," *Skripsi Univ. Islam Negeri Alauddin Makassar*, pp. 1–77, 2016.
- [3] B. S. Mufit Fatni, Amir Harman, Fadhilah, "Kaitan Sifat Magnetik Dengan Tingkat Kehitaman (Darkness) Pasir Besi Di Pantai Masang Sumatera Barat," *EKSAKTA Vol. 2 Tahun XIV Juli 2013*, vol. 2, no. Juli, pp. 70–75, 2013, [Online]. Available: <https://123dok.com/document/yn65ggjq-kaitan-magnetik-tingkat-kehitan-darkness-pantai-masang-sumatera.html>
- [4] Bilalodin, Sunardi, and M. Effendy, "Analisis Kandungan Senyawa Kimia dan Uji Sifat Magnetik Pasir Besi Pantai Ambal," *J. Fis. Indones.*, vol. XVII, no. 50, pp. 29–31, 2013.
- [5] R. E. W. ST Risalatul Ma'rifah, Nawiyanto, "Konflik Pertambangan Pasir Besi Di Desa Wogalih, Kecamatan Yosowilangun, Kabupaten Lumajang Tahun 2010-2011," *PUBLIKA budaya*, vol. 2, no. 1, pp. 85–92, 2014.
- [6] A. F. Syah, S. Sudarti, and A. Harijanto, "Uji Sifat Magnetik Pasir Besi Pantai Di Kabupaten Lumajang Melalui Induksi Elektromagnetik," vol. 3, pp. 2527–5917, 2018.
- [7] A. N. Wicaksono and Nasution, "Konflik Tambang Pasir Besi Di Desa Selok Awar-Awar Kecamatan," *AVATARA, e-Journal Pendidik. Sej.*, vol. 9, no. 2, p. 9, 2020.
- [8] S. Susilawati *et al.*, "Identifikasi Kandungan Fe Pada Pasir Besi Alam Di Kota Mataram," *J. Pendidik. Fis. dan Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 105–110, 2018, doi: 10.29303/jpft.v4i1.571.
- [9] J. T. Geologi and F. Teknologi, "Pemetaan potensi pasir besi di desa umbulsari dan sekitarnya kecamatan tempursari kabupaten lumajang propinsi jawa timur 1,2," pp. 159–168, 2016.
- [10] J. Jatmika, W. Widanarto, M. Effendi, and R. D. X-, "Pengaruh Suhu Sintering terhadap Struktur dan Sifat Magnetik Material Mn-Zn Ferit," no. April, pp. 74–77, 2014.
- [11] N. Y. Daryanti, S. Zulaikah, N. Mufti, and D. S. Haryati, "Suseptibilitas Magnetik dan Kelimpahan Mineral Magnetik pada Tanah Sawah di Lawang dan Soekarno-Hatta, Malang," *JPSE (Journal Phys. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 48–54, 2018, doi: 10.17977/um024v3i22018p048.
- [12] S. I. Sunaryo, "Pemisahan Senyawa Titanomagnetite $\text{Fe}_3\text{-Xtixo}_4(\text{O}<\text{X}<1)$ Dari Pasir Alam Indramayu, Jawa Barat," *MAKARA, Teknol.*, vol. 14, no. a1, pp. 106–110, 2010, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/150405-ID-none.pdf>
- [13] E. Cruz-Sánchez, J. F. Álvarez-Castro, J. A. Ramírez-Picado, and J. A. Matutes-Aquino, "Study of titanomagnetite sands from

- Costa Rica,” *J. Alloys Compd.*, vol. 369, no. 1–2, pp. 265–268, 2004, doi: 10.1016/j.jallcom.2003.09.064.
- [14] N. K. T. Suandayani, “Analisa mineral magnetik dalam masalah lingkungan,” *Karya Tulis Ilm. Fis.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–25, 2018, [Online]. Available: https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_penelitian_1_dir/50ca9e1f856db5e23c9efbcd496aaaf9.pdf
- [15] I. Purawardi, “Kalkulasi Struktur Triklinik Albit Pasir Besi Titan Yogyakarta Dengan Pendekatan Kalkulasi Monoklinik,” *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 16, no. September, pp. 149–156, 2020, doi: 10.30556/jtmb.Vol16.No3.2020.1095.
- [16] A. S. Alghamdi and K. S. Almgren, “Assessment of the chemical compositions and natural radioactivity in ceramic tiles used in some Saudi Arabian buildings,” *J. Aust. Ceram. Soc.*, vol. 55, no. 4, pp. 1099–1107, 2019, doi: 10.1007/s41779-019-00324-8.
- [17] E. Boccalon, F. Rosi, M. Vagnini, and A. Romani, “Multitechnique approach for unveiling the technological evolution in building materials during the Roman Imperial Age: The Atrium Vestae in Rome,” *Eur. Phys. J. Plus*, vol. 134, no. 10, 2019, doi: 10.1140/epjp/i2019-12936-y.
- [18] A. Ghofur, D. M. Fellicia, and S. Pintowantoro, “Studi Pengaruh Variasi Daya terhadap Proses Ekstraksi TiO₂ (Rutile) dari Pasir Besi dengan Memanfaatkan Pemanasan Gelombang Mikro dan Diikuti ...,” *J. Penelit. Kim.*, vol. 2, pp. 1–6, 2015, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Abdul-Ghofur-5/publication/282665251_Study_of_The_Effect_of_Power_Variation_on_The_Extraction_Process_of_TiO2_Rutile_from_The_Iron_Sand_by_Utilizing_Microwave_Heating_and_Followed_by_Hydrochloric_Acid_Leaching/links/56