

Kelimpahan Material Magnetik di Pasir Hitam

Dewi Oktifa Rachmawati^{1*}, Nurfa Risha², Iwan Suswandi³

^{1,2,3} Fisika dan Pengajaran IPA, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received November 15, 2022

Revised November 20, 2022

Accepted January 14, 2023

Available online April 25, 2023

Kata Kunci:

Pasir Hitam, Material Magnetik, Suseptibilitas Magnetik

Keywords:

Black Sand, Magnetic Material, Magnetic Susceptibility



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Analisa keberlimpahan material magnetik pada pasir hitam pantai Nyanyi mengungkap kandungan material magnetik, ukuran butir, kerapatan, kandungan mineral magnetik, dan nilai suseptibilitas magnetik. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pasir hitam di wilayah kabupaten Tabanan. Material magnetik pasir hitam ditentukan dengan metode ekstraksi. Kandungan mineral diuji menggunakan alat XRF. Sifat kemagnetan pasir hitam ditentukan dengan menggunakan Bartingtons MS2 *Magnetic Susceptibility Meter* dan alat *Vibrating Sample Magnetometer*. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara fisik pasir pantai Nyanyi memiliki karakteristik warna abu-abu gelap cenderung hitam dan berkilap dengan fraksi berat material magnetik mencapai 95.52%. Kerapatan material magnetik yaitu 2072.6 kgm^{-3} dengan ukuran butir bervariasi $53 \leq r \leq 600 \mu\text{m}$. Rata-rata nilai suseptibilitas magnetik sebesar $27.212 \times 10^{-3} \text{ kg}^{-1}$ dengan kandungan mineral magnetik Fe_2O_3 sebesar 86.68% dan unsur Fe yaitu 89.41%. Nilai magnetisasi saturasi, magnetisasi *remanance*, dan nilai koersivitas berturut-turut mencapai 37.74 emu g^{-1} ; 4.64 emu g^{-1} ; 103.93 Oe

ABSTRACT

The analysis of the magnetic material abundance on the black sand of Nyanyi beach revealed magnetic material content, grain size, density, magnetic mineral content, and magnetic susceptibility value. The results of this study can be used for black sand development in Tabanan district. The black sand magnetic material was determined by the extraction method. Mineral content was tested by using XRF equipment, and the magnetic properties of black sand were determined by using a Bartingtons MS2 *Magnetic Susceptibility Meter* and a *Vibrating Sample Magnetometer*. The data were analyzed descriptively quantitatively. The results show that Nyanyi beach sand physically has a characteristic dark gray color, tends to be black, and shiny with a weight fraction of magnetic material reaching 95.52%. The density of the magnetic material is 2072.6 kgm^{-3} with varying grain sizes of $53 \leq r \leq 600 \mu\text{m}$. The average value of magnetic susceptibility is $27.212 \times 10^{-3} \text{ kg}^{-1}$ with Fe_2O_3 magnetic mineral content of 86.68% and the element of Fe is 89.41%. The values of saturation magnetization, remanance magnetization, and coercivity reach 37.74 emu g^{-1} ; 4.64 emu g^{-1} ; 103.93 Oe

1. PENDAHULUAN

Pantai Nyanyi adalah salah satu pantai yang terletak di daerah kabupaten Tabanan. Pantai ini menjadi daya tarik wisatawan baik lokal maupun manca negara. Deburan ombak, desiran angin, matahari tenggelam dapat dinikmati di pantai ini. Tidak seperti pantai Soka, Batu Tampih, Yeh Gangga, Kelenting, dan Pasut, pasir pantai Nyanyi berwarna lebih abu-abu tua cenderung hitam dan berkilap. Penampakan pasir hitam yang berlimpah ini dapat ditemui disepanjang bibir pantai Nyanyi, seperti ditunjukkan pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Pasir Hitam Pantai Nyanyi

*Corresponding author.

E-mail addresses: dewioktifa.r@undiksha.ac.id (Dewi Oktifa Rachmawati)

Pasir hitam ini mencirikan permukaan yang spesifik sebagai endapan pasir besi. Pasir besi ini terbentuk karena proses penghancuran oleh cuaca, air permukaan dan gelombang air laut terhadap batuan asal (Widi & Kisman., 2006). Warna hitam pada pasir pantai Nyanyi berasal dari material vulkanik Gunung Agung yang bersifat andesitik dan basaltic. Material ini terdeportasi menuju pantai melewati sungai dan berakhir di lautan. Sepanjang perjalanannya, batuan vulkanik ini terkikis dan terdeportasi menuju bibir pantai dan terendapkan. Gelombang laut dengan energi tertentu memilah dan mengakumulasikan endapan tersebut menjadi pasir besi yang terkayakan. Penampakan yang banyak disepanjang pantai memberi kemudahan untuk dimanfaatkan menjadi bahan yang bernilai tinggi.

Pasir besi memiliki ukuran butir yang berada pada rentang 0.074 – 0.075 mm. Butiran kasar berada pada rentang ukuran 3 – 5 mm dan butiran halus berada pada ukuran lebih kecil dari 1 mm. Berat jenisnya tinggi sekitar 4.2 – 5.2 gr/cm³, memiliki bobot isi (*specific gravity*) 2.99 – 4.23. dan derajat kemagnetan (MD) 6,4% - 27,16% dengan nilai kekerasan Mohr antara 5 - 6,5 (Sunaryo & Widayawidura., 2010). Butiran pasir besi ini cenderung berbentuk membundar hingga membundar tanggung. Warnanya abu-abu gelap cenderung hitam dengan butiran sangat halus.

Pasir besi merupakan mineral endapan yang mengandung unsur besi (Fe) dalam bentuk mineral *magnetite* (Fe₃O₄), *titanomagnetite* (Fe_{3-x} Ti_xO₄), *ilmenite* (FeTiO₃ /FeO.TiO₂), *hematite* (α -Fe₂O₃), *maghemite* (γ -Fe₂O₃), pirit, limonit (FeO(OH)·nH₂O) bercampur dengan mineral pengikat seperti titanium (Ti) dalam fase rutil (TiO₂), silikon (Si) dalam fase silika (SiO₂) dan lainnya (Purnawan & Azizah, Zulkarnain Jalil, 2018; Setiady, Sudjono, Hans, & Sutardi., 2020). Berdasarkan batuan asal, proses perombakan, media transportasi, proses dan tempat pengendapannya dimungkinkan terjadinya perbedaan kandungan mineral dalam material pasir besi antar pantai yang ada di berbagai wilayah Indonesia.

Kandungan mineral dalam pasir besi dapat ditentukan dengan teknik analisa X-Ray Fluorescence (XRF). Teknik ini tergolong teknik analisis non destruktif untuk mengidentifikasi serta menentukan konsentrasi elemen yang ada pada sampel padatan, serbuk, dan cairan. XRF mengukur unsur dari berilium sampai uranium pada *level trace* bahkan di bawah level ppm. Spektrum yang dihasilkan menunjukkan kandungan unsur-unsur pada tingkat energi tertentu sesuai dengan orbital yang mengalami kekosongan dan pengisian electron dari orbital selanjutnya. Konsentrasi unsur ditentukan berdasarkan pada panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi *flourosensi* yang dihasilkan sampel saat diradiasikan dengan sinar-X (N.Brouwer, 2010).

Mineral magnetic pada pasir besi memiliki respon yang kuat terhadap medan magnet eksternal. Respon momen magnetic terhadap pengaruh medan magnet luar mengklasifikasikan bahan kedalam kategori bahan diamagnetik, paramagnetik, ferromagnetik, antiferromagnetik dan, ferrimagnetik. Bahan bersifat diamagnetik menunjukkan polarisasi magnet terinduksi berlawanan arah dengan medan magnet luar. Medan magnet di dalam bahan ini dilemahkan bilamana ditempatkan dalam medan luar. Suseptibilitas magnetik bahan ini bernilai negatif, $\chi_m < 0$ dan berada dalam orde 10⁻⁵ m³/kg (Kittel., 2005).

Momen-momen magnet permanen bahan paramagnetik, mempunyai arah acak tanpa adanya medan luar. Dibutuhkan medan magnet luar yang besar untuk menyelaraskan dipole magnet pada orientasi tertentu. Nilai suseptibilitas magnetik bahan ini positif dan kecil berada pada rentang orde 10⁻⁵ sampai 10⁻³ m³/kg dan berbanding terbalik dengan temperature (Kittel., 2005). Bahan ferromagnet memiliki momen magnet spontan. Dipol magnetnya cenderung parallel satu sama lainnya. Nilai suseptibilitas magnetik bahan ferromagnetik, $\chi_m \gg 0$ dan meningkat ketika temperature mendekati temperature kritis. Bahan antiferromagnetik tidak menunjukkan magnetisasi. Tanpa medan magnet luar, momen-momen magnet yang berdekatan saling meniadakan. Jika medan luar dikenakan, magnetisasi timbul dalam arah medan luar yang bertambah terhadap temperature. Nilai suseptibilitas magnetik bahan ini mencapai nilai maksimum pada suhu kritis. Bahan ferrimagnetik adalah bahan yang memiliki magnetisasi spontan, dengan dua subkisi magnetik yang momen-momen magnetiknya tidak sama dan berlawanan.

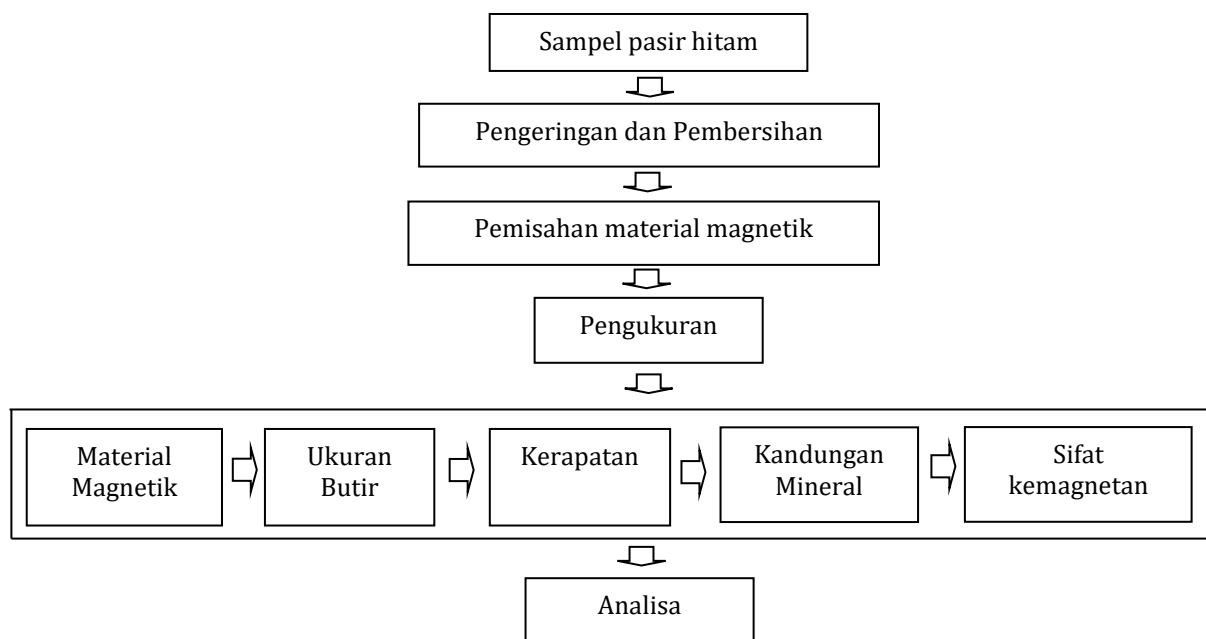
Proses dimagnetisasi dan demagnetisasi material magnetic digambarkan oleh kurva histerisis. Dibawah pengaruh medan magnet, magnetisasi akan maksimum saat keselarasan momen magnet material tercapai. Dari kurva histerisis, material magnet dapat dibedakan menjadi dua yaitu material magnetik lunak (*soft magnetic materials*) dan keras (*hard magnetic materials*). Kurva histerisis bentuk sempit/ramping. dicirikan oleh nilai permeabilitasnya tinggi. Tingginya nilai permeabilitas ini menunjukkan mudahnya material dijadikan magnet. Retentivitas rendah, menunjukkan material lemah dalam mempertahankan medan magnet *remanance*. Diperlukan gaya magnet yang kecil untuk menghilangkan adanya medan magnet *remanance* pada material. Material hanya mampu menahan medan magnet *remanance* dalam jumlah kecil. Sifat magnetiknya hanya bertahan apabila material magnet ini berada dalam suatu medan magnetik. Material magnet lunak tidak mengalami magnetisasi yang permanen (Muhardi, Muliadi, & Zulfian, 2020; Nor Irham Nor Azan et al., 2020).

Pantai-pantai di wilayah Tabanan mengindikasikan pasir hitamnya mengandung material magnetik yang tinggi. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan material magnetik pada pasir hitam di

pantai Soka dan Yeh Gangga hingga mencapai 86.5% dengan kandungan unsur Fe dominan, ukuran butir terkecil, $53 \leq r < 75 \mu\text{m}$ dan kerapatannya 1.9 -2.2 gr/cm^3 (R., Risha, & Suswandi, 2022; Tabita, Palloan, & Tiwow, 2021). Perbedaan proses sedimentasi dan mineralisasi pada batuan asal memungkinkan pasir hitam pantai Nyanyi memiliki karakteristik yang berbeda pula. Pengungkapan kandungan mineral, keberlimpahan dan sifat magnetik pada pasir hitam pantai Nyanyi menarik untuk dikaji. Pengungkapan itu dapat memberikan manfaat bagi pengembangan pasir hitam di wilayah ini. Potensi material magnetik pasir hitam ini melengkapinya kekayaan dan keindahan alam pantai Nyanyi.

2. METODE

Sampel pasir hitam diambil di tiga titik lokasi berbeda pada permukaan pantai secara acak. Prosedur penelitian ini disajikan pada Gambar 2.



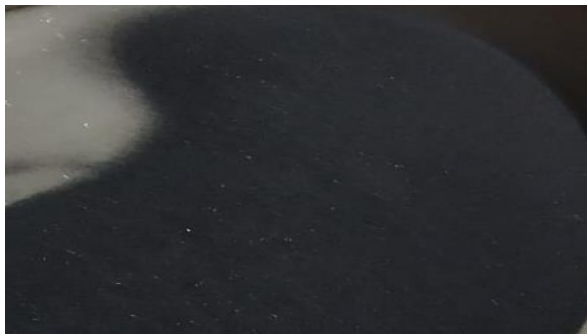
Gambar 2. Prosedur Penelitian

Pasir hitam dipisahkan dari pengotor secara alami. Sampel tidak diberikan perlakuan seperti pencucian dengan NaOH sebelum dilakukan pengukuran terhadap material magnetik, kerapatan, ukuran butir dan sifat magnet. Sebanyak 450 gram sampel pasir hitam dilakukan pengukuran terhadap kandungan material magnetik. Material magnetik dan non magnetik dipisahkan dengan dengan metode ekstraksi menggunakan magnet permanen sebanyak 10 kali. Kerapatan material magnetik pasir hitam ditentukan dengan prinsip rasio massa terhadap volume. Ukuran butir material magnetik ditentukan dengan metode ayak/saring menggunakan mesin *sieve shaker*. Mesh ditumpuk dengan nomor yang kecil yaitu 30 berada pada bagian atas dilanjutkan nomor 100, 170, 200, 270, dan 325. Pengukuran kandungan unsur dan senyawa oksida pada pasir hitam menggunakan metode hamburan electron dengan alat ukur *X-Ray Fluorensence* (XRF). Tingkat kemagnetan pasir hitam untuk termagnetisasi ditentukan melalui nilai suseptibilitas dengan metode *Anisotropic of Magnetic Susceptibility* (AMS) menggunakan alat Susceptibility Meter (SM) dan alat *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Seluruh data dianalisis secara deskriptif kuantitatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara fisik sampel pasir hitam pantai Nyanyi ini memiliki warna pasir abu-abu gelap cenderung hitam dan berkilap, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Warna abu-abu gelap dan berkilap mengindikasikan sampel pasir hitam mengandung unsure Fe dalam mineral magnetik Fe_2O_3 . Semakin hitam warna pasir, sifat magnet semakin kuat (Mufit, Amir, Fadhilah, & Bijaksana., 2013). Kandungan mineral Fe_2O_3 pada pasir hitam memiliki kenampakan kilap bervariasi dari *submetallic* sampai *metallic*. Rentang warna *hematite* berada pada merah karat hingga coklat dan hitam hingga abu-abu perak (Cornell & U.Schwertmann, 2003).

Sampel pasir hitam ini tertarik oleh magnet permanen, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pasir hitam yang tertarik magnetik digolongkan dalam material magnetik. Sedangkan pasir yang tidak tertarik oleh magnet digolongkan dalam material non magnetik. Tertariknya sampel pasir hitam ini mengindikasikan adanya kandungan unsur besi (Fe) dalam mineral magnetik Fe₂O₃.



Gambar 3. Warna Sampel Pasir Hitam



Gambar 4. Sampel Pasir Hitam Tertarik Magnet Permanen

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan mineral pada pasir hitam yang mengandung unsur Fe terdiri dari mineral *magnetite*, *hematite*, *limonite*, dan *ilmenite* (Setiady et al., 2020). Fraksi berat mineral magnetik dan non magnetik pada sampel pasir hitam disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Fraksi Berat Material Magnetik pada Sampel Pasir Hitam

Sampel	Massa (gr)		Fraksi berat material magnetik (%)
	Magnetik	Non magnetik	
N1	426.0045	23.9955	94.67
N2	438.3122	11.6878	97.40
N3	425.1601	24.8399	94.48
\bar{x}	429.8256	20.1744	95.52
SD	7.3617	7.3617	1.64

Rata-rata fraksi berat material magnetik pada sampel pasir hitam pantai Nyanyi mencapai 95.52%. Sedangkan pasir hitam di pantai Soka Tabanan mengandung mineral magnetik dengan fraksi berat mencapai 86.52% (R. et al., 2022). Angka ini menunjukkan jumlah mineral magnet pada sampel pasir hitam di pantai Nyanyi lebih tinggi. Tabel 2 menunjukkan keberlimpahan material magnetik pada sampel pasir hitam pantai Nyanyi. Kandungan material magnetik yang tinggi mengidentifikasi bahwa sampel pasir hitam pantai Nyanyi memiliki kandungan unsur Fe yang tinggi. Kandungan Fe terdapat dalam mineral *magnetite*, *hematite*, *maghemite*, *ilmenite*, *pirite*, *kalkopirit*, *bonit* dan *titanomagnetite* (Nugraha, Handayani, Kartikasari, & Sulaeman., 2021).

Kerapatan material magnetic pada sampel pasir hitam pantai Nyanyi sebesar 2072.63 kg/m³. Endapan pasir besi pada kedalaman 0-1 m memiliki kerapatan 2,56 -3,85 gr/cm³ (Suwahyadi, Ernowo, Sunuhadi, & Islah, 2021). Kerapatan pasir hitam pantai selatan di Pulau Bali bervariasi berada pada rentang nilai 1827.10 kg/m³ - 2186.87 kg/m³ (R. et al., 2022) Distribusi ukuran butir material magnetik pada sampel pasir besi di pantai Nyanyi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Ukuran Butir Material Magnetik Sampel Pasir Hitam

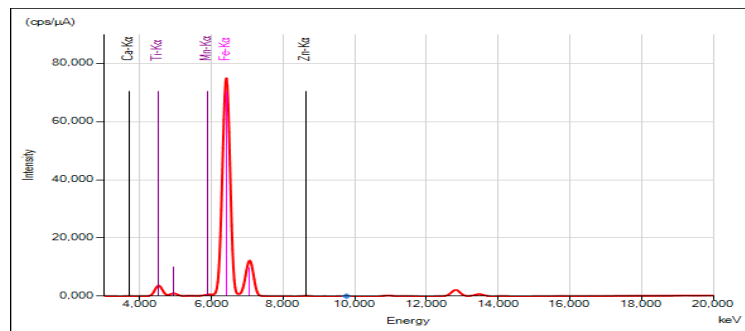
Sampel	Massa (gr)	Ukuran Butir (%)					
		$r \geq 600 \mu m$	$150 \leq r < 600 \mu m$	$90 \leq r < 150 \mu m$	$75 \leq r < 90 \mu m$	$53 \leq r < 75 \mu m$	$45 \leq r < 53 \mu m$
N1	426.0045	0.00	75.61	24.15	0.20	0.04	0.00
N2	438.3122	0.04	95.57	4.30	0.05	0.04	0.00
N3	425.1601	0.00	76.85	22.99	0.16	0.00	0.00
\bar{x}	429.8256	0.01	82.68	17.15	0.13	0.03	0.00

Berdasarkan Tabel 2, ukuran butir material magnetik dikelompokkan menjadi 7 kelompok yaitu sampel dengan ukuran butir $r \geq 600 \mu m$, $150 \leq r < 600 \mu m$, $90 \leq r < 150 \mu m$, $75 \leq r < 90 \mu m$, $53 \leq r < 75 \mu m$, $45 \leq r < 53 \mu m$ dan $r < 45 \mu m$. Hanya 0.01% material magnetik pada sampel pasir hitam

yang memiliki ukuran butir $r \geq 600 \mu m$. Material magnetik pada sampel pasir hitam dominan memiliki ukuran butir $150 \leq r < 600 \mu m$. Material magnetik dengan ukuran butir $90 \leq r < 150 \mu m$ sebanyak 17.15% dan 0.13% memiliki ukuran butir $75 \leq r < 90 \mu m$. Hanya 0.03% material magnetik pada sampel pasir hitam memiliki ukuran $53 \leq r < 75 \mu m$. Dan tidak ada material magnetik yang berukuran $45 \leq r < 53 \mu m$ dan $r < 45 \mu m$.

Ukuran butir pada material magnetic pasir hitam di pantai Nyanyi terdistribusi pada ukuran $53 \leq r \leq 600 \mu m$. Pasir hitam pantai Rambut Siwi, Baluk Rening, dan Candi Kuning di kabupaten Jembrana dan pantai Soka, Yeh Gangga di kabupaten Tabanan memiliki tekstur lebih halus, dengan distribusi ukuran butir $90 \leq r < 150 \mu m$ hingga mencapai 70.89% (R. et al., 2022). Berdasarkan nilai raba pada permukaan sampel pasir hitam menunjukkan bahwa pasir hitam pantai Nyanyi bertekstur halus.

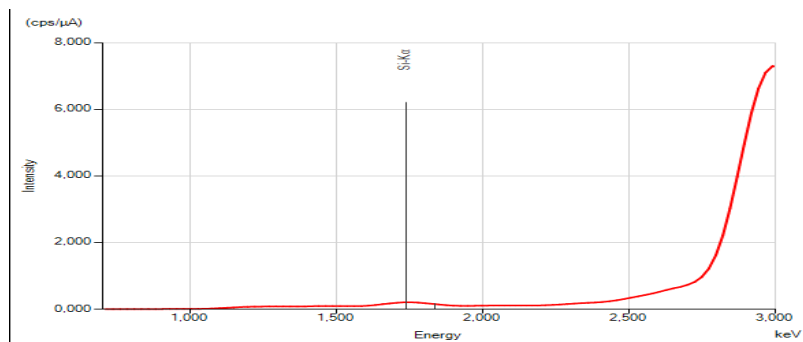
Hasil screening terhadap sampel pasir hitam dengan alat ED-XRF tipe NEX QC + QuantileZ, merek Rigaku tahun 2015 diperoleh dalam bentuk spectrum Z rendah, menengah dan tinggi. Spektrum Z menengah, rendah dan tinggi pada sampel mineral magnetik pasir hitam pantai Nyanyi disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Spektrum Z Menengah

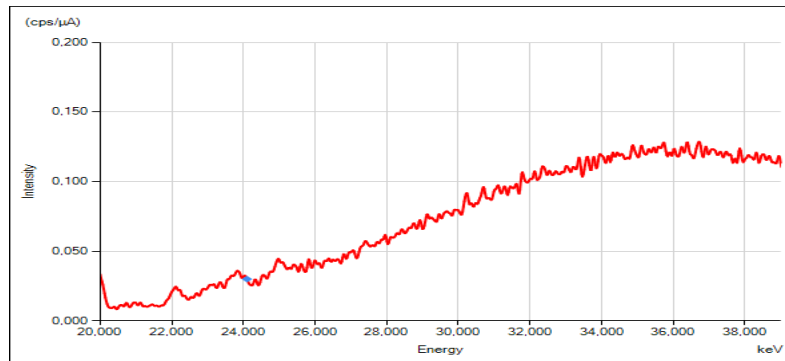
Spektrum pada Gambar 5 menunjukkan bahwa intensitas sinar-X karakteristik yang dipancarkan oleh elektron yang bertransisi ke kulit K oleh unsur-unsur dengan Z menengah pada rentang energi 0 – 20.000 keV. Lima puncak intensitas sinar-X karakteristik muncul pada unsur kalsium (Ca), titanium (Ti), mangan (Mn), besi (Fe), dan seng (Zn) pada energi berbeda. Intensitas tersebut bernilai lebih dari 60.000 cps/ μA . Intensitas sinar-X karakteristik tertinggi diemisikan oleh unsure Fe. dan diikuti intensitas unsur lainnya.

Pada spektrum Z rendah, hanya satu unsur yaitu unsur silicon (Si) yang terdeteksi alat ukur ini. Intensitas sinar-X karakteristik yang diemisikan sebagai hasil transisi electron pada unsur silicon (Si) lebih kecil dibanding intensitas sinar-X karakteristik pada unsur Fe. Intensitas ini bernilai lebih dari 6.000 cps/ μA pada energi 1.750 keV, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum Z Rendah

Pada spektrum Z tinggi, tidak ditemukan puncak-puncak intensitas sinar-X karakteristik hasil transisi electron pada energy 20.000 -38.000 keV seperti ditunjukkan pada spektrum Z rendah dan menengah. Berdasarkan spektrum ini, tidak ditemukan unsur dengan Z tinggi pada material magnetic sampel pasir hitam yang terdeteksi oleh alat uji XRF tipe ini, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Spektrum Z Tinggi

Kandungan mineral pada sampel pasir hitam pantai Nyanyi diukur dengan alat ED-XRF tipe NEX QC + QuantileZ, merek Rigaku disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan Unsur pada Sampel Material Magnetic Pasir Hitam

Sampel	% W					
	Si	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn
N	0.74	0.24	8.93	0.53	89.41	0.16

Tabel 3 menunjukkan kandungan unsur pada sampel pasir hitam pantai Nyanyi terdiri dari unsur silikon, kalsium, titanium, mangan, besi dan seng. Unsur dominan adalah Fe, mencapai 89.41%. Kandungan unsur Fe ini lebih tinggi dibandingkan kandungan unsur Fe pada material magnetik pasir hitam di pantai Rambut Siwi, Yeh Gangga, Soka, Padang Galak, Saba, Tegal Besar, dan Yeh Melet (R. et al., 2022). Sedangkan penelitian lainnya menunjukkan kandungan unsur Fe pada pasir besi di pantai Pantaru Alor NTT hanya mencapai 78.07% (Karbeka, Koly, & Tellu, 2020). Pasir besi pantai di kota Mataram kandungan Fe maksimal mencapai 76.8% (Susilawati et al., 2018). Pantai Betaf Sarmi Papua pasir hitamnya mengandung Fe sebanyak 43.81% (Haryati, Dahlan, & Wirman., 2019) dan pasir hitam di pantai Mukomuko Bengkulu mencapai 45.73% (Kamiludin, Darlan, & Setiady, 2012). Kandungan unsur Fe yang tinggi ini menunjukkan adanya kandungan materi magnetik yang tinggi pada sampel pasir hitam. Unsur Si, Ca, Zn, Ti dan Mn yang terkandung dalam mineral dipandang sebagai pengotor yang dapat menurunkan sifat kemagnetan.

Selain itu ditemukan kandungan unsur titanium mencapai 8.93% pada pasir hitam di pantai Nyanyi dan unsur mangan sebanyak 0.53%. Kandungan mineral pada sampel pasir hitam di pantai Nyanyi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan Mineral pada Sampel Pasir Hitam

Sampel	% W					
	SiO ₂	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	ZnO
N	1.31	0.24	11.17	0.48	86.68	0.12

Sampel pasir hitam mengandung mineral yang bersifat magnetik dan non magnetik, ditunjukkan pada Tabel 4. Material magnetik dari mineral hematite (Fe₂O₃) bersifat antiferomagnetik mencapai 86.68%. Material magnetik lainnya yaitu CaO bersifat paramagnetik, MnO bersifat antiferomagnetik dan ZnO bersifat ferrimagnetik dengan kandungan mineral kurang dari 0.5%. Sedangkan material non magnetic sebesar 1.31%, kontribusi dari mineral kuarsa (SiO₂) yang bersifat diamagnetik. Sifat kemagnetan sampel dibentuk dari kontribusi kemagnetan pada mineral hematite, CaO, MnO, dan ZnO. Hasil uji XRF membuktikan material magnetik pada sampel pasir hitam, dominan mengandung mineral hematite yang bersifat antiferomagnet (Dearing, 1999). Kandungan mineral hematite yang dominan ini memberi sifat dapat ditarik magnet dan penampakan sampel pasir pantai Nyanyi berwarna abu-abu gelap cenderung hitam.

Hematite menjadi mineral utama dalam industri berbasis sifat kemagnetan (Yulianto, Bijaksana, Loeksmanto, & Kurnia., 2019). Hematite sebagai bahan baku pembuatan baterai Lithium (Prasetyo, Prasetyo, & Matahari., 2014). Kandungan mineral lainnya sebagai mineral ikutan berada dalam jumlah relative kecil. Jumlah mineral titanium dioksida (TiO₂) pada sampel pasir hitam sebanyak 11.17%. Oksida titanium ini dapat diaplikasikan pada bidang kosmetik sebagai tabir surya (Ko et al., 2012). Pigmen putih

dalam industri cat, katalis pengolahan limbah, sel surya, komponen barang elektronik (Shaheed & Hussein, 2015).

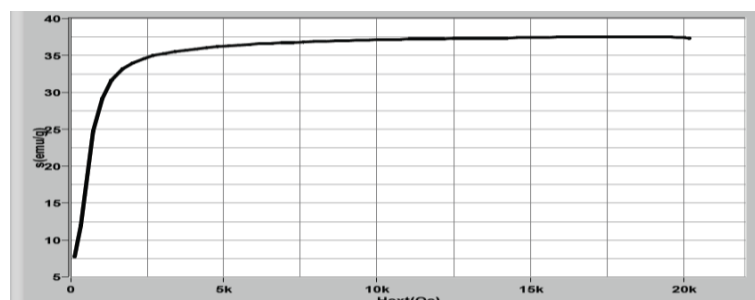
Tingkat kemagnetan suatu material dalam responnya terhadap medan eksternal dinyatakan dengan besaran suseptibilitas magnet. Suseptibilitas magnetik pada sampel pasir hitam pantai Nyanyi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Suseptibilitas Magnet pada Sampel Pasir Hitam Pantai

Sampel	Suseptibilitas	
	Volume κ_{lf} (10^{-5})	Massa χ_{lf} ($10^{-6}m^3/kg$)
N1	5640	27.212
N2	6570.6	31.702
N3	5856.2	28.255
\bar{x}	5640	27.212

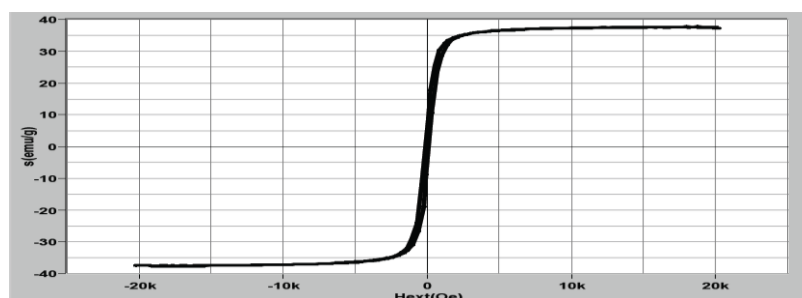
Rata-rata suseptibilitas magnetik volume dan massa terukur pada sampel pasir hitam pantai Nyanyi yaitu 5640×10^{-15} dan $27.212 \times 10^{-6}m^3/kg$. Tingginya nilai suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah menunjukkan tingginya kandungan unsur Fe pada mineral magnetic hematite. Hasil ini sesuai dengan hasil karakterisasi XRF yang ditunjukkan pada Tabel 3, dan Tabel 4. Unsur besi (Fe) mendominasi dibanding unsur-unsur pengikut lainnya seperti titanium (Ti), mangan (Mn), silicon (Si), seng (Zn) dan kalsium (Ca). Nilai suseptibilitas magnetik pada sampel pasir hitam dominan dikontrol oleh mineral hematite yang bersifat antiferromagnetik. Nilai suseptibilitas massa pada material hematite berada pada rentang nilai $1.19-1.69 \times 10^{-6} m^3/kg$ (Dearing, 1999).

Nilai suseptibilitas magnetik pasir besi di beberapa pantai selatan di wilayah Indonesia beragam. Suseptibilitas magnetik pada Gumuk Batu Pasir Sumalu Kecamatan Rantebua Kabupaten Toraja Utara berkisar $5.7 \times 10^{-8} m^3/kg - 14.7 \times 10^{-8} m^3/kg$ (Tabita et al., 2021). Material magnetic Pasir besi di kabupaten Sijujung Sumatra Barat memiliki suseptibilitas berkisar $1.0294 \times 10^{-4} m^3/kg - 1.1415 \times 10^{-4} m^3/kg$ (Siregar & Budiman, 2015). Magnetisasi material magnetic pada sampel pasir hitam pantai Nyanyi disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva Magnetisasi pada Sampel Pasir Hitam

Ekstrapolasi kurva pada Gambar 8 menunjukkan medan magnet pada sampel sebelum diterapkan medan eksternal tidak nol. Domain magnet pada sampel pasir hitam yang terorientasi dengan arah medan meningkat dengan penambahan medan eksternal. Magnetisasi maksimum yang dicapai saat seluruh momen magnet selaras yaitu 37.40 emu/g. Besar medan eksternal yang dibutuhkan adalah 20.169 kOe atau 1605 kA/m. Besaran-besaran sifat magnet sebagai akibat dari perubahan medan magnet eksternal ditunjukkan oleh kurva histeresis pada Gambar 9.



Gambar 9. Kurva Histeresis pada Sampel Pasir Hitam

Berdasarkan kurva histerisis pada Gambar 9, besar magnetisasi saturasi (M_s) mencapai 37.74 Am²kg pada medan eksternal 20.239 kOe atau 1611 kA/m Magnetisasi *remanance* (M_r) pada sampel ketika medan eksternal diturunkan hingga nol sebesar 4.64 Am²kg. Sedangkan medan magnet yang dibutuhkan untuk menghasilkan magnetisasi nol pada sampel yang telah termagnetisasi (H_c) sebesar 103.93 Oe atau 8.3 kA/m. Energi yang diperlukan selama proses magnetisasi dan demagnetisasi sebesar 4.6 kOe.emu/g.

Hasil analisis kurva histerisis menunjukkan kurva histerisis berbentuk kurva sempit atau ramping. Berdasarkan bentuk kurva tersebut menunjukkan mineral magnetik pada sampel pasir hitam mudah dimagnetisasi dan demagnetisasi, hanya diperlukan medan eksternal sebesar 20.239 kOe untuk magnetisasi agar sampel terorientasi dengan medan eksternal, medan magnet *remanance* yang dapat ditahan dalam sampel sebesar 4.64 emu/g, dan diperlukan gaya magnet yang kecil yaitu 103.93 Oe untuk menghilangkan adanya medan magnet *remanance* dalam sampel. Berdasarkan perhitungan diperoleh permeabilitas relatif sebesar 1.0002346. Hasil analisa kurva histerisis dan nilai permeabilitas relatif menunjukkan bahwa pasir hitam pantai Nyanyi tergolong material magnet lunak yang bersifat antiferromagnetik. Sampel pasir hitam menunjukkan sifat magnet yang kuat dalam medan magnet eksternal tetapi kehilangan sifat magnetnya setelah medan magnet eksternal dihilangkan.

Penelitian sebelumnya menunjukkan mineral pasir besi pantai Ambal Kecamatan Mirit bersifat ferromagnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik sebesar 31,88 x10⁻⁶ m³/kg (Bilalodin, Sunardi, & Effendy, 2013). Sedangkan mineral magnetic pasir besi pantai di wilayah Lampung Tengah bersifat antiferromagnetik (Puspitarum, Safitri, Ardiyanti, & Anrokhi, 2019). Mineral magnetic pasir besi di pantai Betaf Sarmi bersifat superparamagnetik (Haryati et al., 2019).

Pasir hitam ini mencirikan permukaan yang spesifik sebagai endapan pasir besi. Pasir besi ini terbentuk karena proses penghancuran oleh cuaca, air permukaan dan gelombang air laut terhadap batuan asal (Widi & Kisman., 2006). Warna hitam pada pasir pantai Nyanyi berasal dari material vulkanik Gunung Agung yang bersifat andesitik dan basaltic. Material ini terdeportasi menuju pantai melewati sungai dan berakhir di lautan. Sepanjang perjalanannya, batuan vulkanik ini terkikis dan terdeportasi menuju bibir pantai dan terendapkan. Gelombang laut dengan energi tertentu memilah dan mengakumulasikan endapan tersebut menjadi pasir besi yang terkayakan. Penampakan yang banyak disepanjang pantai memberi kemudahan untuk dimanfaatkan menjadi bahan yang bernilai tinggi.

Pasir besi memiliki ukuran butir yang berada pada rentang 0.074 – 0.075 mm. Butiran kasar berada pada rentang ukuran 3 – 5 mm dan butiran halus berada pada ukuran lebih kecil dari 1 mm. Berat jenisnya tinggi sekitar 4.2 – 5.2 gr/cm³, memiliki bobot isi (*specific gravity*) 2.99 – 4.23. dan derajat kemagnetan (MD) 6,4% - 27,16% dengan nilai kekerasan Mohr antara 5 - 6,5 (Sunaryo & Widayawidura., 2010). Butiran pasir besi ini cenderung berbentuk membundar hingga membundar tanggung. Warnanya abu-abu gelap cenderung hitam dengan butiran sangat halus.

Pasir besi merupakan mineral endapan yang mengandung unsur besi (Fe) dalam bentuk mineral *magnetite* (Fe₃O₄), *titanomagnetite* (Fe_{3-x} Ti_xO₄), *ilmenite* (FeTiO₃ /FeO.TiO₂), *hematite* (α -Fe₂O₃), *maghemite* (γ -Fe₂O₃), pirit, limonit (FeO(OH)·nH₂O) bercampur dengan mineral pengikat seperti titanium (Ti) dalam fase rutil (TiO₂), silicon (Si) dalam fase silica (SiO₂) dan lainnya (Purnawan & Azizah, Zulkarnain Jalil, 2018; Setiady, Sudjono, Hans, & Sutardi., 2020). Berdasarkan batuan asal, proses perombakan, media transportasi, proses dan tempat pengendapannya dimungkinkan terjadinya perbedaan kandungan mineral dalam material pasir besi antar pantai yang ada di berbagai wilayah Indonesia.

Kandungan mineral dalam pasir besi dapat ditentukan dengan teknik analisa X-Ray Fluorescence (XRF). Teknik ini tergolong teknik analisis non destruktif untuk mengidentifikasi serta menentukan konsentrasi elemen yang ada pada sampel padatan, serbuk, dan cairan. XRF mengukur unsur dari berilium sampai uranium pada *level trace* bahkan di bawah level ppm. Spektrum yang dihasilkan menunjukkan kandungan unsur-unsur pada tingkat energi tertentu sesuai dengan orbital yang mengalami kekosongan dan pengisian electron dari orbital selanjutnya. Konsentrasi unsur ditentukan berdasarkan pada panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi *fluoresensi* yang dihasilkan sampel saat diradiasikan dengan sinar-X (N.Brouwer, 2010).

Mineral magnetic pada pasir besi memiliki respon yang kuat terhadap medan magnet eksternal. Respon momen magnetic terhadap pengaruh medan magnet luar mengklasifikasikan bahan kedalam kategori bahan diamagnetik, paramagnetik, ferromagnetik, antiferromagnetik dan ferrimagnetik. Bahan bersifat diamagnetik menunjukkan polarisasi magnet terinduksi berlawanan arah dengan medan magnet luar. Medan magnet di dalam bahan ini dilemahkan bilamana ditempatkan dalam medan luar. Suseptibilitas magnetik bahan ini bernilai negatif, $\chi_m < 0$ dan berada dalam orde 10⁻⁵ m³/kg (Kittel., 2005).

Momen-momen magnet permanen bahan paramagnetik, mempunyai arah acak tanpa adanya medan luar. Dibutuhkan medan magnet luar yang besar untuk menyelaraskan dipole magnet pada orientasi tertentu. Nilai suseptibilitas magnetik bahan ini positif dan kecil berada pada rentang orde 10⁻⁵ sampai 10⁻³ m³/kg dan berbanding terbalik dengan temperature (Kittel., 2005). Bahan ferromagnet memiliki momen

magnet spontan. Dipol magnetnya cenderung parallel satu sama lainnya. Nilai susceptibilitas magnetic bahan ferromagnetic, $\chi_m \gg 0$ dan meningkat ketika temperature mendekati temperature kritis. Bahan antiferomagnetik tidak menunjukkan magnetisasi. Tanpa medan magnet luar, momen-momen magnet yang berdekatan saling meniadakan. Jika medan luar dikenakan, magnetisasi timbul dalam arah medan luar yang bertambah terhadap temperature. Nilai susceptibilitas magnetic bahan ini mencapai nilai maksimum pada suhu kritis. Bahan ferrimagnetik adalah bahan yang memiliki magnetisasi spontan, dengan dua subkisi magnetic yang momen-momen magnetiknya tidak sama dan berlawanan.

4. SIMPULAN

Keberlimpahan material magnetik pada pasir hitam pantai Nyanyi ditunjukkan oleh kandungan material magnetiknya sebanyak 95.52%. Rata-rata nilai susceptibilitas magnetik sebesar $27.212 \times 10^{-3} \text{ kg}^{-1}$ dengan kandungan mineral magnetik Fe_2O_3 sebesar 86.68% dan unsur Fe yaitu 89.41%. Nilai magnetisasi saturasi, magnetisasi *remanance*, dan nilai koervisitas berturut-turut sebesar 37.74 emu g^{-1} ; 4.64 emu g^{-1} ; 103.93 Oe dan luas loop 4.6 kOe.emu/g. Pasir hitam pantai Nyanyi berwarna abu-abu gelap cenderung hitam dan berkilap dengan ukuran butir bervariasi $53 \leq r \leq 600 \mu\text{m}$ dan memiliki kerapatan 2072.6 kgm^{-3} . Bagi peneliti selanjutnya, perlu dilakukan kajian kekuatan pasir hitam pantai Nyanyi dalam aplikasinya di masyarakat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Universitas Pendidikan Ganesha yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah Penelitian Dasar dengan nomor kontrak:721/UN.48.16/LT/2022 dan pusat riset BRIN Serpong yang telah memfasilitasi pengujian VSM.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Bilalodin, Sunardi, & Effendy, M. (2013). Analisis Kandungan Senyawa Kimia dan Uji Sifat Magnetik Pasir Besi Pantai Ambal. *Jurnal Fisika Indonesia*, 17(50). <https://doi.org/10.22146/jfi.24420>.
- Cornell, R. M., & U.Schwertmann. (2003). *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences, and Uses*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co CgaA Weinheim.
- Dearing, J. (1999). *Environment Magnetic Susceptibility*. John Wiley and Sons Ltd.
- Haryati, E., Dahlan, K., & Wirman., S. P. (2019). Karakterisasi Dan Sifat Kemagnetan Pasir Besi Ekstraksi Asal Pantai Betaf Sarmi, Papua. *Jurnal Photon*, 9(2). <https://doi.org/10.37859/jp.v9i2.1201>.
- Kamiludin, U., Darlan, Y., & Setiady, D. (2012). Kaitan Tipologi Pantai Dengan Keberadaan Pasir Besi Di Pantai Mukomuko, Bengkulu. *Jurnal Geologi Kelautan*, 10(2). <https://doi.org/10.32693/jgk.10.2.2012.216>.
- Karbeka, M., Koly, F. V. L., & Tellu, N. M. (2020). Karakterisasi Sifat Kemagnetan Pasir Besi Pantai Puntaru Kabupaten Alor-NTT. *Lantanida Journal*, 8(2). <https://doi.org/10.22373/lj.v8i2.7867>.
- Kittel, C. (2005). *Introduction to Solid State Physics. Eighth Edition*. JohnWiley & Sons, Inc.
- Ko, H.-H., Chen, H.-T., Yen, F.-L., Lu, W.-C., Kuo, C.-W., & Wang., M.-C. (2012). Preparation of TiO₂ Nanocrystallite Powders Coated with 9 mol% ZnO for Cosmeic Applications in Sunscreens. *International Journal of Molecular Acienes*, 13, 1658–1669. <https://doi.org/10.3390/ijms13021658>.
- Mufit, F., Amir, H., Fadhilah, & Bijaksana., S. (2013). Kaitan Sifat Magnetik Dengan Tingkat Kehitaman (Darkness) Pasir Besi Di Pantai Masang Sumatera Barat. *EKSAKTA*, 2. Retrieved from <https://ejournal.unp.ac.id/index.php/eksakta/article/view/2839>.
- Muhardi, Muliadi, & Zulfian. (2020). Model 3D Sebaran Lindi pada Lapisan Tanah di Area TPA Batulayang Pontianak Kalimantan Barat Berdasarkan Nilai Resistivitas. *Jurnal Fisika Flux*, 17(2), 73–79. <https://doi.org/10.20527/flux.v17i2.7713>.
- N.Brouwer, P. (2010). *Theory of XRF*. PANalytical BV, The Netherlands. 3rd edition.
- Nor Irham Nor Azan, M., Kamal, P. N. S. M. M., Rasmadi, M. A. A., Adzhar, M. H., Zakaria, M. A., Taufek, A. S. A., ... Alikasturi, A. S. (2020). Production of biodiesel from palm oil refinery pilot plant waste using Ni/CaO (ES) catalyst. *Materials Today: Proceedings*, 31, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.012>.
- Nugraha, R. S., Handayani, T., Kartikasari, N. I., & Sulaeman. (2021). Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi Tahun Anggaran 2021, 1(13), 39–51.
- Prasetyo, A. B., Prasetyo, P., & Matahari., I. (2014). Pembuatan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Dari Hasil Pengolahan Bijih Besi Primer JenisHematit Untuk Bahan Baku Baterai Lithium. . *Majalah Metalurgi*, 29(3), 179-190.

- <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v29i3.290>.
- Purnawan, S., & Azizah, Zulkarnain Jalil, M. Z. (2018). Karakteristik Sedimen dan Kandungan Mineral Pasir Besi di Labuhan Haji Timur, Kabupaten Aceh Selatan. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 13(2), 110–119. <https://doi.org/10.23955/rkl.v13i2.10532>.
- Puspitarum, D. L., Safitri, G., Ardiyanti, H., & Anrokhi, M. S. (2019). Karakterisasi Dan Sifat Kemagnetan Pasir Besi di Wilayah Lampung Tengah. *Jurnal Pendidikan Fisika Universitas Muhammadiyah Metro*, 7(2), 236–243. <https://doi.org/10.24127/jpf.v7i2.2189>.
- R., D. O., Risha, N., & Suswandi, I. (2022). Identifikasi Kualitas Pasir Hitam Pantai Selatan Pulau Bali. Undiksha, 16 September. In *Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Riset Inovatif*.
- Setiady, D., Sudjono, E. H., Hans, D. Z., & Sutardi. (2020). Kandungan Mineral Pada Pasir Besi Di Pantai Loji Dan Ciletuh, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat Berdasarkan Data Bor Dan Georadar. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 16(3), 125–138. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol16.No3.2020.1117>.
- Shaheed, M. A., & Hussein, F. H. (2015). Preparation and Applications of Titanium Dioxide and Zinc Oxide Nanoparticles. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2(11), 1–3. <https://doi.org/10.4172/2380-2391.1000e109>.
- Siregar, S., & Budiman, A. (2015). Penentuan Nilai Suseptibilitas Magnetik Mineral Magnetik Pasir Besi Sisa Pendulangan Emas Di Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 4(4). <https://doi.org/10.25077/jfu.4.4.%25p.2015>.
- Sunaryo, & Widyawidura, W. (2010). Metode Pembelajaran Bahan Magnet Dan Identifikasi Kandungan Senyawa Pasir Alam Menggunakan Prinsip Dasar Fisika. *Cakrawala Pendidikan*, 1. <https://doi.org/10.21831/cp.v1i1.219>.
- Susilawati, S., Doyan, A., Taufik, M., Wahyudi, Gunawan, E. R., Kosim, K., ... Khair, H. (2018). Identifikasi Kandungan Fe Pada Pasir Besi Alam Di Kota Mataram. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 4(1). <https://doi.org/10.29303/jpft.v4i1.571>.
- Suwahyadi, Ernowo, Sunuhadi, D. N., & Islah, T. (2021). Proseding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi Tahun Anggaran 2021. *Online Public Access Catalog Perpustakaan Nasional RI*, 1(13), 23-37. Retrieved from <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=1146344>.
- Tabita, N., Palloan, P., & Tiwow, V. A. (2021). Analisis Jenis Mineral Pada Gumuk Batu Pasir Sumalu Kecamatan Rantebua Kabupaten Toraja Utara Dengan Menggunakan Metode Suseptibilitas Magnetik. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika (JFPS)*, 17(1), 83–92.
- Widi, B. N., & Kisman. (2006). Kajian Endapan Pasir Besi Di Daerah Pantai Selatan Kabupaten Ende, Flores, Nusa Tenggara Timur. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 1(1), 7-15. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v1i1.73>.
- Yulianto, A., Bijaksana, S., Loeksmanto, W., & Kurnia, D. (2019). Produksi Hematit (Fe₂O₃) dari Pasir Besi: Pemanfaatan Potensi Alam Sebagai Bahan Industri Berbasis Sifat Kemagnetan. *JUSAMI: Jurnal Sains Materi Indonesia*, 5(1), 51-54. <https://doi.org/10.17146/jusami.2003.5.1.5208>.