

	Vol. 3 No. 2 November 2023
	Halaman : 01– 07
	e-ISSN : 2809 - 9796

Identifikasi Jenis Mineral Magnetik Berdasarkan Uji XRF pada Sedimen Permukaan Sungai Bone di Daerah Pertambangan di Desa Tulabolo Timur, Suwawa, Kabupaten Gorontalo

Sandra Nono'o¹, Raghel Yunginger^{*1}, Gerald H. Tamutuan², Meilan Demulawa¹, Idawati Supu¹

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

²Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia.

Email korespodensi : raghel@ung.ac.id

Submitted: 13 Agustus 2023; Accepted: 14 November 2023

ABSTRACT– This study aims to determine the Types of Magnetic Minerals in Bone River Sediments in the Mining Area of Tulabolo Village. The XRF test was used to identify Magnetic Mineral elements in Bone River Sediments, and electrical conductivity (EC), pH, and temperature parameters for in situ measurements of Bone River water samples and measures of mineral types was carried out on prepared sediment samples. The results showed that direct measurements on water samples showed that the values of EC, pH, and temperature were (1,620-1,900) $\mu\text{S}/\text{cm}$, (5-7), and (25.0-25.9) $^{\circ}\text{C}$, respectively. While the results of measurements using XRF elements that have the most significant percentage are elements (Si), especially at the S10 point of 58.84% diamagnetic minerals, elements (Fe), especially at the S7 point of 22.80%, element (Al) at the S10 point of 8, 11%, elements (Ti) at point S1 1.84% which are ferromagnetic minerals. Elements (Ca) at end S2 of (2.67%), elements (K) at point S1 of 1.50% paramagnetic minerals.

KEYWORDS: magnetic minerals; River sediment; XRF.

PENDAHULUAN

Menurut (Pantouw, 2022) Kabupaten Bone Bolango merupakan salah satu kabupaten yang ada di Provinsi Gorontalo dengan memiliki potensi pertambangan yang cukup banyak seperti di Desa Tulabolo Timur. Sejak dulu aktivitas pertambangan dikelola oleh masyarakat dengan menggunakan pola pertambangan tradisional yang berdampak terhadap penggunaan merkuri yang tidak terkontrol. Hal ini mengakibatkan pencemaran air di sungai yang berada di sekitar Desa Tulabolo. Menurut (Mahmud, 2012) menyatakan bahwa konsentrasi merkuri baik di dalam air maupun sedimen cukup tinggi atau sudah tercemar.

Disamping itu berdasarkan data dari Balihristi (2016) bahwa Sungai Bone Bolango telah tercemar akibat dengan adanya sumber pencemaran salah satunya adalah limbah pertambangan, pencemaran domestik dan pencemaran industri pertambangan emas yang masuk ke badan air dapat mempengaruhi ekosistem perairan, sumber pangan dan konsumsi masyarakat. Bahkan kondisi fisik air Sungai Bone bagian tengah sampai hilir telah tercemar oleh logam merkuri (Hg) meskipun demikian air ini masih digunakan oleh masyarakat sebagai keperluan domestik (Balihristi, 2011). Penelitian yang telah dilakukan menyatakan bahwa pencemaran air terhadap kadar merkuri (Hg) yang ada di muara Sungai Bone sudah mengandung logam berat merkuri (Hg) meskipun kadarnya masih dalam batas maksimum pencemaran.

Sungai merupakan sumber daya alam yang sangat besar manfaatnya bagi kelangsungan makhluk hidup seperti sebagai habitat hidup hewan perairan serta sebagai sumber air minum terbesar. Bahkan keberadaan sungai banyak terdapat di permukaan bumi ini salah satunya Sungai Bone. Sungai Bone merupakan sungai terbesar di Provinsi Gorontalo yang mengalir di Kabupaten Bone Bolango dan melewati Desa Tulabolo. Salah satu manfaat

sungai bagi masyarakat sekitar adalah untuk kegiatan perekonomian, yaitu dengan memanfaatkan sungai menjadi beberapa fungsi seperti sarana transportasi, sarana irigasi dan sebagai objek wisata.

Logam berat yang ada pada perairan lama-kelamaan akan turun dan mengendap pada dasar perairan membentuk sedimen. Apabila akumulasi logam berat di sedimen terangkut kembali ke permukaan air, maka hal ini akan mengakibatkan penurunan sehingga sungai tidak dapat digunakan sesuai peruntukannya. Sedimen sungai telah dipelajari secara intensif dalam studi magnetik lingkungan karena sungai merupakan sumber kehidupan bagi hewan dan tumbuhan yang hidup di dalamnya maupun bagi manusia. Magnetik lingkungan melibatkan sifat dan jenis mineral magnetik dengan proses lingkungan yang mengendalikannya (Tiwow et al., 2021). Karakterisasi mineral magnetik banyak digunakan untuk kajian mengenai pencemaran (Devanesan et al., 2020). Sifat magnetik adalah sebagai indikator proksi dari pencemaran (Petrovsky et al., 2000). Parameter kunci untuk menunjukkan kondisi formasi fase magnetik atau proses diagenesis dan pelapukan (Kind et al., 2012).

Namun pada penelitian-penelitian terdahulu belum ada yang mengidentifikasi karakteristik sedimen permukaan Sungai Bone di Desa Tulabolo. Oleh karena itu perlu adanya penelitian mengenai identifikasi jenis mineral magnetik pada sedimen Sungai Bone di daerah pertambangan karena dapat memberikan informasi tentang pencemaran sungai dengan uji XRF (X-Ray Fluorescence). Kegunaan dari metode XRF ini juga paling banyak digunakan untuk analisis unsur dari bahan batuan, mineral dan sedimen. Metode yang biasa digunakan untuk mengetahui adanya logam berat pada sedimen salah satunya adalah metode X-Ray Fluorescence (XRF). Metode ini digunakan karena relatif sederhana, cepat dalam mendapatkan hasil dan tidak merusak sampel (Hakim, 2020).

METODE PENELITIAN

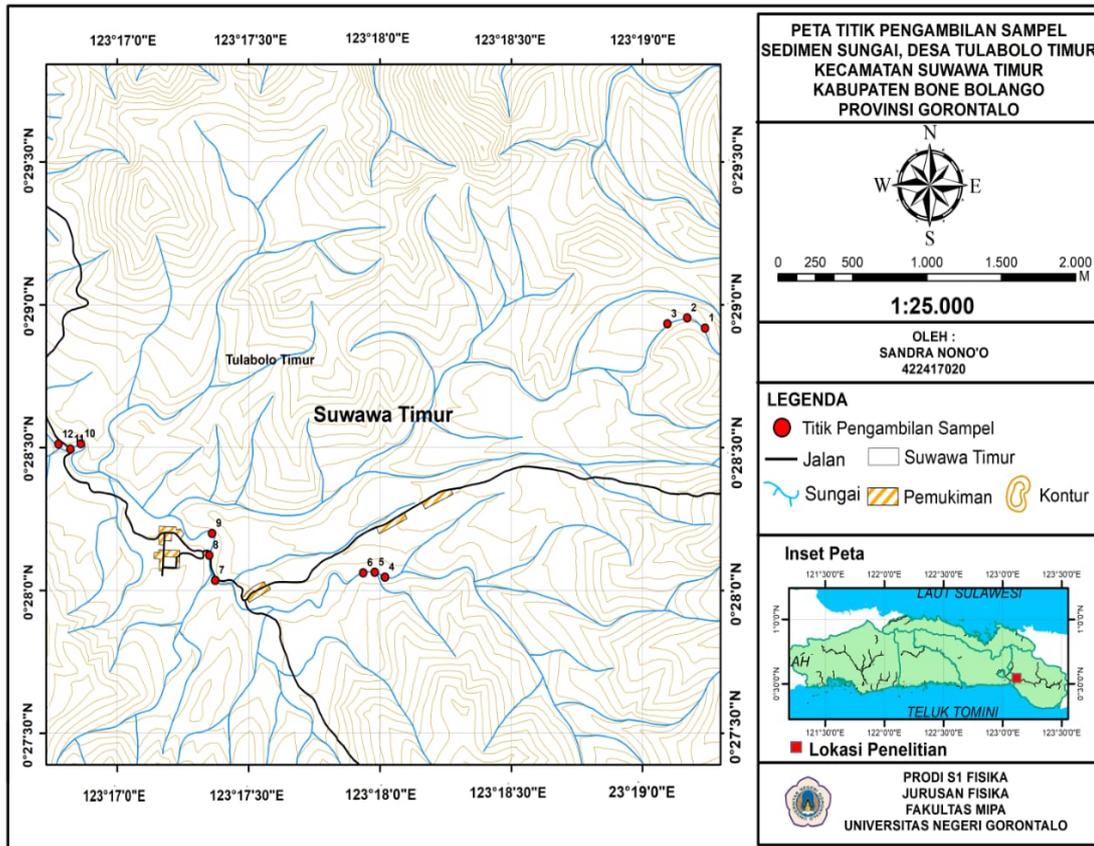
Gambar 1 menunjukkan lokasi pengambilan sampel yaitu di sekitar Sungai Bone di Desa Tulabolo Timur Kecamatan Suwawa Timur Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo. Pengambilan sampel dilakukan pada 4 titik dengan jarak antar titik 100 m. Selanjutnya sampel di preparasi di Laboratorium Fisika Material Universitas Negeri Gorontalo untuk analisis XRF.

Kegiatan pengambilan sampel sedimen permukaan yang dilakukan, pertama menentukan titik koordinat. Selanjutnya dilakukan preparasi sampel melalui tahapan sebagai berikut: sampel disaring menggunakan saringan 325 mesh, penyaringan bertujuan untuk mendapatkan ukuran bulir (lempung) yang homogen (Yunginger et al., 2018). Setelah disaring dilakukan pengeringan untuk pengukuran XRF. Pengeringan sampel ini dilakukan agar kandungan air yang terkandung pada sampel sedimen sungai berkurang (Bagindo, 2019). Hal ini dilakukan agar tidak terjadi perubahan mineralogi penting saat pengeringan melalui oksidasi, terutama jika sampel yang mengandung zat bersulfida (Dearing, 1999). Oleh karena itu pada penelitian ini sampel dikeringkan dengan cara diangin-anginkan pada suhu ruang 25°C sampai sampel kering (Gunawan & Budiman, 2014). Sampel yang sudah dikeringkan kemudian digerus menggunakan mortal hingga sampel menjadi halus. Pada saat proses penggerusan, mortal dicuci menggunakan alkohol 70% agar saat digunakan kembali untuk menggerus sampel lain maka tidak terjadi pencampuran sampel dengan sampel sebelumnya.

Setelah dilakukan preparasi sampel selanjutnya di uji analisis XRF yang dilakukan di laboratorium Universitas Hassanudin Makassar dengan merek SHIMADZU tipe EMZ-720/800HS kode alat 6-AD-1 yaitu Sampel yang telah halus ditimbang dengan massa 10 g. kemudian dimasukkan ke dalam plastik klip untuk diuji. Dengan memperhatikan posisi sampel agar mendapatkan permukaan yang datar dan mendapatkan distribusi acak dari orientasi-orientasi kisi, hasil uji karakterisasi XRF disajikan lewat data yang otomatis dicetak melalui alat uji XRF. Kemudian hasil tersebut disesuaikan dengan data yang ditampilkan oleh aplikasi X-RAYS ON yang sudah terhubung pada alat uji XRF. Hasil tersebut berupa data mentah yang kemudian akan di analisis untuk memperoleh persentase masing-masing unsur dalam sedimen sungai.

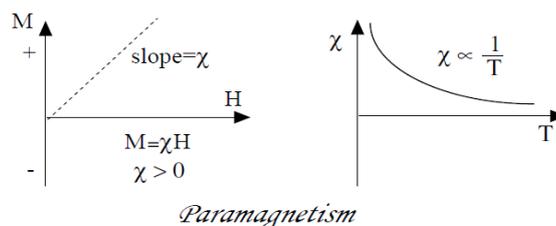
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil uji XRF terdapat 22 unsur kimia dengan persentase komposisi unsur-unsur yang terkandung di dalam sampel sedimen Sungai Bone di Desa Tulabolo Timur Kabupaten Bone Bolango. Hasil yang didapatkan mendominasi mineral non magnetik diantaranya yaitu unsur (Si) khususnya titik S4 (58,84 %), unsur (Ca) pada titik S2 sebesar (2,67 %), unsur (K) S1 sebesar (1,50 %). Fe termasuk logam yang bersifat ferromagnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik paling tinggi. Sebagaimana penelitian sebelumnya (Tiwow, et al., 2021) mengemukakan bahwa Fe adalah elemen ferromagnetik yang sangat mempengaruhi nilai suseptibilitas magnetik dalam sampel sedimen. Peningkatan konsentrasi unsur Fe menyebabkan peningkatan konsentrasi mineral magnetik dan berdampak pada peningkatan nilai suseptibilitas magnetik (Tiwow, et al., 2021).



Gambar 1 Lokasi pengambilan sampel sedimen Sungai Bone di desa Tulabolo Timur

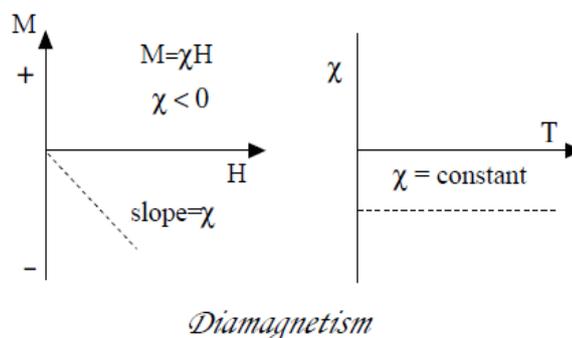
Menurut (Dearing, 1999) unsur (Fe) bersifat ferromagnetik yang menyatakan kelimpahan mineral magnetik dalam sedimen. Mineral ferromagnetik akan mudah untuk ditarik dengan kuat jika terdapat medan magnet dari luar. Mineral ferromagnetik memiliki sifat kemagnetan yang permanen, seperti magnetit (Fe_3O_4), pyrrhotit ($Fe_{1-x}S$), isovite ($(Cr,Fe)_{23}C_6$), symthite ($(Fe,Ni)_9S_{11}$ atau $(Fe,Ni)_{13}S_{16}$) dan lain sebagainya. Unsur besi (Fe) cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan unsur magnetik lainnya seperti mangan (Mn), Timbal (Pb), Titanium (Ti), Aluminium (Al), Kalsium (K). Menurut (Nurpadillah, 2019) menyatakan bahwa semakin tingginya persentase kandungan Fe menunjukkan semakin besar kemungkinan daerah tersebut tercemar. Kemudian unsur (Al), (Ca), (Ti) dan (K) bersifat paramagnetik, dimana mineral paramagnetik dapat ditarik oleh magnet akan tetapi hanya bersifat sementara. Mineral ini akan bersifat magnetik saat berada dekat disekitar medan magnet, jika dijauhkan dari medan magnet akan hilang sifat kemagnetannya. Contohnya yaitu hematit (Fe_2O_3), pirit (FeS_2), olivin ($(Mg,Fe)SiO_3$), mineral mika dan lain-lain.



Gambar 2 Nilai suseptibilitas magnetik bahan paramagnetik. Bahan paramagnetik memiliki suseptibilitas magnetik nilai yang positif dan sangat kecil (Tipler, 2001).

Bahan paramagnetik adalah bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang positif dan sangat kecil. Paramagnetik muncul dalam bahan yang atom-atomnya memiliki momen magnetik permanen yang berinteraksi satu sama lain dengan sangat lemah. Apabila tidak terdapat medan magnetik luar, momen magnetik ini akan berorientasi acak.

Terdapat juga unsur non magnetik (Si) tinggi yang bersifat diamagnetik. Keberadaan silika ini diduga berasal dari pelapukan mineral batuan yang masuk ke dalam air sungai melalui aliran-aliran permukaan sungai (Lukman dan Muhammad., 2014). Unsur silika (Si) tidak dapat mempengaruhi mineral magnetik karena bersifat diamagnetik dimana mineral diamagnetik yang tidak akan tertarik oleh medan magnet, contoh mineral yaitu kuarsa (SiO_2), sulfur (S), calcite (CaCO_3), ortoklas (KAlSi_3O_8), gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), talk ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) dan lain-lain.



Gambar 3 Nilai bahan diamagnetik. Bahan yang memiliki nilai negatif dan sangat kecil (Tipler, 2001).

Bahan diamagnetik adalah bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik negatif dan sangat kecil. Diamagnetik adalah sifat yang selalu dimiliki oleh setiap atom dalam materi atau senyawa tanpa memandang tipe sifat magnetik total dari senyawa yang bersangkutan. Sifat ini hanya muncul jika ada medan magnet luar yang dikenakan pada atom yang bersangkutan sehingga terjadi interaksi antara medan magnet luar dengan medan terinduksi dalam kulit-kulit yang terisi penuh electron (Tipler, 2001).

Hasil uji XRF juga memperlihatkan adanya kandungan unsur logam berat diantaranya yaitu Timbal (Pb) dimana memiliki nilai paling tinggi khususnya pada titik S1 dengan komposisi yang sudah diatas ambang batas yaitu 1,39% atau 13.900 ppm dimana menurut baku mutu sedimen (Tabel 1) besarnya kadar maksimum logam berat Timbal (Pb) dalam sedimen adalah <40 ppm. Besarnya kandungan timbal (Pb) dalam sedimen mengakibatkan sungai tercemar melebihi batas maksimum yang diperbolehkan. Selain Timbal (Pb) juga ditemukan logam berat besi (Fe) pada titik S3 komposisi paling tinggi dari titik S1, S2 dan S4 yaitu 22,80 % atau 228.000 ppm, kemudian unsur logam berat mangan (Mn) yaitu pada titik S2 konsentrasi tertinggi dari titik semua sampel yaitu 0,381 % atau 3.810 ppm. Unsur logam berat selanjutnya tembaga (Cu) pada titik S2 paling tinggi dari titik sampel lain tembaga (Cu) yaitu 1,35 % atau 13.500 ppm dan sudah melebihi batas ambang baku mutu.

Selain sedimen dilakukan juga pengukuran sampel air menggunakan parameter electrical conductivity (EC), pH dan suhu terhadap sampel air. Electrical Conductivity (EC) yang merupakan ukuran kapasitas cairan untuk menghantarkan muatan listrik pH dan suhu (Marandi et al., 2013). Nilai EC (Electrical Konduktivitas) sering digunakan sebagai parameter kualitas air. Kualitas air yang baik memiliki EC di bawah 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Selanjutnya menurut peraturan menteri kesehatan republik Indonesia tahun 2017, air bersih memiliki pH antara (6,5–8,5) dan suhu di bawah 30°C (Kemenkes RI, 2017). Dilihat pada tabel 4,3 Rentang nilai EC, pH dan suhu berturut-turut adalah (150–467) $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH (5–7) dan (25,0–25,9)°C. Demikian nilai rata-rata EC sampel air 310,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, yang mana masih di bawah ambang batas kualitas air yang baik.

Berdasarkan Tabel 3 hasil pengukuran EC, suhu dan pH pada air sungai terlihat bahwa sampel S1 memiliki nilai EC paling tinggi dibandingkan dengan sampel lainnya yaitu 1.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dimana menunjukkan bahwa kategori kualitas air pada Sungai Bone tidak baik karena melebihi nilai ambang batas dilihat dari baku mutunya. Hal ini didukung dengan hasil uji XRF pada sedimen sungai dimana hasil analisis XRF terdapat logam berat yang sudah melebihi batas ambang baku mutu atau dapat dikatakan sudah tercemar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantauan secara berkala dan berkelanjutan terhadap kualitas air Sungai Bone.

Tabel 1 Baku mutu kandungan logam berat dalam sedimen dari USEPA (dalam Komarawidjaja, 2017).

Unsur logam berat	Tidak tercemar	Tercemar ringan	Tercemar berat	Rata-rata dalam kerak bumi
Pb	<40	40 – 60	>60	16
Zn	<90	90 – 200	>200	80
Fe	<17000	17000 – 25000	>25000	50000
Ni	<20	20 – 50	>50	100
Mn	<300	-	>500	1000
Cd	-	-	>6	0,2
Cr	<25	25–75	>75	200
Cu	<25	25–50	>50	70

Tabel 2 Unsur kimia pada sampel sedimen permukaan Sungai Bone di Desa Tulabolo Kecamatan Suwawa Timur Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo.

Unsur Mineral	Unsur kimia			
	S1(%)	S2(%)	S3(%)	S4(%)
Fe	20,37	20,28	22,80	21,93
Al	6,21	5,55	7,10	8,11
As	5,05	5,56	2,35	1,67
Ca	2,62	2,67	3,13	3,10
Ti	1,84	1,83	1,59	1,60
K	1,50	2,08	1,44	2,15
Pb	1,39	1,33	0,57	0,44
Cu	1,06	1,35	0,87	0,50
Mn	0,37	0,38	0,63	0,67
Sr	0,24	0,23	0,21	0,22
Sb	0,21	0,22	0,08	0,06
Ba	0,15	0,14	0,09	0,08
Zr	0,09	0,07	0,08	0,10
Nb	0,07	0,07	0,06	0,06
Sn	0,06	0,07	0,03	0,03
Mo	0,05	0,05	0,04	0,04
In	0,03	0,03	0,02	0,02
Te	0,02	0,03	-	-
Ru	0,01	0,02	0,01	0,01
Rh	0,01	0,01	0,01	0,01
Si	58,65	57,55	58,51	58,84
Bi	-	0,22	-	-

Tabel 3 Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia sampel air Sungai Bone Desa Tulabolo Timur Kecamatan suwawa timur Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo.

Kode	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Suhu (C)	pH
1	1.900 μS	25,0°C	5
2	1.720 μS	25,4°C	5
3	1.653 μS	25,8°C	4
4	1.620 μS	25,10°C	4

Tabel 4 Batas kualitas air yang baik menurut (Menteri Kesehatan Republik Indonesia tahun 2017).

EC (electrical conductivity)	pH
1.500 μ S/cm	6,5–8,5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sedimen Sungai Bone mengandung jenis mineral magnetik yang didominasi oleh non magnetik yaitu (Si), (Ca), (K). unsur Si khususnya pada S10 (58,84 %) bersifat diamagnetik, kemudian unsur Fe pada titik S7 (22,80 %) bersifat ferromagnetik, unsur paramagnetik ialah (Al), (Ca), (Ti) dan (K). adanya kandungan unsur logam berat diantaranya yaitu Timbal (Pb) dimana memiliki nilai paling tinggi khususnya pada titik S1 dengan komposisi yang sudah diatas ambang batas yaitu 1.39% atau 13.900 ppm. Besarnya kandungan timbal (Pb) dalam sedimen mengakibatkan sungai tercemar melebihi batas maksimum yang diperbolehkan. Unsur logam berat selanjutnya tembaga (Cu) pada titik S2 paling tinggi dari titik sampel lain tembaga (Cu) yaitu 1.35 % atau 13.500 ppm dan sudah melebihi batas ambang baku mutu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai sendiri oleh tim peneliti namun telah dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena itu kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Drs. Asri Arbie, M.Si sebagai Kepala Laboratorium Fisika Universitas Negeri Gorontalo yang telah memberikan fasilitasi berupa ruang preparasi dan alat-alat laboratorium untuk proses preparasi sampel sedimen sungai. Terima kasih kepada Bapak Dr. GERAL H. Tamuntuan, M.Si selaku Dekan FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado, yang telah mengijinkan pengukuran sifat magnetik mineral pada sampel tanah di Labortorium Fisika Universitas Sam Ratulangi, Manado.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Lingkungan Hidup Riset Daerah. 2016. Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Provinsi Gorontalo. Gorontalo: BLHRD Provinsi Gorontalo.
- Bagindo, I.R.A. 2019. Analisis Suseptibilitas Magnetik Tanah Lapisan Atas sebagai Parameter Kesuburan Tanah pada Lahan Pertanian. *Jurnal Fisika Unand* **8**(2).
- Dearing, J. 1999. *Enviromental Magnetic Susceptibility Using The Bartington MS2 System*. Edisi ke-2. Kenilworth: Chi Publishing.
- Devanesan, E., Chandrasekaran, A. , Sivakumar, S., Freny, J.K.M., Najam, L.A., & Ravisankar, R., 2020. Magnetic Susceptibility as Proxy for Heavy Metal Pollution Detection in Sediment, *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A: Science*, **44**, 875– 888.
- Gunawan, H., & Budiman, A. 2014. Penentuan Persentase Dan Nilai Suseptibilitas Mineral Magnetik Bijih Besi Yang Berasal Dari Tiga Lokasi Tambang Bijih Besi Di Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, **3**(4), 249–254.
- Hakim, F. 2020. Uji Reliabilitas Metode Suseptibilitas Magnetik dalam Memonitoring Logam Berat pada Sedimen Dasar Sungai Krueng Aceh. Skripsi. Banda Aceh: UIN Ar-Raniry.
- Kind, J., Raden, U. J. V., García-Rubio, I., & Gehring, A. U., 2012. Rock magnetic techniques complemented by ferromagnetic resonance spectroscopy to analyse a sediment record, *Geophysical Journal International*, **191**(1), 51–63.
- Komarawidjaja, W. 2017. Paparan Limbah Cair Industri Mengandung Logam Berat pada Lahan Sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan* **18**(2), 173–181
- Lukman, M., Nasir, A., Amri, K., Tambaru, R., Hatta, M., Nurfadilah, dan Noer, R.J. 2014. Silikat terlarut di perairan pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, **6**(2), 461–478.
- Marandi, A., Karpus, P.M., & Jõeht, A., 2013. A new approach for describing the relationship between electrical conductivity and major anion concentration in natural waters, *Applied Geochemistry*, **38**, 103–109.
- Mahmud, M. 2012. Model sebaran spasial temporal konsentrasi merkuri akibat penambangan emas tradisional sebagai dasar monitoring dan evaluasi pencemaran di ekosistem Sungai Tulabolo Provinsi Gorontalo. Disertasi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2017. Tentang standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, Dan Pemandian Umum. Jakarta: Kemenkes RI.
- Nurpadillah, S. 2019. Kajian Sebaran Mineral Magnetik Sedimen Sungai Menggunakan Metoda Kemagnetan Batuan. JPF (Jurnal Pendidikan Fisika) Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar **7**(1) : 36-47.
- Petrovský, E., Kapička, A., Jordanova, N., Knab, M., & Hoffmann, V., Low-field 2000. magnetic susceptibility: A proxy method of estimating increased pollution of different environmental systems, *Environmental Geology*, **39**(3-4), 312–318.
- Pantouw, Oei, I.A.P.S.D., & Ahmad. 2022. Perlindungan Hukum Terhadap Masyarakat Akibat Penambangan Emas Di Sungai Tulabolo Yang Tercemar Merkuri. *Borneo Law Review* **6**(2), 187–204.
- Tipler, P.A. 1998. Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 2 (Alih Bahasa, Bambang Soegiyono). Jakarta: Erlangga.
- Tiwow, V.A., Subaer, Sulistiawaty, Malago, J.D., Rampe, M.J. & Lapa, M. 2021. Magnetic Susceptibility of Surface Sediment in the Tallo Tributary of Makassar City, *Journal of Physics: Conference Series*, **1899**(1), 012124.
- Yunginger, R., Bijaksana, S., Dahrin, D., Zulaikah, S., Hafidz, A., Kirana, K. H., & Fajar, S. J. 2018. Lithogenic and anthropogenic components in surface sediments from lake limboto as shown by magnetic mineral characteristics, trace metals, and REE geochemistry. *Geosciences*, **8**(4), 116.