



Tinjauan Struktur dan Karakter Mineral Padatan dengan Menggunakan Metode X-Ray Diffraction (XRD): Review Singkat

Ahmad Yudis Esa Prayoga¹, Christoper Michael Budiman^{1,*}, Sahara Hamas Intifadhah¹

¹Laboratorium Fisika Teori dan Material, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Mulawarman
Jl. Barong Tongkok No. 4, Gunung Kelua, Kecamatan Samarinda Ulu, Samarinda 75123, Kalimantan Timur, Indonesia

*E-mail korespondensi: christmichbud@gmail.com

Article Info:

Received: 11-12-2024

Revised: 08-05-2025

Accepted: 10-05-2025

Keywords:

Material Characterization,
Minerals, XRD, Crystals



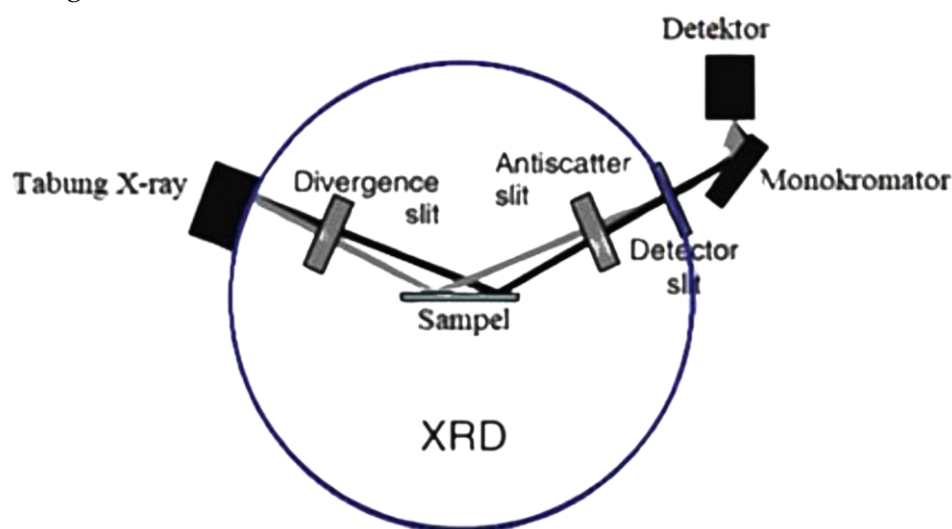
Abstract

Indonesia is rich in various types of rocks, including igneous rocks such as granite and diorite, metamorphic rocks like marble, and sedimentary rocks like coal and limestone. The minerals contained in these rocks play a crucial role in various industries, including construction, energy, and manufacturing. The X-ray diffraction (XRD) technique has advanced significantly in material characterization and is considered one of the primary methods for mineral analysis. Compared to other techniques such as X-ray fluorescence (XRF) or scanning electron microscopy (SEM), XRD offers superior accuracy in identifying crystal structures and mineral phases, even in complex mixtures. This study reviews various research works discussing the characterization of rock minerals using XRD, covering sample preparation methods, diffraction pattern interpretation, and the identified mineral compositions. The review results indicate that several key minerals analyzed using XRD, such as quartz (SiO_2), ilmenite (FeTiO_3), hematite (Fe_2O_3), and calcite (CaCO_3), have specific industrial applications. For instance, iron sand containing hematite and magnetite is used in steel production, while silica-rich beach sand serves as a raw material for the glass and semiconductor industries. Additionally, carbonate rocks such as limestone and marble play a significant role in cement production and construction. Based on this review, it can be concluded that the XRD technique is a reliable method for determining the crystal structures of minerals, providing higher precision compared to alternative methods. With broader utilization of XRD, mineral analysis in Indonesia can be optimized to support natural resource exploration and national industrial needs.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi mineral yang sangat besar, khususnya dalam hal batuan. Indonesia kaya akan berbagai jenis batuan, baik batuan beku, sedimen, maupun metamorf. Batuan beku, seperti granit dan diorit, banyak ditemukan di wilayah Sumatra, Jawa, dan Kalimantan, sementara batuan metamorf seperti marmer banyak tersebar di Sulawesi dan Papua [1]. Selain itu, batuan sedimen yang mengandung batu bara dan batu gamping juga melimpah di daerah Kalimantan, Sumatra, dan Papua. Kelimpahan batuan di Indonesia menjadikan negara ini sebagai salah satu sumber daya alam utama untuk sektor industri, konstruksi, dan energi, serta memiliki potensi besar untuk pengembangan ekonomi berbasis mineral dalam jangka panjang [2].

Identifikasi dan kuantifikasi komponen secara individu dalam campuran sangat penting di berbagai bidang, terutama dalam analisis mineral. Salah satu teknik yang sering digunakan untuk mengidentifikasi komponen dalam campuran adalah *X-Ray Diffraction* (XRD). Namun, dalam aplikasi XRD, salah satu kesulitan utama adalah pengukuran intensitas puncak atau area puncak yang bergantung pada efek absorpsi, sehingga metode kuantifikasi yang biasa digunakan dalam spektroskopi tidak dapat diterapkan. Secara historis, metode kuantifikasi telah berkembang pesat, sehingga memungkinkan perolehan variabel-variabel yang dibutuhkan dalam persamaan Klug untuk identifikasi komponen secara individu [3]. Metode XRD menggunakan tabung sinar-x, sampel, detektor, dan komponen lainnya, yang secara sederhana diilustrasikan dengan **Gambar 1**.



Gambar 1. Skema *X-Ray Diffraction* (XRD) [4]

Pada metode XRD digunakan juga hukum Bragg:

$$2d \sin \theta = n \quad (1)$$

Di mana d adalah *inter planer space*, θ adalah sudut insiden, n adalah orde dari persamaan, dan λ adalah panjang gelombang sinar-x [5].

Dalam analisis menggunakan XRD, pola difraksi yang dihasilkan menunjukkan bahwa kebanyakan mineral di Bumi cenderung memiliki struktur kristal yang termasuk dalam sistem kristal kubik, ortorombik, dan tetragonal, meskipun ada juga yang termasuk dalam sistem *monoclinic* dan heksagonal. Mineral yang lebih umum, seperti kuarsa (SiO_2), memiliki struktur kristal heksagonal, sementara mineral yang lebih banyak ditemukan dalam batuan beku, cenderung memiliki struktur tetragonal dan monoklinik [6]. Mineral pembentuk batuan beku dan metamorf, seperti garam (NaCl), biasanya memiliki struktur kristal kubik, yang juga banyak ditemukan pada mineral-mineral seperti gipsum. Sebagian besar mineral pembentuk batuan silikat, yang merupakan kelompok mineral terbesar di kerak bumi, memiliki struktur kristal yang lebih kompleks dan umumnya tergolong dalam sistem kristal monoklinik dan ortorombik. Struktur kristal ini memberi pengaruh besar terhadap sifat-sifat fisik mineral tersebut, seperti kekerasan, kelarutan, dan kestabilan termal, yang semuanya dapat dianalisis dengan teknik XRD untuk identifikasi mineral secara akurat [7].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji berbagai penelitian yang membahas tentang karakterisasi mineral batuan menggunakan teknik XRD. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai aplikasi XRD dalam identifikasi dan analisis struktur kristal mineral, serta pemahaman tentang keakuratan dan keterbatasan teknik ini dalam mengkarakterisasi berbagai jenis mineral dalam batuan. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengkaji berbagai metode persiapan sampel, interpretasi pola difraksi XRD, serta bagaimana teknik ini dapat digunakan untuk menentukan komposisi mineral dan sifat kristalografi mineral dalam berbagai jenis batuan. Dengan melakukan *review* dari berbagai

literatur, diharapkan dapat diperoleh wawasan mengenai perkembangan terkini dalam teknik XRD, serta potensi penerapannya dalam studi geologi, eksplorasi mineral, dan ilmu material.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *review article*, dengan menganalisis 21 artikel ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2016 hingga 2024. Metode *review article* adalah metode yang meninjau literatur lain, terkhususnya artikel ilmiah [8]. Kajian ini berfokus pada karakterisasi mineral menggunakan teknik *X-ray Diffraction* (XRD), termasuk metode persiapan sampel, parameter pengukuran, dan interpretasi data difraksi.

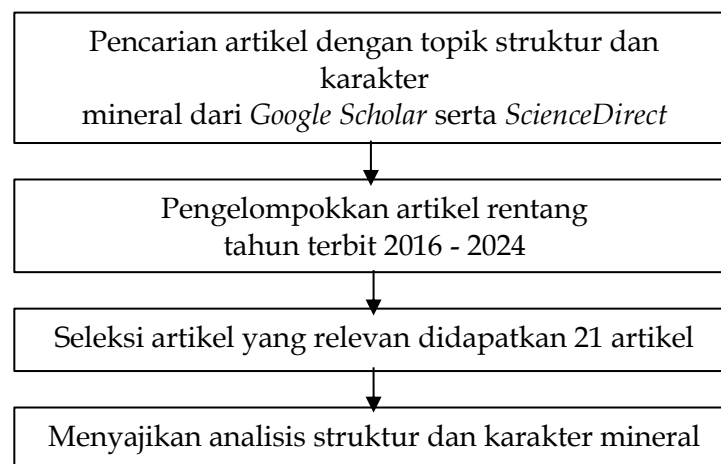
Langkah-langkah penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap utama: Pencarian dan seleksi literatur (Sumber literatur diperoleh dari *database* ilmiah seperti *Google Scholar* dan *ScienceDirect*). Lalu, artikel yang relevan dipilih berdasarkan kata kunci: *XRD analysis*, *mineral characterization*, dan karakterisasi batuan. Dari 46 artikel yang ditemukan, dilakukan seleksi berdasarkan keterkaitan dengan penelitian ini, sehingga diperoleh 21 artikel.

Dilakukan klasifikasi metode eksperimental berdasarkan jenis mineral yang dikaji, metode preparasi sampel, teknik pengukuran XRD, dan metode analisis data. Variabel utama yang dianalisis meliputi: Jenis mineral (misalnya kuarsa, hematit, ilmenit, kalsit), metode preparasi sampel (penghalusan, kalsinasi, separasi magnetik, *slow evaporation*), struktur kristal (kubik, ortorombik, heksagonal, monoklinik, tetragonal), sudut difraksi (2θ) (nilai spesifik untuk identifikasi mineral), dan komposisi mineral.

Adapun berbagai metode persiapan sampel dari artikel yang dikaji berupa: Penghalusan (sampel mineral dihancurkan menggunakan *ball mill* selama 2–6 jam hingga berbentuk serbuk halus kira-kira 50–100 μm untuk meningkatkan resolusi XRD), kalsinasi (sampel dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 800–1000°C selama 2–4 jam untuk menghilangkan air terikat dan meningkatkan kristalinitas), separasi magnetik (menggunakan *magnetic separator* untuk memisahkan mineral magnetik seperti hematit dan magnetit dari non-magnetik), dan *slow evaporation* (larutan mineral dibiarkan menguap perlahan selama 1–2 minggu hingga terbentuk kristal).

Hasil difraksi XRD dianalisis dengan tahapan berikut: Identifikasi pola difraksi, pola difraksi yang diperoleh dibandingkan dengan *database* ICDD (*International Centre for Diffraction Data*) untuk menentukan jenis mineral berdasarkan posisi puncak dan intensitasnya. XRD dipilih karena kemampuannya dalam menentukan struktur kristal dan komposisi mineral dengan tingkat akurasi tinggi.

Diagram alir untuk metode *review article* adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi mineral di Indonesia sebagai bahan baku industri, konstruksi, dan energi sangat signifikan dan memainkan peran penting dalam mendukung perekonomian negara. Batu bara, misalnya, menjadi salah satu sumber utama energi. Batuan seperti granit, marmer, dan batu gamping banyak digunakan dalam industri konstruksi untuk pembuatan bangunan, jalan, dan infrastruktur lainnya. Mineral seperti tembaga, nikel, dan timah juga memiliki peranan penting dalam industri manufaktur, elektronik, dan kendaraan listrik, mendukung revolusi industri 4.0. Potensi besar ini menjadikan sektor pertambangan mineral Indonesia tidak hanya vital bagi pembangunan domestik, tetapi juga untuk memenuhi kebutuhan pasar global yang terus berkembang.

Salah satu metode karakterisasi material yang banyak digunakan yaitu XRD. Metode XRD adalah metode yang digunakan untuk meninjau struktur atom, khususnya padatan. Salah satu penggunaannya yaitu di bidang eksplorasi mineral yang sedang banyak dikembangkan. Dari karakterisasi XRD dapat diperoleh beberapa data yaitu, identifikasi mineral, struktur mineral, sudut difraksi, dan komposisi. Sehingga artikel ini mengumpulkan beberapa penelitian yang relevan dengan data yang disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Aplikasi XRD pada Identifikasi Mineral Padatan

Mineral	Metode	Struktur	Sudut Difraksi (2θ)	Komposisi	Pemanfaatan	Ref.
6-methyl 5-nitro Uracil	<i>Slow-evaporation</i>	Kristal komposit organik	28°, 34°, 45°	-	Material transmitter cahaya	[9]
Pasir besi dari residu bauksit	Separasi magnetik	Kristal	Kuarsa: 26,546°, 36,732°, 68,156°	Kuarsa, ilmenit, hematit, dan geotit	Sumber mineral hematit dan ilmenit, yang berpotensi untuk dimanfaatkan dalam industri	[10]
			Ilmenit: 24,019°, 35,557°, 40,713°			
			Hematit: 24,016°, 33,120°, 54,019°			
			Geotit: 21,271°, 33,120°, 36,732°			
Pasir zirkon	Separasi dan ekstraksi	Kristal	27,06°, 35,73°, 53,53°	-	Bahan baku industri	[11]

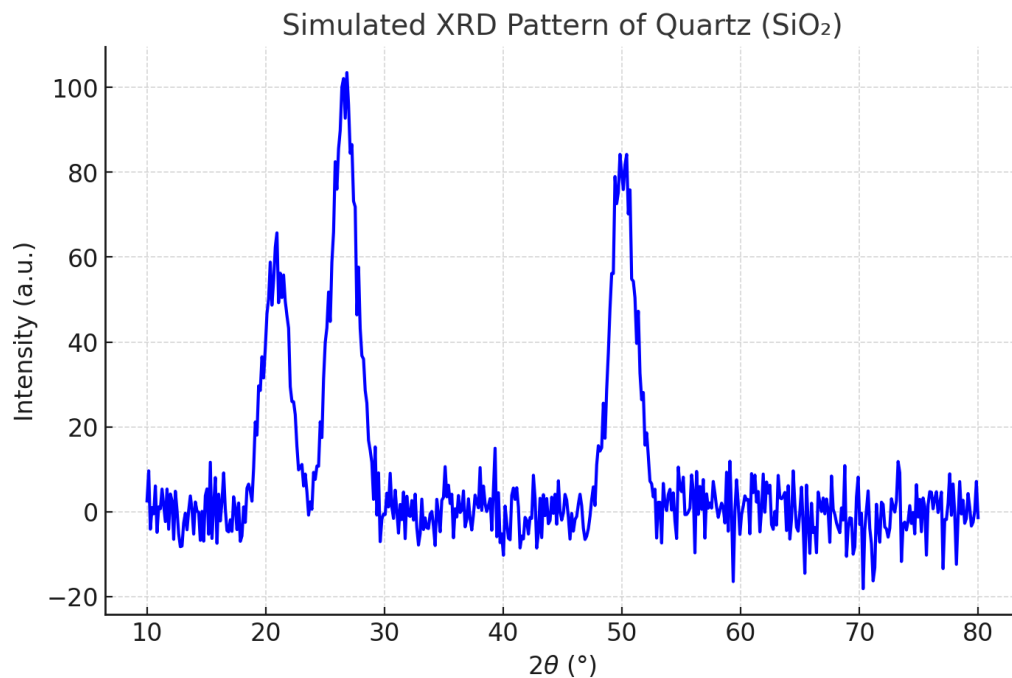
Batu permata geuda	Kalsinasi	Kristal	35°, 37,9°, 45,9°	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , Fe ₂ O ₃	Perhiasan	[5]
Batuan pasir	Kalsinasi	Kristal	26,7°, 20,9°, 50,7°	Kuarsa, karbonat, mika, garnet, felspar, olivine, epidot, klorit, dan amfibol	Bahan baku industri	[7]
Batu marmer	Penghalusan	Kristal	29,51°, 26,6°, 47,6°	Dominan kalsit	Karakterisasi material (belum diteliti aplikasinya)	[12]
Pasir Pantai Losari	Penghalusan	Kristal	21,83°, 24,15°, 28,22°	Zeravshanite, cristobalite, ferroaxinite, polyolithionite, dan melilite	Bahan dasar pembuatan material nano silika	[1]
Batu pasir formasi ekmai	Kalsinasi	Kristal	-	Karbonat, lempung, mika, garnet, felspar, olivine, epidot, klorit, dan amfibol	Bahan baku industri	[4]
Batu bara	Penghalusan	Kristal	-	Lempung, silika, karbonat, sulfat, dan sulfida	-	[13]
Liat	Kalsinasi	-	-	Kaolinit, kuarsa, illit, kristoballit, dan amorf	-	[14]
Tanah lempung	-	Kristal	-	Kuarsa, kaolinit, muskovit, gobbinsite, haloisit, dan phengit	Identifikasi kerusakan lereng	[6]
Pasir kuarsa	Penghalusan	Kristal	26,665°, 20,915°, 50,135°	Kuarsa dan sodium aluminium silicate	-	[15]
Pasir Pantai Peh Pulo	Penghalusan	Kristal	-	Aragonite dan abswurmbackite	Bahan dasar pembuatan kalsium karbonat	[2]
Batuan vulkanik	Penghalusan	-	-	Cristobalit, clinochlore, plagioklas, piroksen, biotit, feldspar	-	[16]
Batu marmer	Penghalusan	-	29,5029°, 26,5997°, 47,5998°	Dominan kalsit	-	[12]
Bijih nikel	Penghalusan dan kalsinasi	-	-	SiO ₂ dan fosterit	-	[17]
Batu besi	Penghalusan	Kristal	21,38°, 35,52°	Hematite dan magnetite	Material magnetik	[18]
Pasir besi	Penghalusan	Kristal	35,53°	Hematite dan magnetite	Material magnetik	[19]

Pasir bongkahan galian golongan C	Penghalusan dan kalsinasi	Kristal	27°	Molybdenum, osbornite, boron nitride dan komponen lain	-	[20]
Batuan kapur	Penghalusan	Kristal	-	Kalsit, dolomit, kuarsa, dan rutil	-	[21]

Berdasarkan hasil *review* artikel, dapat diketahui bahwa metode yang digunakan untuk mendapatkan bahan bervariasi, dari kalsinasi, separasi magnetik, dan penghalusan. Metode kalsinasi adalah metode yang menggunakan teknik pemanasan material dengan alat pemanas pada suhu tertentu [14]. Sedangkan metode separasi magnetik adalah metode yang menggunakan teknik pemisahan material magnetik dengan material non-magnetik [19]. Selain itu ada juga yang menggunakan metode *slow-evaporation* yaitu teknik sintesis material dari padatan yang dilarutkan, menjadi benih kristal, dan menjadi kristal setelah proses evaporasi larutan secara perlahan [9]. Dalam penelitian ini diperoleh bahwa metode yang paling banyak digunakan dari yang diteliti untuk mendapatkan sampel adalah metode penghalusan. Metode penghalusan adalah metode yang menggunakan teknik penghancuran material menjadi bongkahan kecil kemudian ditumbuk dan dihaluskan menggunakan alat sehingga menjadi serbuk halus [12].

Selanjutnya secara keseluruhan, struktur mineral padatan yang diteliti memiliki struktur kristal. Sudut difraksi yang didapatkan bervariasi walaupun keseluruhan mineral padatan memiliki struktur yang sama. Selain itu mineral padatan yang diteliti dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti pasir pantai Losari yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan material nano silika, mineral 6-methyl 5-nitro Uracil yang digunakan sebagai material transmitter cahaya, dan berbagai mineral padatan lain nya yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri.

Berikut adalah contoh pola XRD yang representatif untuk kuarsa (SiO_2). Grafik ini menunjukkan puncak difraksi khas pada sudut $2\theta \approx 26.6^\circ$, 20.9° , dan 50.1° , yang merupakan ciri khas struktur kristal kuarsa.



Polanya mencerminkan hasil yang biasanya diperoleh dari instrumen XRD, dengan intensitas relatif terhadap sudut 2θ . Puncak-puncak ini dibandingkan dengan *database ICDD* (*International Centre for Diffraction Data*) untuk mengidentifikasi mineral.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa karakterisasi mineral batuan dengan metode XRD dilakukan untuk mengidentifikasi struktur kristal mineral. Metode ini hanya terbatas pada beberapa bahan, di mana terdapat sedikit sampel yang tidak dapat diidentifikasi. Terdapat berbagai metode persiapan sampel dari berbagai kajian yang telah diteliti, dengan hampir seluruhnya menggunakan metode penghalusan. Pola XRD yang didapatkan dari keseluruhan kajian yang diteliti memiliki pola yang sama, yaitu mendatar dan memiliki puncak pada beberapa sudut difraksi, yang dapat diinterpretasikan sebagai bahan dengan struktur kristal. Berdasarkan kajian yang telah diteliti juga didapatkan bahwa metode XRD dapat digunakan untuk menentukan komposisi mineral dan sifat mineral, sehingga terdapat pemanfaatan atau pengaplikasian khusus sesuai dengan mineralnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Laboratorium Fisika Teori dan Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman yang menjadi lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alimin, Maryono, and S. E. Putir, “Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Losari Kota Makassar Menggunakan XRF dan XRD,” Dec. 2016.
- [2] Sumari, D. R. Baharintasari, M. R. Asrori, and Y. F. Prakasa, “Analisis Kandungan Dari Pasir Pantai Peh Pulo Kabupaten Blitar Menggunakan XRF Dan XRD,” no. 2, pp. 52–55, Oct. 2019.
- [3] A. Doménech-Carbó, F. Bosch-Reig, and N. Montoya, “ATR-FTIR and XRD quantification of solid mixtures using the asymptotic constant ratio (ACR) methods. Application to geological samples of sodium and potassium feldspars,” *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, vol. 236, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.saa.2020.118328.
- [4] Endang Hartiningsih, “Identifikasi Jenis Mineral Industri Dengan Xrd Pada Sampel Batupasir Formasi Ekmai, Distrik Ertsberg, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua Tengah,” *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 2, pp. 169–180, Dec. 2023, doi: 10.58169/saintek.v2i2.208.
- [5] R. G. C. Jaliya, P. G. R. Dharmaratne, and K. B. Wijesekara, “Characterization of heat treated geuda gemstones for different furnace conditions using FTIR, XRD and UV–Visible spectroscopy methods,” *Solid Earth Sciences*, vol. 5, no. 4, pp. 282–289, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.sesci.2020.11.001.
- [6] L. M. Asri, Z. Zakaria, and A. Mulyo, “Mineral Tanah Lempung Formasi Batuasi Berdasarkan Data SEM (Scanning Electron Microscope) dan XRD (X-Ray Diffractometer) Pada Lereng Citatah KM-23, Padalarang, Jawa Barat,” Mar. 2023.
- [7] Yusnidah, “Karakterisasi Pasir Kuarsa (SiO₂) Dengan Metode XRD,” Online, Jan. 2021.
- [8] H. Sastypratiwi and R. D. Nyoto, “Analisis Data Artikel Sistem Pakar Menggunakan Metode Systematic Review,” vol. 6, no. 2, pp. 250–257, Aug. 2020.
- [9] K. Sooryakala, S. Ramalingam, R. Maheswari, and R. Aarthi, “Synthesis opto-electronic characterization and NLO evaluation of 6-methyl 5-nitro Uracil crystal using XRD,

- spectroscopic and theoretical tools,” *Heliyon*, vol. 6, no. 10, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05329.
- [10] W. Rossalina, T. A. Zaharah, and I. H. Silalahi, “Komposisi Unsur Dan Karakterisasi Mineral Magnetik Dalam Red Mud, Residu Bauksit Di PT. Indonesia Chemical Alumina (ICA) Kalimantan Barat,” vol. 4, no. 3, pp. 139–144, 2021.
- [11] N. Kartika, I. H. Silalahi, T. A. Zaharah, and A. B. Aritonang, “Peningkatan Kadar Zirkonium Silikat dalam Pasir Puya, Residu Penambangan Emas dari Kecamatan Monterado Kabupaten Bengkayang Provinsi Kalimantan Barat,” *POSITRON*, vol. 14, no. 1, p. 68, May 2024, doi: 10.26418/positron.v14i1.66460.
- [12] Lindawati and Mursal, “Identifikasi Mineral pada Batu Marmer dari Gunung Kerambil, Aceh Selatan Menggunakan Difraksi Sinar-X,” *J. Aceh Phys. Soc*, vol. 7, no. 3, pp. 152–156, 2018, [Online]. Available: <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/JAcPS>
- [13] D. N. Tanggara and W. Kristiana, “Analisa Mineral Batubara Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD),” Feb. 2022.
- [14] T. Tentrem and A. F. Nababan, “Pengujian Mineral Liat Pada Contoh Tanah Dengan Metode Difraksi X-Ray (XRD),” Malang, Jul. 2019.
- [15] F. Fitriani, M. W. Wildan, and R. A. Rachman, “Analisis Ukuran Partikel Nanosilica pada Proses Alkali Fusion Silica Scaling Geotermal Dieng Menggunakan KOH,” Jan. 2024.
- [16] A. Siraju, J. Hutabarat, E. Sukiyah, and A. D. Haryanto, “Analisis Kandungan Mineral Dan Logam Oksida Pada Singkapan Batuan Vulkanik Yang Termanifestasi Alterasi Hidrothermal Wilayah Pertambangan PT. Batutua Tembagaraya Pulau Wetar Provinsi Maluku,” *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, vol. 16, pp. 149–162, 2018, [Online]. Available: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
- [17] A. B. Prasetyo, I. Setiawan, and Meyta, “Analisis XRD Dan SEM Terhadap Hasil Kalsinasi Pada Bijih Nikel Laterit Jenis Saprolit,” Nov. 2016.
- [18] Z. Alzaky and E. Sedyadi, “Pengaruh Penambahan Lempung Dengan Jenis Berbeda Pada Sintesis Komposit Magnetit (Fe_3O_4) Lempung,” 2024.
- [19] Husain, Y. Taryana, W. A. Adi, Nurhayati, M. Saleh, and N. Dewi, “Analisis X-Ray Fluorescence Dan X-Ray Diffraction Mineral Pasir Dan Batu Besi Indonesia Sebagai Material Magnetik,” *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF) Jilid*, vol. 20, no. 1, pp. 105–110, Apr. 2024, [Online]. Available: <http://ojs.unm.ac.id/jsdpf>
- [20] L. Hakim, M. Dirgantara, and M. Nawir, “Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya,” 2019. [Online]. Available: <http://e-journal.upr.ac.id/index.php/JMS>
- [21] E. Priyambodo and M. Muldayati, “Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 Dan Ukuran Granula Zeolit Alam Terhadap Efektivitas Adsorpsi Methyl Orange,” 2024. [Online]. Available: <https://journal.student.uny.ac.id/index.php/eleme>