Terbit online pada laman web jurnal : https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/jns/index

JNS JURNAL Natural Scientiae

Vol. 5 No. 2 November 2025

Halaman : 94 – 100

e-ISSN : 2809 - 9796

Studi Literatur Karakterisasi Sifat Fisik Batu Amethyst

Rahmad Dani Nugroho
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat

*Email korespodensi: 2111014210007@mhs.ulm.ac.id
Submitted: 26 Juni 2025; *Accepted*: 12 Desember 2026

ABSTRACT− Amethyst is one of the precious stones commonly found in South Kalimantan and has high economic and aesthetic value. This study aims to examine the physical properties of amethyst through a literature review of 10 scientific articles published between 2015 and 2025. The focus of the study includes crystal structure, hardness, density, optical properties, and response to thermal treatment. Based on the analysis results, amethyst is known to have a trigonal crystal structure, a hardness of 6.5–7 on the Mohs scale, and a density between 2.63 and 2.66 g/cm³. Its distinctive purple color is caused by color centers due to Fe^{3+} and Fe^{4+} ions that absorb at wavelengths of 360 nm and 545 nm. Characterization techniques such as XRD, UV–Vis, FTIR, Raman, and Mössbauer proved effective in revealing the physical and optical properties of amethyst. Heat treatment at temperatures of 400–600°C was found to cause irreversible changes in color and microstructure. The results of this study are expected to serve as a reference in the classification of local gemstones and support the sustainable use of mineral resources, particularly in South Kalimantan.

KEYWORDS : Amethyst; FTIR; gemstone; optical properties.

PENDAHULUAN

Batu Amethyst (kecubung) merupakan salah satu batu mulia yang sering dijumpai pada daerah Kalimantan Selatan, terutama di Martapura yang sering dikenal sebagai salah satu daerah utama dalam produksi dan perdagangan batu kecubung (*amethyst*). Batu *amethyst* merupakan batu yang tersusun dari mineral kuarsa (SiO_2) yang memiliki warna ungu khas, yang muncul karena adanya penggantian ion Fe^{3+} dalam struktur kristal serta terbentuknya pusat warna (*color centers*) akibat paparan radiasi alami (Chen et al,.2022).

Sifat fisik batu amethyst yang digunakan dalam pembuatan perhiasan sering dilihat berdasarkan dari kekerasan, indeks bias, berat jenis dan karakteristik optiknya. Hal ini juga yang menjadikannya sebagai objek yang penting dalam bidang mineralogi. *Amethyst* dapat memiliki struktur kristal, warna maupun kejelasan yang berbeda jika melihat pada lokasi dan kondisi pada saat pembentukannya (Saputra, 2025). Perbedaan tersebut dikarenakan adanya perbedaan suhu dan tekanan saat proses kristalisasi, unsur pengotor, maupun proses geokimia seperti pemanasan alami dan paparan radiasi alami. Oleh karena itu, karakterisasi sifat fisik batu amethyst sangat penting dalam menemukan hubungan antara karakteristik geologis dan mineralogi di berbagai daerah.

Karakterisasi sifat fisik batuan dapat ditentukan dengan beberapa metode seperti X-Ray Diffraction (XRD) dalam mengidentifikasi struktur kristal dan tingkat kristalinitas, selain itu juga

digunakan spektroskopi UV-Vis dan FTIR yang digunakan dalam menentukan sifat optik dan keberadaan pusat warna (Chen et al., 2022). Serta dilakukan uji microhardness untuk menentukan nilai kekerasan mikroskopik yang mempengaruhi ketahanan fisik batu mulia (Risa et al., 2021). Melalui studi literatur ini, penulis bertujuan mengkaji berbagai hasil penelitian yang telah dilakukan dalam kurun waktu 2015–2025 terkait karakterisasi sifat fisik *amethyst*. Fokus utama diberikan pada hubungan antara struktur kristal, komposisi kimia, dan respons fisik terhadap perlakuan eksternal. Kajian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman menyeluruh terhadap potensi mineralogi dan aplikasi material dari *amethyst*, khususnya sebagai sumber daya lokal di Kalimantan Selatan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Jenis penelitian yang dilakukan adalah non eksperimental yaitu melakukan studi literatur dengan metode deskriptif kualitatif. Penelusuran pustaka dilakukan dengan merujuk pada artikel yang telah dipublikasikan pada ResearchGate, Wiley, dan Google scholar untuk mendapatkan data yang telah dipublikasikan dalam bentuk artikel yang memiliki ISSN baik artikel nasional maupun internasional dengan artikel yang dipublikasikan selama 10 tahun terakhir (tahun 2015 sampai dengan 2025). Penulusuran artikel dilakukan sesuai kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Menggunakan metode eksperimen seperti X-Ray Diffraction (XRD), UV-Vis, FTIR, atau uji kekerasan mikro (microhardness). Menganalisis karakteristik fisik Amethyst secara spesifik, meliputi struktur kristal kekerasan, densitas, sifat optik, atau respons terhadap perlakuan panas. Memiliki ISSN dan tersedia dalam akses penuh atau abstrak yang memadai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian literatur dari beberapa penelitian yang mengkaji tentang karakteristik amethyst sejak tahun 2018 sampai dengan 2024 dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1 Penelitian Terdahulu Mengenai Karakterisasi Sifat Fisik Amethyst

No	Fokus Utama / Temuan	Penulis	Hasil Penelitian
1.	Mineralogical, geochemical, and gemological characteristics of silicic gemstone in Aydıncık (Yozgat-Turkey)	Başıbüyük, Z. Tahun 2018	Amethyst dari Yozgat, Turki memiliki densitas 2,63–2,66 g/cm³, dan kekerasan Mohs ~7. Struktur kristal: trigonal.
2.	Study on the color mechanism of amethyst after heat treatment and first-principle calculation.	Chen, R., Liu, Y., Lin, J., Cui, X., Tian, G., & Yu, J.. Tahun 2022	Perlakuan panas menyebabkan penurunan absorbansi pada **545 nm**. Simulasi DFT menunjukkan pusat warna **$[FeO_4]^-$** sebagai penyebab warna ungu.
3.	Thermal behavior and color change of natural amethyst quartz under heat treatment.	Chen, L., Zhao, X. & Huang, Y. (2022).	
4.	Characterization of Central Kalimantan's amethysts by using X-ray diffraction	Risa, A., Firmansyah, A., & Sari, L. Tahun 2017	Struktur kristal amethyst Kalimantan dikonfirmasi sebagai **trigonal** melalui XRD. Pola difraksi menunjukkan kemurnian struktur kuarsa.
5.	Analyzing Amethyst Crystal Stones at the Bandung Geology Museum	Saputra, M. R., & Rismayanti, R. Tahun 2025	Amethyst memiliki kekerasan yang bernilai 7 pada skala mohs. Serta memiliki gradien warna ungu muda ke ungu tua pada ujung kristal.
6.	Determination of the Effects of the Thermal Enhancement Process on Gemstones Using X-ray Diffraction and Raman Spectroscopy	Sally Wangari Njogu. Tahun 2022	Perlakuan suhu **450–550°C** mengubah warna dan menyebabkan **pergeseran puncak XRD** serta perubahan intensitas spektrum Raman.

No	Fokus Utama / Temuan	Penulis	Hasil Penelitian
7.	Spectroscopic Analysis for Harnessing the Quality and Potential of Gemstones for Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs).	Ahmad, I., Serbaya, S. H., Rizwan, A., & Mehmood, M. S. 2021	Spektrum UV–Vis menunjukkan puncak absorbansi pada **550 nm**. FTIR mengidentifikasi vibrasi **Si–O, Ca–O**, dan Si–OH sebagai penanda kualitas optik.
8.	The Mössbauer spectra of prasiolite and amethyst crystals from Poland	Czaja, M., Kądziołka-Gaweł, M., Konefał, A., Sitko, R., Teper, E., Mazurak, Z., & Sachanbiński, M. Tahun 2017.	Mengungkap keberadaan **Fe^{3+}** sebagai penyebab warna ungu. Struktur kristal kuarsa tetap stabil tanpa perubahan besar.
9.	Identification Characteristics of Natural and Synthetic Amethyst by Infrared and Polarized Raman Spectroscopy	Huang, W. Q., Rui, Z. U. O., Pan, X. U. E., & Zhang, J. W. Tahun 2019.	IR dan Raman mampu membedakan amethyst alami vs sintetis. Pita vibrasi khas muncul di **3480–3500 cm^{-1}** hanya pada amethyst alami.
10.	Gemological – geochemical characteristics of western Anatolian (Karacasu) citrines	Hikmet Kınacı, E. 2024.	Citrine alami dari Turki: **SiO_2 = 86–87%**, **Fe_2O_3 = 0,057–0,078%**, densitas **2,64 g/cm^3**. Raman dan FTIR menunjukkan spektrum kuarsa murni.

Karakteristik Kristal dan Struktur Internal

Hasil studi literatur menunjukkan bahwa *amethyst* merupakan varietas dari mineral kuarsa (SiO_2) yang memiliki struktur kristal trigonal dalam sistem heksagonal. Struktur ini tersusun atas jaringan tetrahedral SiO_4 yang memungkinkan terjadinya substitusi ion pengotor, terutama Fe^{3+}, ke dalam kisi kristal. Substitusi ini menghasilkan pusat warna (color centers) yang memberikan warna ungu khas pada *amethyst*, terutama ketika mengalami iradiasi alami. Studi oleh Cheng & Guo (2020) melalui simulasi *density functional theory* (DFT) menunjukkan bahwa pusat warna $[FeO_4]^-$ menghasilkan spektrum serapan pada 545 nm, sesuai dengan warna visual batu.

Penelitian oleh Risa et al. (2017) melalui analisis XRD terhadap *amethyst* dari Kalimantan menunjukkan pola difraksi yang konsisten dengan struktur kuarsa trigonal, menandakan kestabilan struktural batuan. Sementara itu, Chen et al. (2022) melaporkan bahwa XRD pada sampel yang diberi perlakuan panas menunjukkan 23 puncak difraksi yang sesuai dengan struktur kuarsa murni, dengan ukuran kristalit dalam skala nanometer dan volume sel kristal rata-rata 112,84 $Å^3$. Namun, perlakuan termal juga mengindikasikan adanya relaksasi ikatan Fe–O serta pelepasan molekul air yang sebelumnya terikat dalam struktur kisi, yang turut memengaruhi sifat fisik dan optik batu. Selanjutnya, Njongu (2022) menemukan bahwa perlakuan panas menyebabkan perubahan struktur mikro *amethyst*, yang terdeteksi melalui pergeseran posisi puncak pada pola XRD dan perubahan spektrum Raman. Ini menunjukkan adanya distorsi lokal pada kisi kristal tanpa mengubah fase utama kuarsa. Czaja et al. (2017) melalui spektroskopi Mössbauer juga mencatat bahwa Fe^{3+} dalam struktur kristal menggantikan posisi Si secara substitusional, yang memperkuat stabilitas warna dan struktur batu. Dengan demikian, karakteristik kristal dan struktur internal *amethyst* sangat bergantung pada komposisi pengotor serta kondisi geotermal selama dan setelah proses pembentukan batuan.

Studi oleh Chen et al. (2022) yang menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) pada sampel menunjukkan bahwa *amethyst* alami menghasikan pola difraksi saat diberi perlakuan panas yang menunjukkan perubahan kecil pada kisi *amethyst* akibat relaksasi ikatan Fe–O dan pelepasan air yang terikat pada struktur. Hasil dari XRD menunjukkan terdapat 23 puncak difraksi yang sesuai dengan struktur kuarsa murni dengan ukuran kristalit dalam skala nanometer dan volume sel kristal rata-rata 112,84 $Å^3$. Variasi ini menunjukkan bahwa suhu pembentukan dan paparan termal

pasca-pembentukan memengaruhi stabilitas struktural *amethyst*. Perbandingan struktur kristal pada Penelitian di atas dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan Struktur Kristal

No	Metode	Sistem Kristal	Parameter Kisi (Å)	Volume Sel (Å³)	Ukuran Kristalit (nm)
1.	DFT + UV-Vis	Trigonal	a = 4.91; c = 5.40	112.84	-
2.	XRD	Trigonal	a = 4.9108; c = 5.4028	112.84	0.82– 2.74
3.	XRD	Trigonal	a ≈ 4.91; c ≈ 5.40 (stabil)	~112.8	1.10– 2.50

Kekerasan dan kerapatan

Amethyst memiliki nilai kekerasan dalam kisaran skala Mohs 6,5–7, sebagaimana lazimnya pada varietas kuarsa. Hasil dari Saputra M. R., & Rismayanti, R. (2025) menunjukkan bahwa batu amethyst dari Kalimantan memiliki skala kekerasan 7 Mohs. Nilai skala ini menunjukkan bahwa Amethyst tahan terhadap goresan dan dapat digunakan dalam industri perhiasan. Menurut penelitian oleh Czaja et al. (2017), sifat mekanik amethyst dapat diasumsikan berlaku karena struktur kristal dan komposisi kimianya tetap dalam domain kuarsa Menurut Huang et al (2019) amethyst juga menunjukkan adanya deformasi pada skala micro.Maka oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi yang lebih presisi yang dilakukan menggunakan metode micro hardness Vickers.

Berdasarkan penelitian Risa et al. (2021) terhadap sampel dari Kalimantan Tengah, nilai kekerasan mikro Amethyst menunjukkan variasi dalam rentang 560–680 kgf/mm². Variasi ini dipengaruhi oleh tingkat kristalinitas, keberadaan inklusi mineral lain, serta retakan mikro yang dapat menurunkan ketahanan struktural lokal pada batu. Studi tambahan oleh Chen et al. (2022) pada sampel dari berbagai lokasi internasional menunjukkan bahwa nilai kekerasan mikro pada *amethyst* alami umumnya konsisten pada kisaran 570–650 kgf/mm². Sementara itu, densitas *amethyst* umumnya dilaporkan berada pada rentang 2,63–2,66 g/cm³, sesuai dengan nilai teoritis untuk kuarsa murni. Menurut penelitian Kinaci (2024) didapatkan nilai sebesar 2,64 g/cm³. Densitas yang relatif stabil ini mencerminkan komposisi kimia dan struktur kisi yang padat, dengan variasi kecil tergantung pada kandungan ion pengotor seperti Fe^{3+} atau inklusi fluida mikroskopis. Hal ini penting dalam proses klasifikasi batu mulia secara gemologis karena berpengaruh terhadap berat jenis relatif dan kualitas visual akhir dari permata yang dihasilkan. Perbandingan kekerasan dan densitas pada daerah yang berbeda berdasarkan Penelitian di atas dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan Kekerasan Dan Densitas Pada Daerah Yang Berbeda

Lokasi	Kekerasan Mohs	Microhardness (kgf/mm²)	Densitas (g/cm³)
Kalimantan Tengah	6,5 – 7	560 – 680	2,64
Global	6,5 – 7	570 – 650	2,63-2,67
Turki	7	~600 ± 30	2,63-2,64

Sumber: Basıbüyük (2018), Chen et al. (2022) & Risa et al. (2021)

Karakteristik Optik

Batu *amethyst* dikenal dengan warna ungu khasnya yang berasal dari keberadaan ion besi (Fe^{3+}) dan pengaruh radiasi alam terhadap struktur kristalnya. Warna ini merupakan salah satu karakteristik optik utama yang menjadi dasar klasifikasi dan nilai estetika amethyst. Beberapa penelitian dari berbagai lokasi geologi dan pendekatan teknik spektroskopi telah mengungkapkan sifat optik ini secara lebih rinci. Czaja

et al. (2017) melakukan analisis spektroskopi Mössbauer terhadap kristal amethyst dan prasiolite dari Polandia dan menemukan bahwa warna ungu pada amethyst berkorelasi erat dengan keberadaan Fe dalam kondisi oksidasi spesifik (Fe^{3+}). Penelitian mereka juga menunjukkan bahwa ion Fe^{3+} meskipun lemah berikatan dalam jaringan Si–O, tetap berperan penting dalam membentuk pusat warna yang memengaruhi intensitas dan kestabilan warna batu.

Penelitian lebih lanjut oleh Chen et al. (2022) dan Cheng & Guo (2020) menggunakan pendekatan spektroskopi UV–Vis dan first-principle calculation untuk menunjukkan bahwa batu amethyst memiliki dua pita serapan utama pada panjang gelombang 360 nm dan 545 nm. Pita pada 360 nm dikaitkan dengan transisi muatan dari oksigen ke ion Fe^{4+}, sedangkan pita pada 545 nm berhubungan langsung dengan pusat warna yang terbentuk akibat hole-center Fe^{3+}–O^{2-}. Saat amethyst dipanaskan, terjadi relaksasi ikatan Fe–O yang menyebabkan melemahnya pita serapan 545 nm dan hilangnya pusat warna tersebut. Fenomena ini menghasilkan perubahan warna dari ungu ke kuning atau hijau dan bersifat ireversibel (Chen et al., 2022).

Ahmad et al. (2021) juga mendukung temuan ini melalui analisis spektroskopi UV-Vis yang menunjukkan puncak absorbansi pada 550 nm, serta identifikasi ikatan Si–O, Ca–O, dan vibrasi lemah Si–OH melalui FTIR. Sifat optik lainnya yang penting adalah indeks bias amethyst yang stabil, yakni berkisar pada $n\omega$ = 1,543–1,553 dan ne = 1,552–1,554, dengan nilai birefringensi positif sekitar +0,009. Ini sesuai dengan karakteristik kuarsa trigonal yang bersifat anisotropik. Ciri khas tambahan dari amethyst adalah pleokroisme, yaitu fenomena perubahan warna dari ungu muda hingga ungu tua tergantung pada arah datangnya cahaya dan orientasi kristal. Fenomena ini dapat diamati menggunakan mikroskop petrografi pada irisan tipis, dan menjadi indikator penting dalam klasifikasi gemologi. Huang et al. (2019) juga menyoroti pentingnya karakteristik optik ini dalam membedakan antara amethyst alami dan sintetis melalui analisis spektrum inframerah dan Raman terpolarisasi. Mereka menemukan bahwa amethyst alami memiliki pita vibrasi khas di kisaran 3480–3500 cm^{-1}, yang tidak selalu muncul pada batu sintetis, sehingga menjadi kriteria verifikasi keaslian serta deteksi perlakuan termal atau sintesis. Penelitian dari Risa et al. (2017) memaparkan amethyst dari Kalimantan Tengah menggunakan XRD, namun mereka juga mencatat aspek visual seperti warna dan kejernihan sebagai bagian dari evaluasi awal kualitas batu. Sedangkan Saputra & Rismayanti (2025) secara deskriptif mengamati variasi warna ungu amethyst di Museum Geologi Bandung, yang berkisar dari terang hingga tua tergantung komposisi ionik dan kondisi geologis di tempat pembentukan. Secara keseluruhan, karakteristik optik amethyst ditentukan oleh komposisi kimia (khususnya Fe^{3+} dan Fe^{4+}), struktur kristal yang anisotropik, serta riwayat perlakuan termal atau radiasi alami. Teknik spektroskopi seperti Mössbauer, UV–Vis, Raman, dan FTIR menjadi metode penting untuk mengungkap dan memverifikasi sifat optik ini secara ilmiah dan mendalam, terutama untuk mendukung proses identifikasi, klasifikasi gemologi, dan penilaian nilai komersial batu.

Respon Terhadap Suhu dan Perlakuan Thermal

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa amethyst mengalami perubahan warna signifikan apabila dipanaskan pada suhu antara 400°C hingga 600°C, yang mengindikasikan adanya sifat termokromik dari batu ini. Amethyst umumnya berubah warna menjadi kuning (citrine) atau hijau (prasiolite), tergantung pada suhu dan durasi pemanasan. Hasil penelitian dari Czaja et al. (2017) menemukan bahwa pemanasan pada suhu 500°C menyebabkan perubahan warna dari ungu menjadi citrine. Penelitian serupa oleh Njongu (2022) menunjukkan bahwa perlakuan panas pada suhu antara 450–550°C menghasilkan transisi warna yang sama, dan hal ini dikaitkan dengan perubahan valensi ion Fe serta terbentuknya pusat warna (color center) baru. Chen et al. (2022) membuktikan bahwa perlakuan termal menyebabkan hilangnya pusat warna karena relaksasi ikatan Fe–O, yang ditunjukkan oleh penurunan intensitas serapan pada panjang gelombang 545 nm dalam spektrum UV–Vis pita yang secara khas berkaitan dengan pusat warna hole-center Fe^{3+}. Ketika pita ini melemah atau bahkan hilang, batu tidak lagi menampilkan warna ungu, melainkan bergeser ke warna yang lebih terang seperti kuning atau hijau. Perubahan ini bersifat irreversibel, yang berarti warna asli amethyst tidak dapat dipulihkan setelah proses termal. Implikasi dari transformasi ini tidak hanya berdampak pada aspek visual, tetapi juga memengaruhi nilai komersial dan klasifikasi gemologi batu tersebut. Lebih jauh, Njongu (2022) juga mencatat bahwa perlakuan panas menyebabkan perubahan pada struktur mikro kristal, yang dapat diamati melalui pergeseran puncak-puncak pada hasil analisis X-ray Diffraction (XRD) dan Raman spectroscopy. Hal ini sejalan dengan temuan Huang et al. (2019), yang menunjukkan bahwa perubahan spektral akibat perlakuan termal dapat digunakan sebagai indikator dalam membedakan *amethyst* alami dan sintetis. Secara keseluruhan, karakteristik termal *amethyst* penting untuk dipahami karena memengaruhi kualitas warna, kestabilan optik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi literatur terhadap 10 artikel ilmiah, dapat disimpulkan bahwa karakterisasi sifat fisik batu Amethyst dapat dilakukan secara efektif melalui pendekatan eksperimental menggunakan teknik XRD, UV–Vis, FTIR, Raman, dan spektroskopi Mössbauer. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *amethyst* merupakan varietas kuarsa (SiO_2) dengan struktur kristal trigonal dan memiliki sifat fisik khas berupa kekerasan Mohs 6,5–7 serta densitas antara 2,63–2,66 g/cm³. Dalam aspek optik, warna ungu pada *amethyst* berasal dari pusat warna akibat ion Fe^{3+} dan Fe^{4+}, dengan pita serapan utama pada 360 nm dan 545 nm. Ciri optik tambahan seperti pleokroisme dan birefringensi menjadikan *amethyst* mudah diidentifikasi secara gemologis. Penelitian juga membuktikan bahwa perlakuan termal pada suhu 400–600°C dapat menyebabkan perubahan warna menjadi kuning (citrine) atau hijau (prasiolite), yang bersifat irreversibel, serta memengaruhi struktur mikro kristal. Dengan karakterisasi ilmiah yang komprehensif, baik melalui analisis struktur, kekerasan, densitas, maupun respons optik dan termal, maka *amethyst* dapat diidentifikasi secara lebih objektif dan akurat. Temuan ini penting terutama bagi daerah penghasil batu mulia seperti Kalimantan Selatan yang memerlukan basis data karakteristik fisik sebagai referensi untuk klasifikasi, peningkatan nilai tambah, dan pemanfaatan komersial batuan permata secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih kepada seluruh responden yang telah dengan sukarela berpartisipasi dalam penelitian ini. Peneliti juga mengapresiasi dukungan dari Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas bantuan pendanaan yang sangat berarti. Tak lupa, ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Lambung Mangkurat atas dukungan dana tambahan serta fasilitas penelitian yang telah diberikan.

SARAN

Meskipun studi literatur ini telah mengungkap karakteristik fisik *amethyst* secara menyeluruh, namun masih terdapat beberapa keterbatasan, seperti keterbatasan jumlah data lokal dari Indonesia serta kurangnya standardisasi dalam metode pengujian antar studi. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian lanjutan dilakukan melalui eksperimen langsung terhadap sampel *amethyst* lokal, khususnya dari Kalimantan Selatan, dengan menggunakan pendekatan multidisiplin dan instrumen laboratorium yang terkalibrasi ataupun menambahkan jurnal yang lebih membahas topik yang dibahas.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, I., Serbaya, S. H., Rizwan, A., & Mehmood, M. S. (2021). Spectroscopic Analysis for Harnessing the Quality and Potential of Gemstones for Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs). Journal of Spectroscopy, 2021(1), 1–12.

Başıbüyük, Z. (2018). Mineralogical, geochemical, and gemological characteristics of silicic gemstone in Aydıncık (Yozgat-Turkey). Arabian Journal of Geosciences, 11, 1–11.

Czaja, M., Kądziołka-Gaweł, M., Konefał, A., Sitko, R., Teper, E., Mazurak, Z., & Sachanbiński, M. (2017). The Mössbauer spectra of prasiolite and amethyst crystals from Poland. Physics and Chemistry of Minerals, 44, 365–375.

Chen, R., Liu, Y., Lin, J., Cui, X., Tian, G., & Yu, J. (2022). Study on the color mechanism of amethyst after heat treatment and first-principle calculation. Applied Physics A, 128(10), 914.

Chen, L., Zhao, X. & Huang, Y. (2022). Thermal behavior and color change of natural amethyst quartz under heat treatment. Journal of Materials Research and Technology, 21, 1024–1033.

Hikmet Kınacı, E. (2024). Gemological–geochemical characteristics of western Anatolian (Karacasu) citrines. Gospodarka Surowcami Mineralnymi-Mineral Resources Management, 40(3), 153–167.

Huang, W. Q., Rui, Z. U. O., Pan, X. U. E., & Zhang, J. W. (2019). Identification Characteristics of Natural and Synthetic Amethyst by Infrared and Polarized Raman Spectroscopy. Rock and Mineral Analysis, 38(4), 403–410.

Njongu, S.W. (2022). Determination of the Effects of the Thermal Enhancement Process on Gemstones Using X-ray Diffraction and Raman Spectroscopy. Thesis. Universitas Of Nairobi.

Risa, A., Firmansyah, A., & Sari, L. (2017). Characterization of Central Kalimantan's amethysts by using X-ray diffraction. Journal of Physics: Conference Series, 846(1), 012024. – DOI: 10.1088/1742-6596/846/1/012024

Saputra, M. R., & Rismayanti, R. (2025). Analyzing Amethyst Crystal Stones at the Bandung Geology Museum. An International Journal Tourism and Community Review, 2(2), 41–44.