

KAJIAN PETROLOGI, GEOKIMIA, DAN POTENSI MINERAL STRATEGIS PADA FORMASI GRANIT TANTAN, GEOPARK MERANGIN, JAMBI

PETROLOGICAL, GEOCHEMICAL, AND STRATEGIC MINERAL POTENTIAL OF THE TANTAN GRANITE FORMATION, MERANGIN GEOPARK, JAMBI

Y. A. Yulanda^{*1}, J. Wiratama², M. E. Hakim³, M. F. Seprizal⁴

¹⁻⁴Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

¹⁻⁴Jalan Raya Jambi- Ma. Bulian KM 15 Mendalo Indah, Kode Pos 36361

e-mail: ^{*1}yudiarista@unja.ac.id, ²jarot.mining@unja.ac.id, ³elhakim@unja.ac.id, ⁴mfaisalseprizal@unja.ac.id

ABSTRAK

Granitoid merupakan salah satu batuan yang berpotensi membawa mineral strategis, seperti tembaga, timah dan aluminium, yang perannya semakin krusial sebagai komponen kunci dalam pengembangan teknologi modern di era transisi energi dan digitalisasi global. Formasi Granit Tantan (Batuan Granitoid) yang tersingkap di kawasan Geopark Merangin menjadi bukti adanya proses magmatisme dan potensi mineralisasi hidrotermal. Meskipun demikian, penelitian karakteristik granit Tantan berdasarkan petrografi dan geokimia masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakter petrologi, geokimia, serta potensi mineralisasi logam dasar pada Formasi Granit Tantan melalui analisis petrografi, mineragrafi, XRF, dan XRD terhadap tiga sampel batuan yang diambil dari Situs Air Batu (AB), Teluk Tilan (TL), dan Jeram Ladeh (JL) menggunakan metode *grab* dan *chip sampling*. Hasil analisis petrografi menunjukkan komposisi Kuarsa 41–51%, Plagioklas 24–43%, dan mineral mafik 8–35%, dengan klorit sebagai mineral indikator alterasi propilitik. Analisis mineragrafi mengidentifikasi keterdapatan kalkopirit (0,1%), covelit (<0.1%), pirit (1,1%), magnetit (2,9%), dan hematit (1,2%) yang menunjukkan bukti adanya sistem mineralisasi hidrotermal. Hasil XRF menunjukkan rasio A/CNK (0,99–1,28), dua sampel (AB dan JL) diklasifikasikan sebagai granit tipe-I (*metaluminous*), sedangkan satu sampel (TL) tergolong granit tipe-S (*peraluminous*). Anomali keterdapatan mineralisasi Cu pada granit tipe-S diinterpretasikan sebagai hasil kontaminasi magma atau aktivitas hidrotermal pascaintrusi. Kombinasi granit tipe-I, bukti langsung Kalkopirit, adanya supergen *enrichment* dan penanda alterasi Klorit menegaskan indikasi kuat terhadap potensi mineralisasi logam strategis Tembaga (Cu). Formasi Granit Tantan penting dalam memahami evolusi magmatisme dan memiliki nilai strategis di kawasan Geopark Merangin.

Kata kunci: petrologi, geokimia, mineral strategis, formasi granit, alterasi hidrotermal

ABSTRACT

Granitoids represent rock units capable of hosting strategic minerals such as copper, tin, and aluminum, which are increasingly essential for modern technologies in the energy-transition and digitalization era. The Tantan Granite Formation provides evidence of magmatic processes and potential hydrothermal mineralization. However, petrographic and geochemical investigations of the Tantan Granite remain scarce. This research aims to identify the petrological and geochemical characteristics, alongside the base metal mineralization potential, of the Tantan Granite Formation through petrography, mineragraphy, XRF, and XRD analyses conducted on three samples collected from the Air Batu (AB), Teluk Tilan (TL), and Jeram Ladeh (JL) sites using *grab* and *chip sampling* methods. Petrographic analysis revealed the rock composition to be Quartz (41–51%), Plagioclase (24–43%), and mafic minerals (8–35%), featuring chlorite as a product of propylitic alteration. Mineragraphic analysis identified the occurrence of ore minerals including chalcopyrite (0.1%), covelite (<0.1%), pyrite (1.1%), magnetite (2.9%), and hematite (1.2%), providing evidence of a hydrothermal mineralization system. XRF results showed an A/CNK ratio (0.99–1.28), classifying two samples (AB and JL) as I-type (*metaluminous*) granite, while one sample (TL) was categorized as S-type (*peraluminous*) granite. The anomalous presence of Cu mineralization in the S-type granite is interpreted as the result of magma contamination or post-intrusion hydrothermal activity. The combination of I-type granite, direct evidence of chalcopyrite, potential for supergene enrichment, and the chlorite alteration signature collectively confirms a strong indication for strategic Copper (Cu) mineralization potential. The Tantan Granite Formation plays a key role in constraining magmatic evolution and holds strategic importance within the Merangin Geopark.

Keywords: petrology, geochemistry, strategic mineral, granitoid formation, hydrothermal alteration

PENDAHULUAN

Peran mineral strategis dalam pembangunan peradaban modern semakin vital di era transisi energi, digitalisasi, dan industri berkelanjutan. Mineral seperti timah, emas, tembaga, nikel, cobalt, perak dan unsur logam tanah jarang (LTJ) merupakan bahan utama dalam berbagai aplikasi teknologi, mulai dari perangkat elektronik, baterai kendaraan listrik, hingga peralatan militer dan energi terbarukan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap potensi keterdapatan dan kondisi geologis pembawa mineral-mineral strategis tersebut menjadi penting, tidak hanya dalam konteks eksplorasi, tetapi juga dalam pengembangan ilmu geologi, edukasi publik dan perkembangan ekonomi suatu negara di masa depan [1].

Salah satu wilayah di Indonesia yang menyimpan potensi informasi geologi penting adalah Formasi Granit Tantan di Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi. Granit ini merupakan bagian dari sistem geologi berumur Trias yang tersingkap di sepanjang Sungai Mengkarang [2], dan menempati posisi strategis dalam tatanan tektonik Pulau Sumatra. Namun, karakter petrologi, geokimia serta tipe genetiknya belum banyak diteliti secara mendalam, sehingga membuka peluang untuk kajian geologi dasar yang lebih komprehensif.

Berdasarkan genesanya, batuan granitoid dapat diklasifikasikan menjadi tipe I, S, A, M, atau C [3]. Granit tipe-I berasal dari diferensiasi magma *igneous*, sedangkan tipe-S terbentuk melalui proses ultra-metamorfosis batuan sedimen [4]. Kedua tipe ini memiliki asosiasi kuat dengan mineralisasi logam: tipe-I cenderung mengandung Cu-Au-Mo, sementara tipe-S lebih terkait dengan Sn-W. Distribusi unsur-unsur ini dipengaruhi oleh sumber magma, *fugacity* oksigen, dan tingkat fraksionasi. Sebagai contoh, Cu dan Mo menunjukkan fraksionasi rendah, sedangkan Sn terakumulasi pada fraksionasi tinggi [5]. Granit Tantan pada lokasi penelitian diduga tergolong sebagai Granit Tipe I, ditunjukkan oleh kesamaan umur intrusi dengan

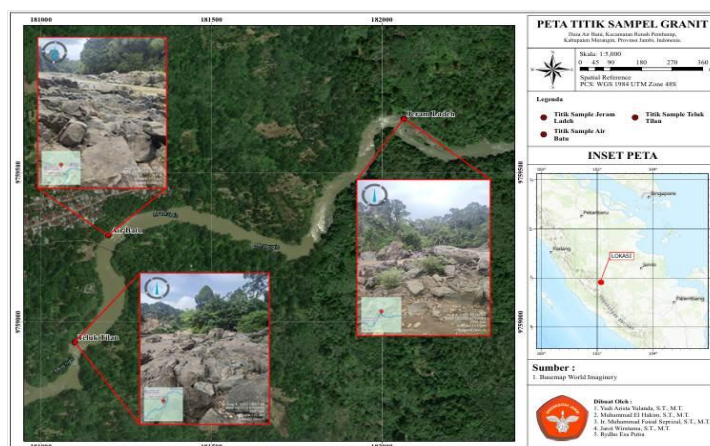
granit di daerah Sungai Manau yang secara spasial berdekatan. Hal ini diperkuat berdasarkan hasil studi sebelumnya [6] yang menyatakan bahwa Granit Tantan tergolong ke dalam Granit Tipe I dengan umur intrusi diperkirakan berada pada kisaran *Late Triassic* hingga *Early Jurassic*, memiliki karakteristik metaluminous hingga *weakly peraluminous*, berkomposisi *calc-alkaline*, dan terbentuk pada *continental arc tectonic setting*.

Studi lainnya [7] juga mengidentifikasi kandungan *rare earth elements* (REE) dalam Granit Tantan, namun karakterisasi mineral pembawa dan klasifikasi genetika granit ini belum dilakukan secara rinci. Oleh karena itu, studi petrologi dan geokimia terhadap granit ini menjadi sangat penting, tidak hanya untuk mengklasifikasikan tipenya (S, I, atau transisi), tetapi juga untuk menilai potensi keterkaitan dengan sistem mineralisasi yang ada. Dengan demikian, penelitian terkait petrogenesis, geokimia, dan potensi mineral strategis menjadi langkah penting untuk memahami peran Granit Tantan dalam konteks geologi regional dan pengembangan sumber daya berkelanjutan.

Dalam konteks *Geopark* Merangin, kawasan ini dikenal karena keunikan warisan geologi berupa fosil-fosil flora Paleozoikum, struktur lipatan batuan, serta keberadaan formasi-formasi magmatik seperti Granit Tantan, dengan mengkaji karakter petrologi dan geokimia granit Tantan secara ilmiah, dapat memperkaya khasanah pengetahuan geologi kawasan *Geopark* Merangin, serta membuka peluang pemanfaatan edukatif dan ilmiah sebagai "kampus geologi lapangan" di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di *Geopark Site* Desa Air Batu tepatnya pada situs Granit Tantan. Sampel Penelitian diambil pada tiga lokasi (Gambar 2) yaitu Situs Teluk Tilan (TL), Situs Air Batu (AB), dan Situs Jeram Ladeh (JL).



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Sampel penelitian diambil menggunakan *grab sampling* dan *chip sampling*. Metode *grab sampling* dan *chip sampling* merupakan dua teknik penting dalam pengambilan sampel batuan untuk keperluan eksplorasi dan pengendalian kadar. *Grab sampling* dilakukan dengan mengambil contoh batuan secara acak dari material pecah seperti hasil peledakan atau tumpukan (*muck pile*). *Chip Sampling* dilakukan dengan memahat potongan kecil batuan (*chips*) secara sistematis di sepanjang bidang singkapan urat atau dinding tambang. Teknik ini memberikan gambaran lateral kadar unsur

dalam batuan dan memerlukan ketelitian tinggi untuk menjaga keseragaman ukuran dan posisi sampel agar kesalahan pengambilan dapat diminimalkan [8].

Sampel yang dipergunakan untuk pembuatan sayatan tipis (Gambar 2) dan sayatan poles (Gambar 3) diambil secara selektif menggunakan metode *grab sampling*. Sementara sampel untuk pengujian XRF dan XRD diambil menggunakan metode *chip Sampling* dengan interval pengambilan sampel per satu meter dan jumlah sampel 5 kg pada tiap lokasi.



Gambar 2. Sampel Petrografi Batuan (Kiri: TL, Tengah: AB, Kanan: JL)



Gambar 3. Sampel Mineragrafi Batuan (Kiri: TL, Kanan: AB)

Pembuatan sayatan Tipis dan analisis petrografi dilakukan di Laboratorium Geoaccess Yogyakarta. Analisis ini menggunakan mikroskop polarisasi refraksi. Tujuan dari analisis ini untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi batuan sampel mencakup penentuan komposisi, persentase mineral primer serta identifikasi mineral sekunder yang sangat krusial sebagai indikator tipe dan tingkat alterasi hidrotermal.

Pembuatan sayatan poles dan analisis mineragrafi dilakukan di Laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara (Tekmira) di Bandung. Analisis ini menggunakan mikroskop polarisasi refleksi untuk mengidentifikasi mineral *Opaque* (terutama identifikasi Mineral Logam). Pengujian Sampel XRF dilakukan di Laboratorium Laboratorium Mekanika Material dan

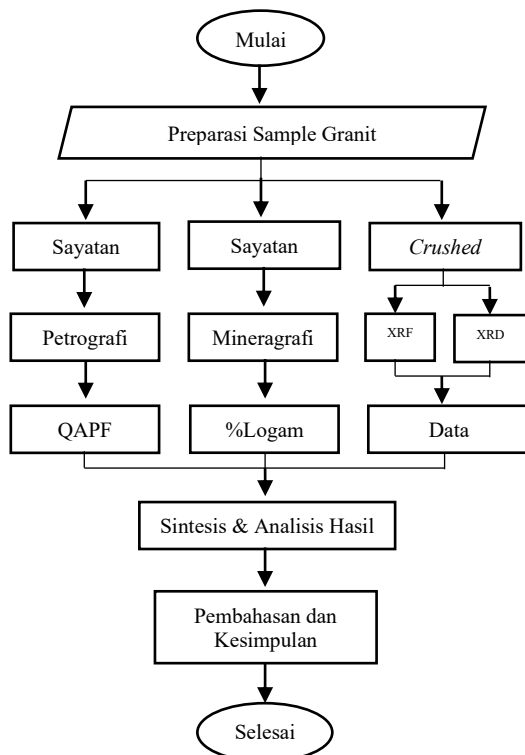
Struktur-Mekanika Material Geomineral di Tanjung Bintang Lampung. Sampel batuan dari lapangan dilakukan peremukan dan penggerusan sampai ukuran 200# mesh di Laboratorium Pengolahan Universitas Jambi (Gambar 4). Analisis X-Ray Fluorescence (XRF) dilakukan untuk memperoleh data kuantitatif komposisi kimia batuan. Tujuan utamanya adalah untuk menentukan kandungan unsur major (seperti SiO_2 , Fe_2O_3 , dan Al_2O_3). Output yang dihasilkan dari data ini adalah rasio geokimia (A/CNK) yang sangat penting untuk klasifikasi geokimia batuan (penentuan tipe granit I-type atau S-type). Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Dasar Universitas Jambi. Pengujian ini hanya dilakukan pada satu sampel saja untuk mengkonfirmasi penyebaran mineral yang ditemukan melalui uji Mineragrafi dan Petrografi.



Gambar 4. Proses Penghalusan Sampel XRF (Kiri: Bongkah Batuan, Tengah: *Crusher*, Kanan: Sampel Uji)

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara terintegrasi setelah semua data lapangan dan laboratorium terkumpul, dengan fokus utama pada interpretasi petrologi dan geokimia untuk penentuan potensi mineral (Gambar 5).



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

Pengolahan Data Petrografi dan Mineragrafi:

- *Plotting Diagram QAPF (Quartz-Alkali feldspar-Plagioclase-Feldspathoid)*. Plot ini menghasilkan penamaan dan klasifikasi definitif batuan beku plutonik (Granitoid, Tonalit, dan sebagainya).

Pengolahan Data Geokimia (XRF):

- Perhitungan rasio molar spesifik, terutama A/CNK ($Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$). Rasio ini kemudian

diinterpretasikan untuk mengklasifikasikan Tipe Granitoid (Granit Tipe-I, Tipe-S).

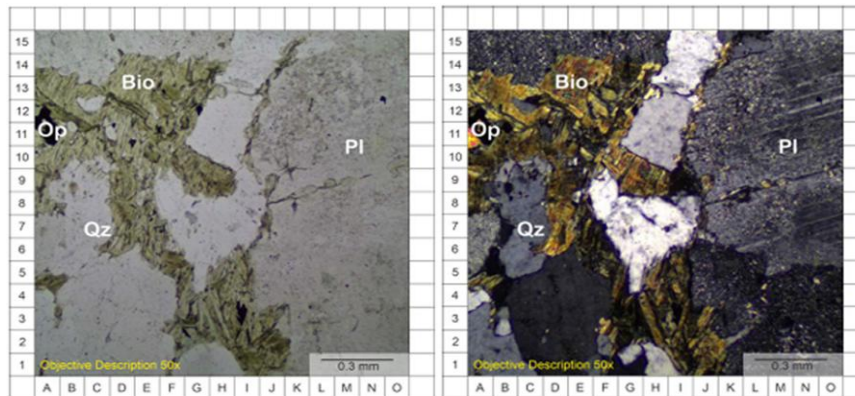
- Sintesis dan Interpretasi semua data klasifikasi (QAPF), geokimia (Tipe Granit), Alterasi Hidrotermal, dan mineralisasi logam diinterpretasikan untuk menyimpulkan potensi Mineral Strategis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

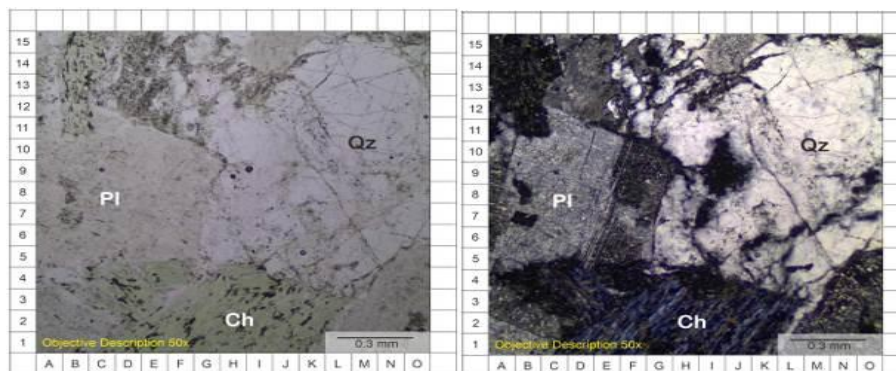
Analisis Petrografi

Analisis petrografi dilakukan dengan mengamati sayatan tipis batuan di bawah mikroskop polarisasi. Pengamatan dilakukan dalam dua mode cahaya utama: PPL (*Plane Polarized Light*, atau cahaya terpolarisasi bidang datar) untuk mengidentifikasi warna, bentuk, dan pleokroisme mineral; dan XPL (*Crossed Polarized Light*, atau cahaya terpolarisasi silang) untuk menentukan sifat optik dan sudut pemadaman yang krusial dalam identifikasi jenis mineral tertentu. Setelah komposisi mineral utama (Kuarsa, Feldspar Alkali, Plagioklas, dan Feldspathoid) teridentifikasi dan persentasenya dihitung, klasifikasi batuan beku plutonik dilakukan menggunakan diagram QAPF (*Quartz-Alkali feldspar-Plagioclase-Feldspathoid*) yang merupakan standar internasional untuk penamaan batuan granitoid berdasarkan proporsi relatif mineral-mineral tersebut.

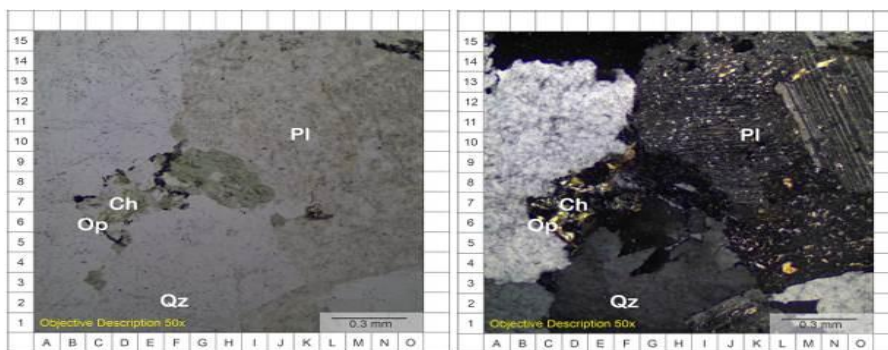
Berdasarkan pengamatan menggunakan Mikroskop Polarisasi terhadap tiga sampel batuan dari tiga lokasi pada formasi Granit Tantan ditemukan beberapa mineral utama pembentuk batuan. Selain itu juga ditemukan adanya mineral sekunder yang menandakan telah terjadi proses alterasi. Dari analisa petrografi dengan perbesaran 50 kali pada lokasi AB didominasi oleh mineral kuarsa (Qz), biotit (Bio), plagioklas (Pl) dan juga terdapat mineral opak (Op). Pada sampel di lokasi JL terlihat adanya mineral kuarsa (Qz), plagioklas (Pl) dan klorit (Ch). Sedangkan pada sampel di lokasi TL dari analisa petrografi juga terdapat kuarsa (Qz), plagioklas (Pl), klorit (Ch), dan juga ditemukan sedikit mineral opak (Op). Hasil dari petrografi analisis terdapat pada Gambar 6, 7, dan 8.



Gambar 6. Petrografi Sampel AB (Kanan: PPL, Tengah: XPL, Kiri: Plot QAPF [19])



Gambar 7. Petrografi Sampel JL (Kanan: PPL, Tengah: XPL, Kiri: Plot QAPF [19])



Gambar 8. Petrografi Sampel TL (Kanan: PPL, Tengah: XPL, Kiri: Plot QAPF [19])

Analisis petrografi terhadap tiga sampel batuan (AB, JL, dan TL) menunjukkan variasi komposisi mineral. Sampel AB (Gambar 6) tersusun atas Kuarsa (41%), Plagioklas (24%), Biotit (33%), dan mineral opak (2%). Sementara Sampel JL (Gambar 7) memiliki komposisi Kuarsa (51%), Plagioklas (28%), dan klorit (21%). Adapun Sampel TL (Gambar 8) didominasi oleh Kuarsa (46%) dan Plagioklas (43%) dengan klorit (8%). Ketidakhadiran ortoklas pada ketiga sampel menjadi

karakteristik utama yang menentukan posisi plotnya dalam diagram klasifikasi QAPF. Berdasarkan plot komposisi mineral felsik, Sampel AB (Gambar 6) dan Sampel JL (Gambar 7) tergolong sebagai *Quartz-rich Granitoid*, sedangkan Sampel TL (Gambar 8) terklasifikasi sebagai Tonalit.

Persentase mineral mafik dalam ketiga batuan memberikan interpretasi terhadap asal magma. Sampel

AB dengan kandungan mineral mafik 35% (terutama biotit) menunjukkan sifat *intermediate* yang kuat [9]. Kandungan biotit yang tinggi mengindikasikan magma pembentuknya relatif kaya unsur besi (Fe) dan magnesium (Mg). Sementara itu, Sampel JL dengan 21% mineral mafik (klorit) menempati posisi peralihan antara *intermediate* dan felsik. Sebaliknya, Sampel TL dengan hanya 8% mineral mafik secara jelas mencerminkan karakter asam (felsik).

Aspek alterasi hidrotermal menunjukkan pola yang menarik dalam mengubah asosiasi mineral ketiga sampel. Sampel AB merupakan satu-satunya yang masih mempertahankan mineral mafik primer (biotit) yang belum ter-alterasi. Sebaliknya, Sampel JL dan TL telah mengalami alterasi hidrotermal intensitas rendah (<25%) dengan klorit sebagai mineral sekunder pengganti mineral mafik primer [10]. Kehadiran klorit pada JL (21%) dan TL (8%) mengindikasikan proses alterasi tipe propilitik yang dipicu oleh fluida hidrotermal kaya magnesium dan besi [11].

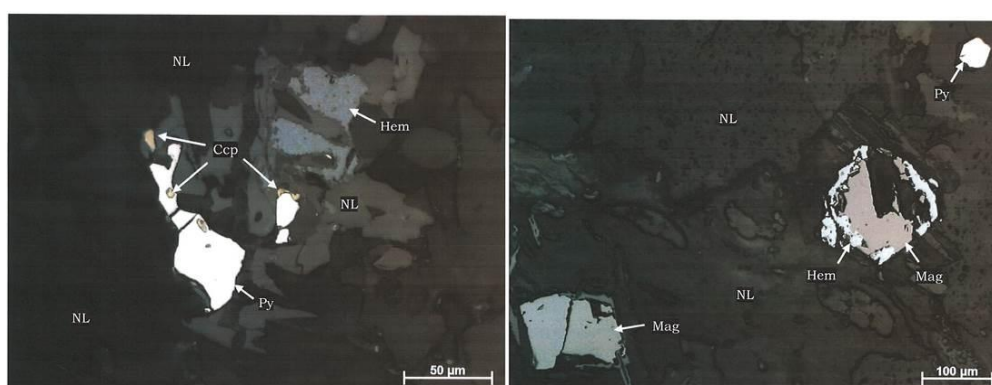
Variasi komposisi dari AB (*intermediate*) ke TL (*felsic*) merefleksikan spektrum diferensiasi magmatik yang mungkin berasal dari sumber magma yang sama ataupun berbeda. Sampel AB dengan kandungan mafik tinggi mungkin merepresentasikan produk awal diferensiasi magma, sementara TL yang lebih felsik dapat merupakan produk akhir kristalisasi fraksional. Adanya alterasi hidrotermal pada JL dan TL mengindikasikan bahwa batuan-batuan ini telah terpapar sistem hidrotermal pasca-pembekuan. Berdasarkan analisis petrografi, pola alterasi hidrotermal pada ketiga sampel memberikan indikasi kuat mengenai potensi mineralisasi logam yang berbeda-beda. Pada Sampel JL, alterasi klorit yang berkembang tanpa disertai kehadiran mineral opak mengindikasikan zona alterasi propilitik yang umumnya terletak pada bagian luar sistem hidrotermal. Sementara itu, Sampel TL menunjukkan kondisi yang

lebih menarik dimana alterasi klorit (8%) hadir bersamaan dengan mineral opak. Asosiasi ini mengindikasikan bahwa batuan ini tidak hanya terpapar fluida hidrotermal, tetapi juga mengalami proses mineralisasi dimana mineral-mineral opak terbentuk. Klorit juga salah satu mineral yang paling umum teridentifikasi pada endapan porfiri dan digunakan dalam investigasi proses transportasi unsur unsur metal serta proses pengkayaannya pada proses alterasi hidrotermal [12]. Keberadaan mineral opak dalam batuan teralterasi seperti pada Sampel TL merupakan penanda jejak hidrotermal yang dapat berasosiasi dengan mineralisasi logam dasar.

Sampel AB tidak menunjukkan adanya alterasi, ditandai dengan kehadiran biotit primer dan tidak adanya mineral alterasi seperti klorit. Namun, keberadaan mineral opak (2%) dalam batuan ini dapat mengindikasikan fase kristalisasi magmatik awal. Meskipun bukan merupakan indikator alterasi hidrotermal, asosiasi biotit primer dan mineral opak pada batuan *intermediate* seperti ini merupakan karakteristik yang umum ditemukan sebagai batuan induk (*host rock*) dalam sistem porfiri Cu-Au, di mana mineralisasi hidrotermal kemudian diendapkan.

Analisis Mineragrafi

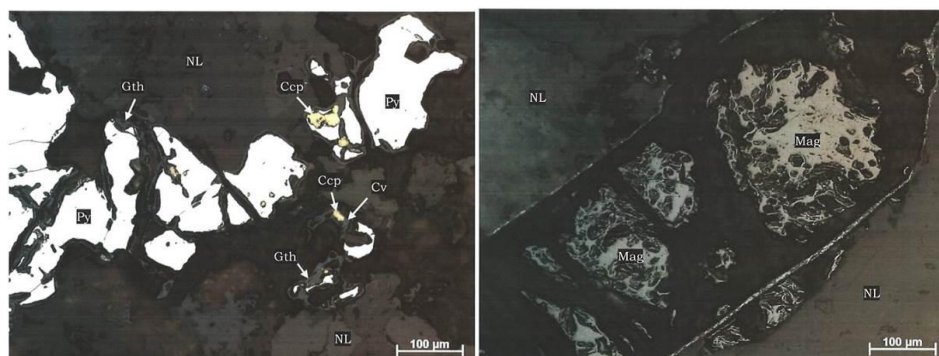
Kehadiran Mineral Opaq pada sampel AB dan TL menunjukkan adanya indikasi mineralisasi logam. Untuk itu perlu diverifikasi dengan analisis mineragrafi. Mineral Logam yang teridentifikasi dari hasil mineragrafi sayatan poles terdiri dari *Chalcopyrite*, *Covelit*, *Magnetit*, *Hematit*, dan *Pyrite*. Berdasarkan hasil uji mineragrafi, dapat dikonfirmasi bahwa kedua sampel batuan granitoid (AB dan TL) mengandung mineralisasi logam dasar, dengan tembaga (Cu) sebagai unsur ekonomis utama yang teridentifikasi melalui kehadiran *kalkopirit* (CuFeS₂).



No. Lab.	Kode Contoh	Komposisi (%)				
		Mag	Hem	Py	Ccp	NL
2926/25	AB	2,9	1,2	0,1	<0,1	95,8

Ket.: Ccp= Kalkopirit, Hem= Hematit, Mag= Magnetit, Py= Pirit, NL= Mineral non-logam.

Gambar 9. Mineragrafi Sampel AB



No. Lab.	Kode Contoh	Komposisi (%)					
		Mag	Gth	Py	Ccp	Cv	NL
2927/25	TL	0,1	0,3	1,1	0,1	<0,1	98,4

Ket.: Ccp= Kalkopirit, Cv= Kovelit, Gth= Gutit, Mag= Magnetit, Py= Pirit, NL= Mineral non-logam.

Gambar 10. Mineragrafi Sampel TL

Pada pengamatan mineragrafi sampel AB (Gambar 9), *kalkopirit* teridentifikasi dalam jumlah kecil (<0,1%) dengan tiga tipe tekstur yaitu: sebagai butiran tunggal, sebagai inklusi di dalam mineral pirit, dan *co-exist* (berdampingan) dengan mineral pirit. Variasi tekstur dan asosiasi mineral logam terhadap mineral *gangue* sangat berhubungan dengan proses liberasi, khususnya pada proses kominusi (*crushing* dan *grinding*) di suatu pengolahan mineral. Asosiasi kalkopirit dengan pirit ini merupakan indikator klasik lingkungan hidrotermal suhu menengah-tinggi. Kehadiran pyrite pada umumnya sering dicirikan dengan kehadiran Au, Ag, Cu, Zn, Co, Ni, As, Sb, Se, Te dan Hg. Oleh karena itu, komposisi kimia pirit digunakan sebagai pelacak potensial pada proses pembentukan bijih, termasuk informasi tentang mekanisme transportasi dan pengendapan mineral berharga (strategis) dan kritis [13]. Selain itu, ditemukan juga mineral opak lainnya seperti magnetit (2,9%) yang sebagian telah teroksidasi menjadi hematit (1,2%), serta pirit (0,1%). Komposisi ini mengindikasikan bahwa Sampel AB merepresentasikan bagian dari sistem hidrotermal yang teroksidasi yang berhubungan dengan pengendapan logam sulfida pada zona alterasi *sericite – chlorite* [14].

Sementara itu, pada Sampel TL (Gambar 10), kalkopirit (0,1%) hadir dalam paragenesis yang lebih kompleks. Mineral ini berasosiasi dengan pirit (1,1%) dan yang paling penting, mengalami alterasi supergen membentuk *kovelit* (CuS) dalam jumlah jejak (<0,1%). Kehadiran *kovelit*, yang merupakan mineral tembaga sekunder, sangat krusial karena menandakan bahwa batuan ini tidak hanya mengalami proses hidrotermal primer, tetapi juga telah terpapar pada proses pelapukan dan sirkulasi air meteorik (lingkungan supergen). Proses ini menyebabkan pelindian (*leaching*) mineral tembaga primer (kalkopirit) dan kemudian mengendapkannya kembali sebagai mineral tembaga sekunder yang lebih

kaya kandungan Cu-nya, seperti kovelit. Pada zona endapan porfiri Chuquicamata, Chile kadar Tembaga yang mengalami proses pengkayaan (*leach + oxidized zone*) bervariasi dari 0,5 hingga $\geq 1,5$ % Cu [15]. Selain itu, keberadaan gutit (0,3%) yang menggantikan pirit dan kalkopirit semakin memperkuat bukti adanya siklus oksidasi dan pelapukan intensif pada sampel ini [16]. Dari perspektif eksplorasi, Sampel TL menjadi target yang lebih prioritas karena mencatat sejarah geologi yang lengkap, mulai dari mineralisasi hidrotermal primer hingga proses pengayaan supergen.

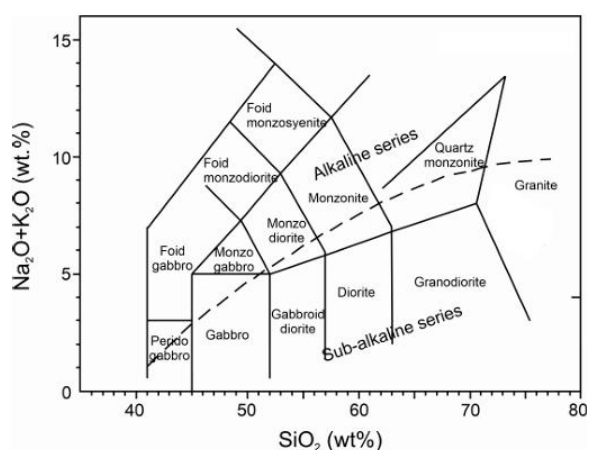
XRF Analysis

Berdasarkan hasil analisis petrografi dan mineragrafi sebelumnya, telah teridentifikasi adanya mineralisasi logam dasar, khususnya tembaga, pada sampel batuan granitoid AB dan TL. Untuk memahami karakter magma asal dan lingkungan tektonik pembentukan batuan tersebut, serta kaitannya dengan potensi mineralisasi, dilakukan analisis geokimia menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Data geokimia utama dari ketiga sampel disajikan pada Tabel 1.

Kandungan alkali (Na₂O) yang tidak terdeteksi (0,00%) pada semua sampel merupakan anomali yang sangat tidak biasa untuk batuan beku, yang kemungkinan besar menunjukkan bahwa batuan ini telah mengalami alterasi yang melindi natrium. Dalam diagram TAS, ketiga sampel akan terplot di area yang sangat tidak umum karena kandungan K₂O yang rendah dan Na₂O yang nihil. Oleh karena itu, penggunaan diagram TAS (Gambar 11) untuk penamaan hanya didasarkan pada kandungan SiO₂. Pada rentang SiO₂ 58% - 68% termasuk dalam kelompok Batuan Diorite untuk JL dan AB, kemudian Granodiorite untuk TL.

Tabel 1. Hasil XRF (Kanan: Oksida, Kiri: Unsur)

Sampel	Unit	AB	JL	TL	Sampel	Unit	AB	JL	TL
SiO ₂	%	64.13	58.36	68.69	Eu	%	0.17	0.27	0.11
TiO ₂	%	1.39	1.19	1.19	Sn	%	-	0.15	0.17
Al ₂ O ₃	%	12.80	13.86	12.47	V	ppm	655.00	767.80	635.30
Fe ₂ O ₃	%	11.02	15.74	8.93	Cr	ppm	255.60	341.80	607.90
MnO	%	0.36	0.71	0.20	Zn	ppm	587.10	1.95	404.20
MgO	%	1.61	-	0.47	Cu	ppm	-	272.40	215.90
CaO	%	5.57	6.38	3.35	Ga	ppm	79.90	74.90	74.30
Na ₂ O	%	0.00	0.00	0.00	Rb	ppm	197.60	272.80	275.60
K ₂ O	%	1.78	2.17	3.36	Y	ppm	76.10	82.20	97.80
P ₂ O ₅	%	1.01	1.02	0.93	Zr	ppm	531.50	434.00	942.60
SrO	%	0.11	0.12	0.10	Pb	ppm	250.60	359.10	263.80
					Re	ppm	19.90	-	-



Gambar 11. Diagram SiO₂ Batuan Beku [19]

Analisis geokimia lebih lanjut dilakukan untuk menentukan tipe granitoid dengan menggunakan parameter A/CNK [molar Al₂O₃ / (CaO + Na₂O + K₂O)] dan A/NK [molar Al₂O₃ / (Na₂O + K₂O)]. Hasil perhitungan (Tabel 2) menunjukkan variasi antara sampel. Sampel AB dan JL bersifat metaluminous (A/CNK<1,1) dan diklasifikasikan sebagai *I-type granite*, yang mengindikasikan origin dari lelehan batuan beku. Sebaliknya, Sampel TL bersifat peraluminous (A/CNK>1,1) dan tergolong sebagai *S-type granite*, yang berasal dari lelehan batuan sedimen. Peraluminous pada TL ini konsisten dengan kandungan K₂O yang relatif lebih tinggi dan dapat menjelaskan kelimpahan kuarsa yang diamati secara petrografi.

Tabel 2. Analisis A/CNK versus A/NK

Sampel	A/CNK	A/NK	Klasifikasi	Tipe Granitoid
AB	1.062	6.646	Metaluminous	I-type
JL	0.994	5.909	Metaluminous	I-type
TL	1.282	3.435	Peraluminous	S-type

Berdasarkan hasil perhitungan indeks A/CNK dan A/NK, sampel AB dan JL diklasifikasikan sebagai granit tipe-I (*I-type*) yang bersifat metaluminous, sementara sampel TL justru menunjukkan karakteristik granit tipe-S (*S-type*) yang bersifat peraluminous. Klasifikasi TL sebagai *S-type* tapi mengandung mineralisasi tembaga tampak seperti suatu anomali, mengingat sistem porfiri Cu umumnya berasosiasi dengan granit tipe-I.

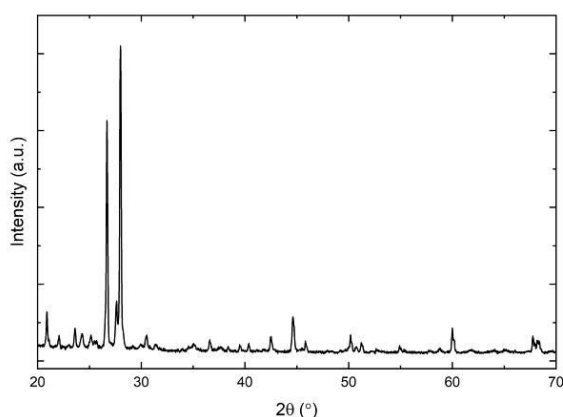
Namun, fenomena ini dapat dijelaskan melalui beberapa skenario geologi yang kompleks. Salah satu penjelasan yang paling memungkinkan adalah terjadinya proses kontaminasi magma [17] dimana tubuh magma *I-type* sebagai pembawa logam tembaga dari sumber mantel/kerak bawah melakukan asimilasi terhadap batuan kerak atas yang kaya aluminium selama naik ke permukaan. Hasilnya adalah pembentukan batuan hibrida yang secara geokimia menunjukkan signature *S-type* akibat dominannya material kerak atas, namun tetap membawa serta fluida dan logam tembaga dari sumber magma *I-type* asalnya.

Skenario alternatif lainnya adalah bahwa mineralisasi tembaga pada TL merupakan hasil dari peristiwa hidrotermal yang menyusul (*overprinting mineralization*) [18], dimana batuan TL yang awalnya merupakan granit *S-type* yang steril kemudian diinjeksi oleh fluida hidrotermal kaya tembaga yang berasal dari tubuh magma *I-type* di sekitarnya (seperti yang membentuk AB atau JL). Dengan demikian, klasifikasi *S-type* pada TL tidak serta merta menunjukkan anomali tapi mengindikasikan dinamika dan kompleksitas proses magmatisme-hidrotermal di wilayah ini, dimana interaksi antara sumber logam (*I-type*) dan batuan sampling (*S-type*) menciptakan lingkungan yang dapat mendukung terjadinya endapan bijih.

XRD Analysis

Berdasarkan hasil analisis difraksi sinar-X (XRD) yang dilakukan pada sampel batuan (Gambar 12), teridentifikasi komposisi mineralogi yang memperkuat interpretasi sebelumnya. Hasil analisis difraksi sinar-X

(XRD) pada Sampel TL, teridentifikasi komposisi mineralogi yang didominasi oleh kuarsa, plagioklas, dan klorit. Hasil ini konsisten dengan observasi petrografi yang melaporkan kehadiran klorit sebagai mineral alterasi sekunder. Kehadiran klorit ini mengonfirmasi bahwa batuan telah mengalami alterasi propilitik, suatu tipe alterasi hidrotermal yang dicirikan oleh pembentukan klorit, epidot, dan kalsit pada suhu menengah.



Gambar 14. Grafik Hasil Analisis XRD

Hasil ini mengindikasikan juga bahwa alterasi hidrotermal yang terjadi bersifat selektif terutama terhadap mineral-mineral mafik (seperti biotit) dan berlangsung dalam kondisi pH yang relatif netral hingga basa. Kondisi ini mendukung interpretasi bahwa sampel TL mungkin berada pada bagian yang lebih dalam atau lebih dekat dengan pusat sistem hidrotermal, dibandingkan dengan zona alterasi argilik advanced (kaolinit) atau filik (serisit-ilit) yang biasanya terbentuk pada kondisi lebih asam. Dengan demikian, meskipun alterasinya tidak seluas jika ditemukan mineral lempung, kehadiran klorit tetap menandakan bahwa Sampel TL telah terpapar oleh fluida hidrotermal yang berinteraksi dengan batuan, yang merupakan indikator penting dalam menilai prospek mineralisasi suatu wilayah.

Potensi Mineral Strategis

Kajian komprehensif dari seluruh data analitik menunjukkan bahwa Formasi Granit Tantan memiliki karakteristik yang kuat sebagai batuan *host* potensial bagi endapan mineral strategis, khususnya tembaga (Cu). Potensi mineralisasi tembaga (Cu) pada Formasi Granit Tantan dibuktikan melalui hasil analisis mineragrafi. Analisis pada sayatan poles mengidentifikasi keterdapatan mineral bijih tembaga, yaitu Kalkopirit (CuFeS_2) dan Covellite (CuS). Kehadiran mineral-mineral sulfida ini, merupakan indikator yang kuat bahwa batuan granitoid di kawasan ini telah terpapar oleh fluida hidrotermal yang membawa dan mengendapkan tembaga. Kalkopirit adalah mineral

sulfida primer yang umum pada endapan Cu porfiri dan urat, sementara Covellite merupakan mineral tembaga sekunder yang terbentuk sebagai hasil oksidasi dan *supergen enrichment* dari mineral sulfida primer (seperti Kalkopirit). Identifikasi kedua mineral ini secara fisik mengkonfirmasi mineralisasi Cu pada Formasi Granit Tantan.

Bukti mineralisasi ini diperkuat dengan adanya jejak alterasi hidrotermal yang teridentifikasi melalui analisis petrografi. Sayatan tipis menunjukkan kehadiran melimpah mineral sekunder Klorit sebagai hasil alterasi dari mineral mafik primer (seperti biotit atau hornblende). Kehadiran Klorit merupakan ciri khas dari proses alterasi propilitik. Secara geologi, zona alterasi propilitik ini terbentuk pada bagian luar atau tepi dari sistem endapan hidrotermal yang berasosiasi dengan tembaga, sehingga penemuan ini mendukung interpretasi bahwa Granit Tantan berada dalam lingkup pengaruh dari suatu sistem mineralisasi Cu.

KESIMPULAN

Penelitian terhadap Formasi Granit Tantan di Geopark Merangin menunjukkan karakter petrologi dan geokimia yang kompleks akibat sejarah magmatisme dan alterasi hidrotermal. Kandungan mineral penyusun berupa Kuarsa 41–51%, Plagioklas 24–43%, dan mineral mafik 8–35% dengan kehadiran klorit menunjukkan alterasi propilitik. Bukti mineragrafi berupa kalkopirit (0,1%), pirit (1,1%), magnetit (2,9%), dan hematit (1,2%) mengindikasikan aktivitas sistem hidrotermal bersuhu menengah hingga tinggi. Data XRF memperkuat temuan tersebut dengan kandungan SiO_2 58,36–68,69%, Fe_2O_3 8,93–15,74%, dan kadar Cu mencapai 272,40 ppm.

Rasio A/CNK (0,99–1,28), dua sampel (AB dan JL) termasuk dalam granit tipe-I (metaluminous), sedangkan satu sampel (TL) tergolong granit tipe-S (peraluminous). Dominasi tipe-I secara geokimia memiliki asosiasi kuat dengan sistem mineralisasi Cu, sementara keberadaan mineralisasi Cu pada satu sampel tipe-S menunjukkan anomali akibat kontaminasi magma atau aktivitas hidrotermal pascaintrusi. Secara keseluruhan, kombinasi antara granit tipe-I sebagai *host rock*, kehadiran kalkopirit sebagai bukti langsung Cu, proses pengkayaan supergen pada covellit, serta alterasi klorit sebagai penanda sistem hidrotermal menegaskan adanya potensi mineralisasi tembaga strategis. Temuan ini tidak hanya penting untuk memahami evolusi magmatisme regional, tetapi juga mengukuhkan Formasi Granit Tantan sebagai warisan geologi bernilai strategis sekaligus prospek sumber daya mineral di kawasan Geopark Merangin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Jambi yang telah memberi dukungan dalam

bentuk finansial melalui pendanaan Skema PNBP. Selain itu juga menyediakan dukungan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Londoño, J. A. B., Sepúlveda, G. F., & Olivares, E. D. la B. (2024). Strategic Minerals for Climate Change and the Energy Transition: The Mining Contribution of Colombia. *Sustainability*, 16(1), 83.
- [2] Zelandi, M., Sasmita, D., Afifah, P. D., & Hastuti, E. W. D. (2017). Geology and Geotrek Mengkarang: Potential of Mengkarang River as Featured Geotourism in Beding Rejo Village, Merangin Regency Jambi. *Proceeding 10th Seminar Nasional Kebumihan*, 10, 1916–1924.
- [3] Gupta, S., & Kumar, S. (2023). Geochemistry, geochronology, and isotopic studies of Paleoproterozoic magmatic rocks from outer Kumaun Lesser Himalaya, India: Implication on petrogenesis and crustal evolution of northern Indian Block. *Gondwana Research*, 113, 31–52.
- [4] Regelous, A., Scharfenberg, L., & De Wall, H. (2021). Origin of s-, a-and i-type granites: Petrogenetic evidence from whole rock th/u ratio variations. *Minerals*, 11(7), 672.
- [5] Gardiner, N. J., Robb, L. J., Morley, C. K., Searle, M. P., Cawood, P. A., Whitehouse, M. J., Kirkland, C. L., & Roberts, N. M. W. (2017). Contrasting Granite Metallogeny through the Zircon Record: A Case Study from Myanmar. *Scientific Reports*, 7(1), 748.
- [6] Ariani, R. P., & Utama, H. W. (2022). Petrogenesis and Geological Structure of Tantan Granitoid in Sungai Manau District, Merangin Regency, Jambi Province. *EKSPLORIUM*, 43(2), 79.
- [7] Said, Y. M., Adhitya, B., Siregar, A. D., Utama, H. W., Ritonga, M., & Kurniаторo, E. (2019). Busur Magmatik Granit Tantan-Nagan. *Jurnal Geoscience and Engineering*, 4(2), 79–85.
- [8] Dominy, S. C., Glass, H. J., O'Connor, L., Lam, C. K., Purevgerel, S., & Minnitt, R. C. A. (2018). Integrating the theory of sampling into underground mine grade control strategies. *Minerals*, 8(6), 232.
- [9] Wang, J., Wei, C., Wang, Y., & Zhang, J. (2022). Mineral Chemistry of Biotite and Its Petrogenesis Implications in ca. 2.5 Ga Wangjiazhuang Granitic Pluton, North China Craton. *Journal of Earth Science*, 33(6), 1535–1548.
- [10] Fulignati, P., Paolini, D., Vaggelli, G., Tassara, S., Tapia, J., & Sonne, P. (2023). The propylitic alteration in the Ponce Enriquez Gold Mining district, Azuay province, Ecuador: genetic constraints from a mineral chemistry and fluid inclusions study. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1255712.
- [11] Pacey, A., Wilkinson, J. J., & Cooke, D. R. (2020). Chlorite and epidote mineral chemistry in porphyry ore systems: A case study of the northparkes district, New South Wales, Australia. *Economic Geology*, 115(4), 701–727.
- [12] Xiao, B., Chen, H., Hollings, P., Wang, Y., Yang, J., & Wang, F. (2018). Element transport and enrichment during propylitic alteration in Paleozoic porphyry Cu mineralization systems: Insights from chlorite chemistry. *Ore Geology Reviews*, 102, 437–448.
- [13] Naglik, B., Dumańska - Słowik, M., Toboła, T., Derkowski, P., Habryn, R., & Markowiak, M. (2021). Diversity of pyrite - hosted solid inclusions and their metallogenic implications—a case study from the myszków mo–cu–w porphyry deposit (The kraków–lubliniec fault zone, poland). *Minerals*, 11(12), 1426.
- [14] Milani, L., Kinnaird, J. A., Broughton, D., Selley, D., Roberts, S., & Hutchinson, D. (2019). Geology and mineralization of the Cu-rich Mumbwa district, a potential IOCG-type system at the eastern margin of the Pan-African Hook batholith, Zambia. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103513.
- [15] Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105, 3–41.
- [16] Chávez, W. X. (2021). Weathering of Copper Deposits and Copper Mobility: Mineralogy, Geochemical Stratigraphy, and Exploration Implications. *SEG Discovery*, (126), 16–27.
- [17] Ambrosio, M. R., Azzone, R. G., Tepley, F. J., Ramos, F. C., & Takach, M. K. (2025). Fingerprints of Assimilation and Recharge Processes in a Small Shallow Magma Chamber: Detailed Mineral Elemental and Sr Isotopic Signatures from the Ponte Nova Alkaline Massif, SE Brazil. *Journal of Petrology*, 66(4), egaf022.
- [18] Breiter, K., Broska, I., & Uher, P. (2015). Intensive low-temperature tectono-hydrothermal overprint of peraluminous rare-metal granite: A case study from the Dlhá dolina valley (Gemicum, Slovakia). *Geologica Carpathica*, 66(1), 19–36.
- [19] Gill, R. & Fitton, G. (2022). Igneous rocks and processes: a practical guide. John Wiley & Sons.