

DISERTASI

GENESIS DAN TIPE ENDAPAN MINERAL POLIMETALIK DI DAERAH BERUANG KANAN DAN SEKITARNYA, KABUPATEN GUNUNG MAS, PROVINSI KALIMANTAN TENGAH, INDONESIA



Karya tulis sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Doktor
Teknik Geologi dari Universitas Pembangunan Nasional
“Veteran” Yogyakarta

Oleh :
RETNO ANJARWATI
NIM : 311190003

PROGRAM DOKTOR TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL DAN ENERGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2025

DISERTASI

GENESIS DAN TIPE ENDAPAN MINERAL POLIMETALIK DI DAERAH BERUANG KANAN DAN SEKITARNYA, KABUPATEN GUNUNG MAS, PROVINSI KALIMANTAN TENGAH, INDONESIA



Oleh

**Retno Anjarwati
NIM: 311190003**

Tim Pembimbing

**Dr. Ir. Sutarto, M.T. (Promotor)
Dr. Ir. Dwi Fitri Yudiantoro, M.T. (Co-Promotor)
(Dr. rer.nat. Arifudin Idrus, S.T., M.T. (Co-Promotor)**

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK GEOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2025**

ABSTRAK

Disertasi ini berjudul Genesis dan Tipe Endapan Mineral Polimetalik di Daerah Beruang Kanan dan sekitarnya, Kabupaten Gunung Mas, Provinsi Kalimantan Tengah, Indonesia. Lokasi penelitian berada sekitar 190 km di sebelah utara Kota Palangkaraya, termasuk dalam Peta Rupa Bumi Indonesia–Lembar Tumbang Miri terbitan Bakosurtanal. Secara fisiografi, daerah ini merupakan morfologi pegunungan yang terletak di bagian hulu Sungai Kahayan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mengkarakterisasi alterasi hidrotermal serta geokimia batuan di daerah prospek Beruang Kanan, mengidentifikasi perubahan komposisi kimia dan mobilisasi unsur jejak serta REE, menentukan klasifikasi petrogenetik dan afinitas magma di zona mineralisasi, serta menganalisis komposisi mineral, karakteristik endapan bijih, dan lingkungan pengendapannya. Selain itu, penelitian ini menyusun model genetik sistem endapan hidrotermal Beruang Kanan.

Metode yang digunakan meliputi pemetaan geologi permukaan, analisis data pengeboran bawah permukaan, serta sejumlah analisis laboratorium. Objek penelitian berupa batuan dan urat yang mengalami alterasi serta mineralisasi hidrotermal. Analisis dilakukan melalui studi mineralogi, petrografi, geokimia, dan kimia mineral dengan menggunakan mikroskop, XRD, XRF, SEM-EDX, ICP-MS, FA-AAS, serta studi inklusi fluida.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa stratigrafi daerah penelitian (tertua–termuda) terdiri atas satuan batupasir tufan Haloq, satuan tuf dasitik Malasan, dan satuan andesit Sintang Zona alterasi hidrotermal terbagi menjadi tiga, yaitu alterasi serisitik (serisit+kuarsa+smektit+pirit), alterasi argilik (illit+smektit ±hyalosite), dan alterasi propilitik (klorit+illit+smektit±epidot). Mineral bijih yang ditemukan antara lain kalkopirit, bornit, elektrum, spalerit, galena, tenantit, pirit, serta mineral oksida dan karbonat sekunder. Tekstur urat yang dominan adalah drussy, masif, dan urat breksia. Struktur sesar berperan penting dalam pengendalian zona alterasi dan mineralisasi.

Variasi alterasi hidrotermal serta hubungan dengan intrusi andesit menunjukkan bahwa endapan di Beruang Kanan berbeda dari sistem epitermal sulfidasi rendah maupun tinggi. Fluida hidrotermal yang memiliki temperature sedang yakni 100 – 380 °C dengan salinitas sedang yang diperkirakan sekitar 1,8% - 3,5% equivalen wt.% NaCl. Sumber fluida endapan berasal dari air meteorik karena

mempunyai salinitas yang menengah. Proses boiling dan mixing sebagai mekanisme utama presipitasi logam. Data geokimia mendukung interpretasi bahwa endapan ini tergolong epitermal sulfidasi menengah, ditandai oleh keberadaan logam dasar (Cu, Pb, Zn).

Kata kunci: alterasi, hidrotermal, epitermal, mineralisasi, geokimia

ABSTRACT

This dissertation is entitled "Genesis and Types of Polymetallic Mineral Deposits in the Beruang Kanan Area and surroundings, Gunung Mas Regency, Central Kalimantan Province, Indonesia." The study site is approximately 190 km north of Palangkaraya City, included in the Indonesian Topographic Map—Tumbang Miri Sheet published by Bakosurtanal (National Agency for the Assessment and Application of Geophysical Resources). Physiographically, this area is mountainous and located in the upstream part of the Kahayan River.

This research aims to examine and characterize hydrothermal alteration and rock geochemistry in the Beruang Kanan prospect area, identify changes in chemical composition and mobilization of trace elements and REE, determine the petrogenetic classification and magma affinity in the mineralized zone, and analyze the mineral composition, ore deposit characteristics, and depositional environment. Furthermore, this study develops a genetic model of the Beruang Kanan hydrothermal deposit system.

The methods used include surface geological mapping, analysis of subsurface drilling data, and various laboratory analyses. The research objects are rocks and veins undergoing hydrothermal alteration and mineralization. The analysis was conducted through mineralogy, petrographic, geochemical, and mineral chemistry studies using microscopes, XRD, XRF, SEM-EDX, ICP-MS, FA-AAS, and fluid inclusion studies.

The results indicate that the stratigraphy of the research area (oldest–youngest) consists of the Haloq Tuff Sandstone Unit, the Malasan Dacitic Tuff Unit, and the Sintang Andesite Unit. The hydrothermal alteration zone is divided into three: sericitic alteration (sericite+quartz+smectite+pyrite), argillic alteration (illite+smectite ±hyalosite), and propylitic alteration (chlorite+illite+smectite ±epidote). Ore minerals found include chalcopyrite, bornite, electrum, sphalerite, galena, tenantite, pyrite, and secondary oxide and carbonate minerals. The dominant vein textures are drussy, massive, and breccia veins. Fault structures play a significant role in controlling alteration zones and mineralization.

The variation in hydrothermal alteration and its relationship to andesite intrusions indicate that the deposits in the Beruang Kanan differs from both low- and high-sulfidation epithermal systems. The hydrothermal fluids have moderate temperatures, ranging from 100 to 380°C, with moderate salinity estimated at around 1.8% to 3.5%

equivalent wt.% NaCl. The source of the deposited fluids is magmatic water, as it has moderate salinity. Geochemical data support the interpretation that this deposit is a moderate-sulfidation epithermal deposit, characterized by the presence of base metals (Cu, Pb, Zn).

Keywords: alteration, hydrothermal, epithermal, mineralization, geochemistry.

I. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Endapan polimetalik di daerah Beruang Kanan, Kalimantan Tengah, merupakan prospek mineralisasi logam dengan potensi ekonomis tinggi. Namun, pemahaman mengenai alterasi hidrotermal, mineralisasi, geokimia, petrologi, dan karakter fluida hidrotermal masih terbatas. Kondisi ini membuat interpretasi genesis dan tipe endapan hidrotermal di wilayah tersebut belum sepenuhnya jelas.

Fenomena alterasi serisitik, argilik, dan propilitik yang berasosiasi dengan mineralisasi Cu, Pb, Zn, Au, dan Ag telah teridentifikasi, namun kajian rinci terkait paragenesis mineralisasi, tekstur bijih, serta mekanisme presipitasi logam belum pernah dilakukan secara komprehensif. Kajian inklusi fluida menjadi kunci untuk memahami kondisi fisikokimia fluida hidrotermal, termasuk temperatur, salinitas, dan mekanisme evolusinya.

Penelitian ini berupaya mengintegrasikan studi petrologi, mineralogi, geokimia, serta inklusi fluida untuk menyusun model genetika endapan polimetalik epitermal di Beruang Kanan, sekaligus memperkuat dasar eksplorasi lanjutan dan evaluasi potensi ekonominya. Secara fisiografi, Beruang Kanan merupakan bagian penting dari Sabuk Metalogenik Kalimantan Tengah (Central Borneo Metallogenic Belt).

I.2 Lokasi dan Aksesibilitas

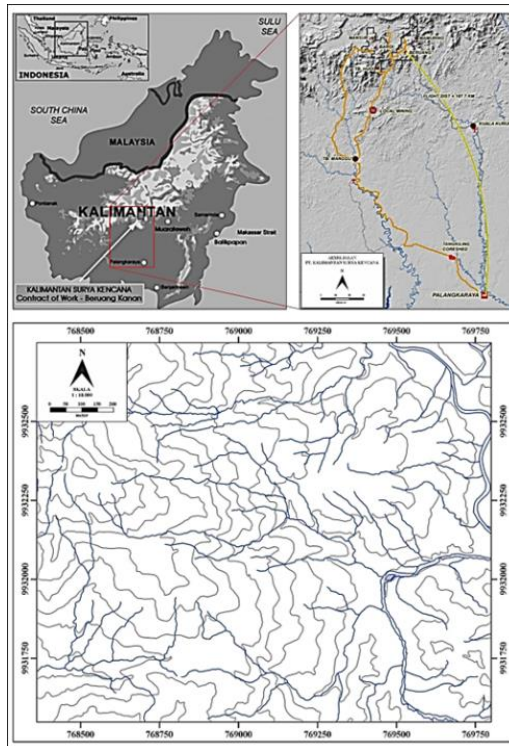
Prospek Beruang Kanan terletak ± 190 km utara Palangkaraya, masuk dalam lembar Peta Rupa Bumi Tumbang Miri. Lokasi ini berada di morfologi pegunungan hulu Sungai Kahayan, dengan koordinat 768.300–768.500 mT dan 9.931.500–9.932.850 mU. Akses utama ditempuh ± 9 jam perjalanan darat melalui jalur logging perusahaan kehutanan.

I.3 Rumusan Masalah

Penelitian ini menjawab pertanyaan utama berikut:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi alterasi dan geokimia di Beruang Kanan?
2. Bagaimana mineralisasi bijih dan paragenesis endapan polimetalik terbentuk?
3. Bagaimana kondisi lingkungan pembentukan endapan tersebut?

4. Bagaimana model genetik tipe endapan hidrotermal Beruang Kanan?



Gambar 1.1 Peta topografi serta akses lokasi penelitian yang termasuk kedalam PT. Kalimantan Surya Kencana

I.4 Tujuan Penelitian

1. Mengkarakterisasi alterasi hidrotermal serta geokimia batuan.
2. Menganalisis perubahan kimia, mobilisasi unsur jejak dan REE, serta afinitas magma.
3. Menginterpretasikan kondisi pengendapan berdasarkan data geokimia & inklusi fluida.
4. Menyusun model genetik sistem hidrotermal polimetalik Beruang Kanan.

I.5 Manfaat Penelitian

- Memberikan data ilmiah komprehensif tentang potensi endapan logam dasar.

- Menjadi acuan eksplorasi mineral logam di Kalimantan Tengah.
- Menambah wawasan akademik mengenai genesis endapan polimetalik di jalur magmatik Oligosen–Miosen Indonesia.
- Mengembangkan model eksplorasi berbasis sistem hidrotermal.

I.6 Ruang Lingkup

- Wilayah penelitian: Prospek Beruang Kanan, Kalimantan Tengah.
- Fokus kajian: geologi, petrografi, mineralogi, geokimia, inklusi fluida.
- Data: pemetaan geologi, sampel batuan & bijih, serta hasil pengeboran terbatas.

I.7 Sejarah Eksplorasi

Eksplorasi Beruang Kanan dimulai sejak 1981 oleh PT. PCM, dilanjutkan oleh PT. Kalimantan Surya Kencana (KSK) melalui Kontrak Karya (1997). Berbagai perusahaan tambang internasional seperti Molopo Energy dan Cyprus Amax turut terlibat, dengan fokus utama pada mineralisasi porfiri tembaga dan emas. Hingga kini, penelitian detil mengenai mineralogi, geokimia, dan model endapan polimetalik masih terbatas.

I.8 Hasil Penelitian Terdahulu

- Geiger et al. (2002): Alterasi propilitik–filik, indikasi sistem porfiri.
- Hackman (2014): Ubahan hidrotermal pada batupasir Oligosen–Miosen, kontrol struktur dominan.
- Allen (2013): Host rock berupa vulkanik Kapur, mineralisasi Cu-Pb-Zn VHMS.
- Dana et al. (2023): Beruang Kanan terkait magmatisme subduksi kalk-alkali, dengan mineralisasi VHMS, porfiri, dan epitermal.

I.9 Hipotesis Penelitian

1. Alterasi didominasi serisitik, argilik, dan propilitik.
2. Fluida hidrotermal memiliki temperatur 100–400 °C dengan salinitas 1,8–3,5 wt.% NaCl eq.
3. Mineralisasi sulfida logam dasar dikontrol struktur geologi.

4. Data geokimia & inklusi fluida merekam kondisi mineralisasi tanpa perubahan sekunder signifikan.

I.10 Kebaruan (Novelty)

- Kajian integratif mineralogi, petrologi, geokimia, dan inklusi fluida pertama kali dilakukan di Beruang Kanan.
- Menyediakan data mikrotermometri fluida hidrotermal untuk memahami kondisi fisiko-kimia mineralisasi.
- Menyusun model genetik endapan polimetalik yang selama ini belum lengkap dalam literatur.

I.11 Keaslian Penelitian

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang terbatas pada survei geologi & geokimia umum, penelitian ini menekankan analisis rinci mineralogi, paragenesis, inklusi fluida, serta model genetik endapan polimetalik untuk menjawab mekanisme pembentukan mineralisasi di Beruang Kanan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui pemetaan geologi permukaan, pengamatan inti pemboran, serta analisis laboratorium dengan objek batuan/urat terkait alterasi dan mineralisasi hidrotermal di endapan polimetalik Beruang Kanan. Metodologi dibagi menjadi 4 tahap:

II.1 Tahap Pendahuluan

Melakukan kajian pustaka berupa hasil penelitian sebelumnya, penelaahan peta geologi regional, laporan-laporan eksplorasi, dll.

II.2 Tahap Pengambilan Data

Dilakukan melalui pemetaan geologi permukaan dan pengamatan inti pemboran.

1. **Pengamatan kondisi geologi** → geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi, alterasi, dan mineralisasi.
2. **Pengamatan alterasi & mineralisasi** → pemetaan zona alterasi, urat, kekar, dan pengambilan sampel.
3. **Pengambilan sampel permukaan** →
 - Batuan segar (host rock), batuan teralterasi, urat kuarsa/kalsit.

4. Pengambilan sampel inti pemboran

II.3 Tahap Analisis Data

1. **Analisis Studio** → mencakup litologi, struktur, alterasi, mineralisasi, dan pemodelan (peta geologi, peta alterasi & mineralisasi).
2. **Analisis Laboratorium** meliputi:
 - **Mineralogi:**
 - *Petrografi* → sayatan tipis 98 conto.
 - *Mineragrafi* → sayatan poles 50 conto.
 - *XRD* → 18 sampel untuk identifikasi mineral lempung & alterasi.
 - **Geokimia:**
 - *XRF* → analisis unsur mayor & minor (20 sampel, ALS Canada).
 - *ICP-MS* → analisis unsur tanah jarang (20 sampel, ALS Canada).
 - *FA-AAS* → analisis Au (Intertek, Jakarta).
 - **Kimia Mineral:**
 - *SEM-EDX* → 24 sampel untuk karakterisasi mineral bijih (Batam & LPPT UGM).
 - **Inklusi Fluida:**
 - 18 sampel urat kuarsa → analisis mikrotermometri untuk kondisi fisik-kimia fluida hidrotermal (Unit Geomin PT Antam, Jakarta).

II.4 Tahap Sintesis Data

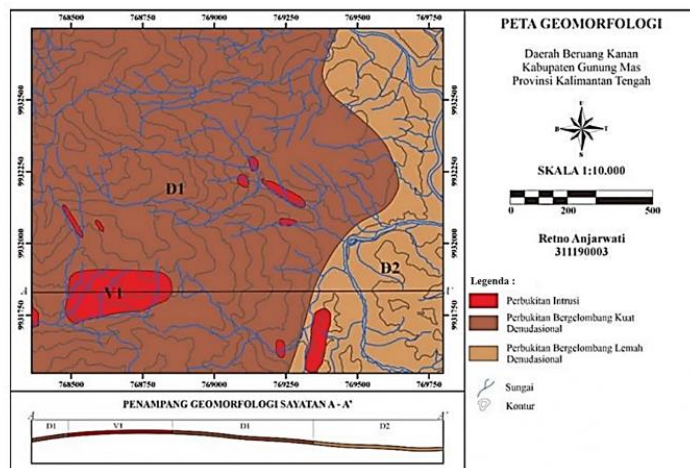
- Seluruh hasil analisis (petrografi, mineralogi, geokimia, dan alterasi) diintegrasikan dengan data geologi regional dan lokal.
- Bertujuan menghasilkan interpretasi komprehensif tentang karakteristik geologi, mineralogi, dan geokimia sistem epitermal di Beruang Kanan.
- Variabel yang ditelaah:
 - **Geologi:** jenis batuan, struktur, umur, intrusi.
 - **Mineralogi:** mineral bijih (kalkopirit, pirit, enargit), mineral gangue, tekstur alterasi & urat.
 - **Geokimia:** unsur Cu, Pb, Zn, Ag, Au, As, Sb.
 - **Fluida hidrotermal:** temperatur, pH, salinitas, arah migrasi fluida.

III. HASIL PENELITIAN

III.1 Geologi Prospek Beruang Kanan

III.1.1 Geomorfologi

- Lokasi penelitian berada di Beruang Kanan, Kec. Tumbang Miri, Kab. Gunung Mas, Kalimantan Tengah.
- Dibagi menjadi 3 satuan geomorfologi:
 1. **Perbukitan intrusi** → lereng curam, litologi andesit, proses erosi & pelapukan.
 2. **Perbukitan bergelombang kuat denudasional** → lereng curam, litologi tuf dasitik, pola aliran subdendritik.
 3. **Perbukitan bergelombang lemah denudasional** → lereng agak curam–landai, litologi batupasir tufan, erosi & pelapukan.
- Stadia geomorfologi: **stadia dewasa** dengan sungai bermeander, lembah V–U, erosi vertikal lebih dominan dibanding lateral.

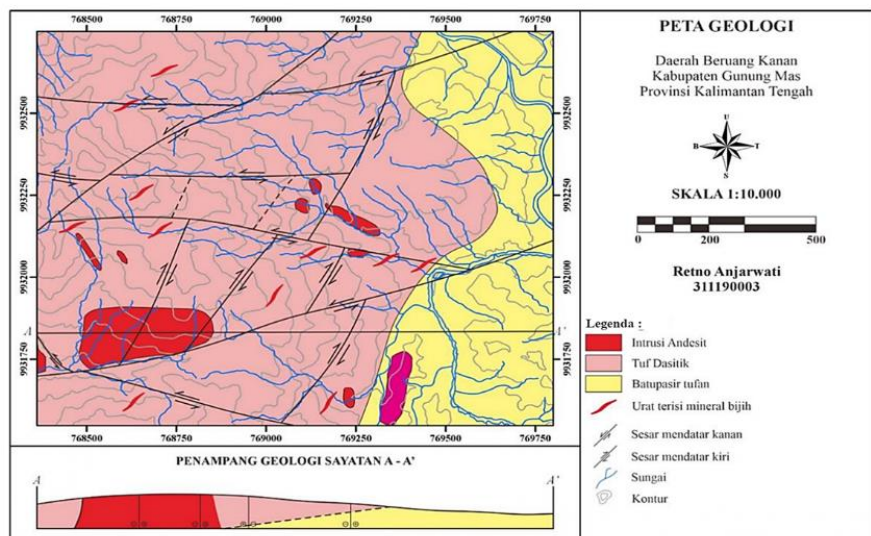


Gambar 3.1 Peta Geomorfologi Daerah Beruang Kanan

III.1.2 Stratigrafi

1. **Satuan Batupasir Tufan Haloq (Eosen)**
 - Didominasi batupasir tufan, sisipan batulempung.
 - Umur: Eosen.
 - Lingkungan: laut dangkal–delta, tektonik syn-rift.
 - Hubungan stratigrafi: selaras dengan satuan di atas (Tuf Malasan).

2. **Satuan Tuf Dasitik Malasan (Oligosen)**
 - Didominasi tuf dasitik dan breksi gunungapi.
 - Umur: Oligosen.
 - Lingkungan: gunungapi darat–laut dangkal.
 - Hubungan stratigrafi: dipotong intrusi Andesit Sintang (lebih muda).
3. **Satuan Andesit Sintang (Oligosen Awal – Miosen Tengah)**
 - Intrusi berupa andesit hornblenda–piroxen, setempat mikrogabro/diabas.
 - Umur: Oligosen Awal–Miosen Tengah (K-Ar dating).
 - Lingkungan: subvolcanic intrusion.
 - Hubungan stratigrafi: menerobos Batupasir Haloq dan Tuf Malasan.



Gambar 3.2 Peta Geologi Daerah Beruang Kanan dan Sekitarnya

III.1.3 Struktur Geologi

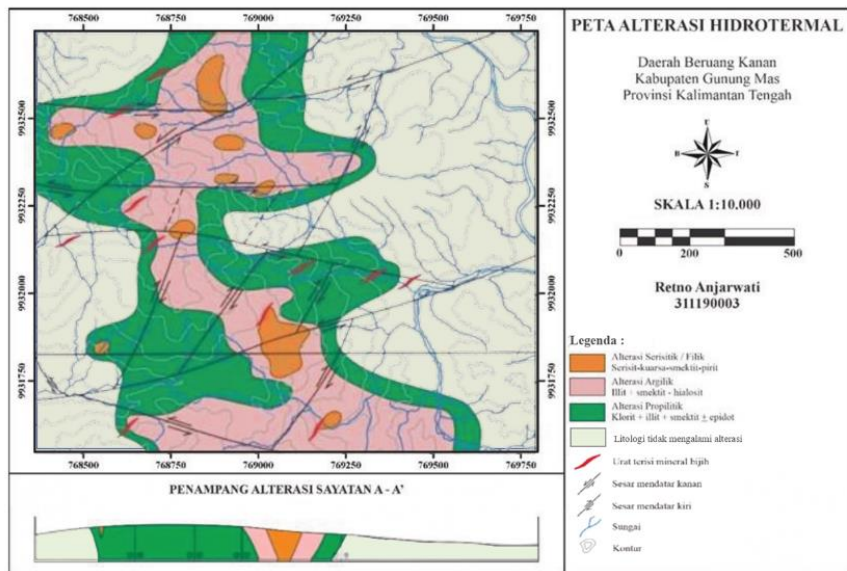
- **Kekar:** dominan berarah timurlaut–baratdaya dan barat–timur, mencerminkan tegasan utama di daerah penelitian.

- **Sesar:**
 - Sesar mendatar kiri (N071°E–N251°E).
 - Sesar mendatar kanan (N028°E–N208°E).
 - Kedua sesar membentuk pola *conjugate fault*.
 - Perkembangan sesar mendatar kiri membentuk P-Shear (synthetic fault) berarah barat–timur.
 - Sesar turun dengan orientasi timurlaut–baratdaya membentuk zona bukaan (dilatational jog) yang sering terisi mineral bijih.

III.2 Alterasi dan Mineral Bijih

III.2.1 Alterasi Hidrotermal Beruang Kanan

1. **Zona Serisitik (Serisit + Kuarsa + Smektit + Pirit / QSP)**
 - Luas sebaran $\pm 12\%$.
 - Mineral utama: serisit, kuarsa, pirit, smektit, serta limonit-hematit (produk supergen).
 - Suhu pembentukan: $>200\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$, fluida netral–asam.
 - Ciri: ubahan sedang–kuat, selective pervasive, warna abu-abu keputihan, keras, sering dijumpai urat kuarsa sulfida (pirit, kalkopirit, galena, spalerit).
2. **Zona Argilik (Illit + Smektit + Kuarsa $\pm$ Halloysite)**
 - Luas sebaran $\pm 18\%$.
 - Mineral utama: illit, smektit, kuarsa, hyalosite, sedikit serisit.
 - Suhu pembentukan: $150\text{--}210\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - Ciri: ubahan sedang–kuat, pervasive, batuan rapuh–mudah hancur, warna abu-abu keputihan.
 - Mengandung urat kuarsa dengan sulfida (pirit, galena, spalerit, kovelit, enargit).
3. **Zona Propilitik (Klorit + Illit + Smektit $\pm$ Epidot)**
 - Luas sebaran $\pm 42\%$ (zona terluas).
 - Mineral utama: klorit, epidot, kalsit, kuarsa, serisit.
 - Suhu pembentukan: $280\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (inner) – $150\text{--}210\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - Ciri: ubahan lemah–kuat, pervasive, warna kehijauan. Ditemui urat kuarsa dengan mineral bijih (pirit, kalkopirit, bornit, kovelit, spalerit, galena).



Gambar 3.3 Peta alterasi hidrotermal daerah Beruang Kanan dan Sekitarnya

III.2.2 Mineralisasi Beruang Kanan

Mineralisasi hadir terutama pada urat kuarsa (dibanding batuan sampling). Identifikasi dilakukan secara megaskopis, mikroskopis (sayatan tipis & poles), XRD, serta SEM-EDS.

Jenis Urat

- Urat Kuarsa-Sulfida Masif – urat kecil (1–3 cm), arah dominan NNE–SSW hingga WNW–ESE.
- Urat Breksia (Hydrothermal Breccia) – fragmen andesit tersilikasifikasi, matriks silika, alterasi serisit.
- Urat Drussy – retakan intensif dengan pengisian kuarsa-limonit, struktur jigsaw fit.

Mineralogi Bijih

Mineral bijih utama yang ditemukan:

- Sulfida: Pirit, kalkopirit, galena, spalerit, kovelit, bornit, digenit, enargit, kalkosit, tetrahedrit, luzonit, tenatit.
- Oksida & supergen: Hematit, goetit, cuprit, azurit.
- Logam mulia: Elektum (AuAg), native Au, stromeyerit (AgCuS), realgar (As₄S₄).

Ciri fisik & kimiawi mineral dikonfirmasi lewat SEM-EDS (komposisi unsur).

Tekstur Bijih

- Primer (euhedral, tahap awal mineralisasi).
- Diseminasi (butiran tersebar).
- Penggantian (replacement) – misalnya kalkopirit → kovelit.
- Tumbuh bersama (intergrowth).
- Eksolusi/dekomposisi – misalnya kovelit dalam digenit.
- Inklusi – misalnya elektum dalam pirit.

Paragenesa Bijih

- Proses mineralisasi dibagi empat tahap: hipogen awal, tengah, akhir, dan supergen.
- Tahap awal: galena → spalerit; spalerit → pirit.
- Tahap tengah: kalkopirit terbentuk lebih awal dibanding kovelit.
- Tahap akhir: intergrowth antara pirit, spalerit, galena, kalkopirit.
- Tahap supergen: pembentukan kovelit, kalkosit, azurit, limonit, hematit, goetit.

III.3.1 Geokimia Batuan Segar/Sedikit Teralterasi dan Batuan Teralterasi

- Analisis geokimia di daerah Beruang Kanan dilakukan dengan XRF (unsur oksida utama) dan ICP-MS (unsur jejak & tanah jarang/REE).
- Hasil LOI:
 - Batuan berubah lemah: 1,75–2,3%
 - Batuan berubah kuat: 3,72–7,1%
- Lima sampel utama: RA36, RA27, RA10, RA21, RA23, mewakili batuan segar hingga berubah (alterasi propilitik, serisitik, argilik).

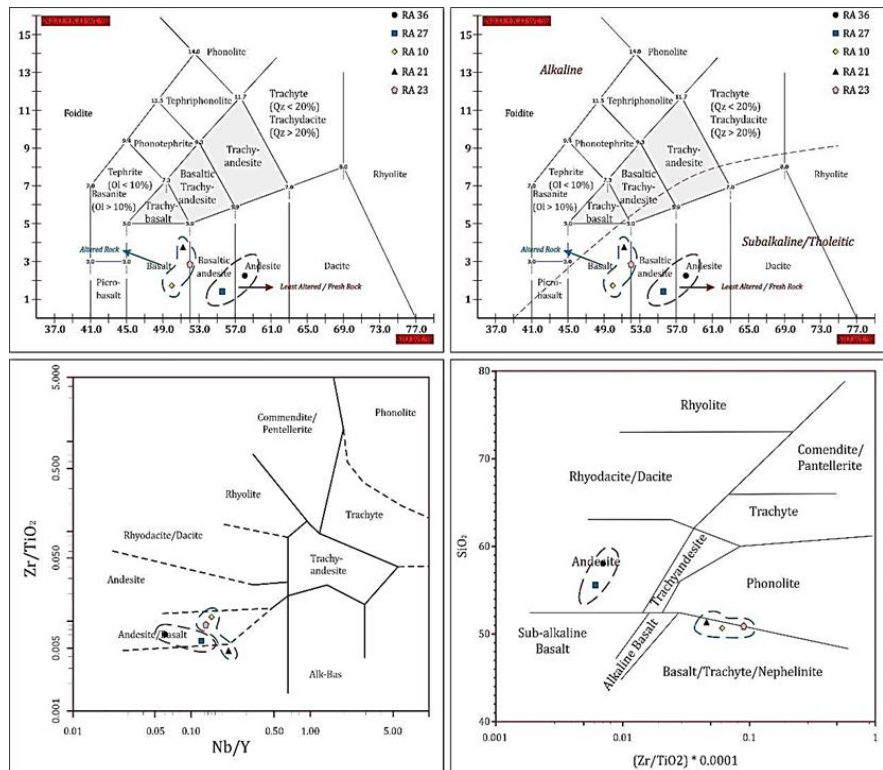
III.3.1.1 Jenis Batuan

- Diagram TAS (Le Bas, 1986):
 - Batuan segar → andesit basaltik – andesit
 - Batuan berubah → basalt – andesit basaltik
- Diagram Nb/Y vs Zr/TiO₂ (Winchester & Floyd, 1977):
 - Segar → **andesit/basalt**
 - Terubah → **andesit basalt – basalt**
- Terlihat **penurunan SiO₂** pada batuan teralterasi.

III.3.1.2 Afinitas Magma

- Parameter: SiO₂–K₂O, Co–Th, Zr/Y–Th/Yb.

- Hasil:
 - Afinitas magma calc-alkaline, terkait arc magmatism pada zona subduksi.
 - Batuan segar → calc-alkaline-tholeiitic.
 - Batuan terubah → tholeiitic-shoshonitic (karena kenaikan K₂O).
- Konsisten menunjukkan seri kalk-alkali.



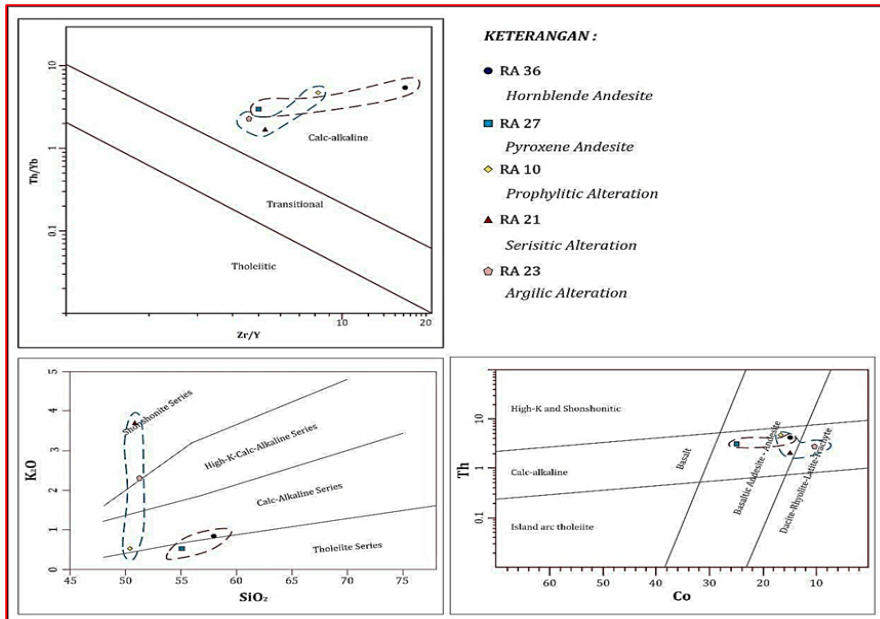
Gambar 3.4 (atas) Diagram total alkali silika (TAS) sampel Beruang Kanan yang menunjukkan batuan dengan jenis andesit basaltik hingga andesit serta afinitas magma *subalkaline/tholeiitic* (Le Bas, et al., 1986). (bawah) Sampel Beruang Kanan berdasarkan perbandingan Zr/TiO₂ dan Nb/y serta SiO₂ dan Zr/TiO₂ (Winchester & Floyd, 1977).

III.3.1.3 Tataan Tektonik

- Analisis berdasarkan Zr vs Ti, $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ vs $\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3$, La/Yb vs Tb/Nb.
- Sampel segar maupun terubah → subalkaline basalt – andesite dengan afinitas calc-alkaline.
- Lingkungan tektonik → continental arc (zona subduksi benua).
- Magma terbentuk dari peleburan mantel litosfer yang terubah fluida dari slab samudera menunjam.

Tabel 3.1 Karakteristik seri magma berasosiasi dengan tatanan tektonik khusus (Wilson, 1989)

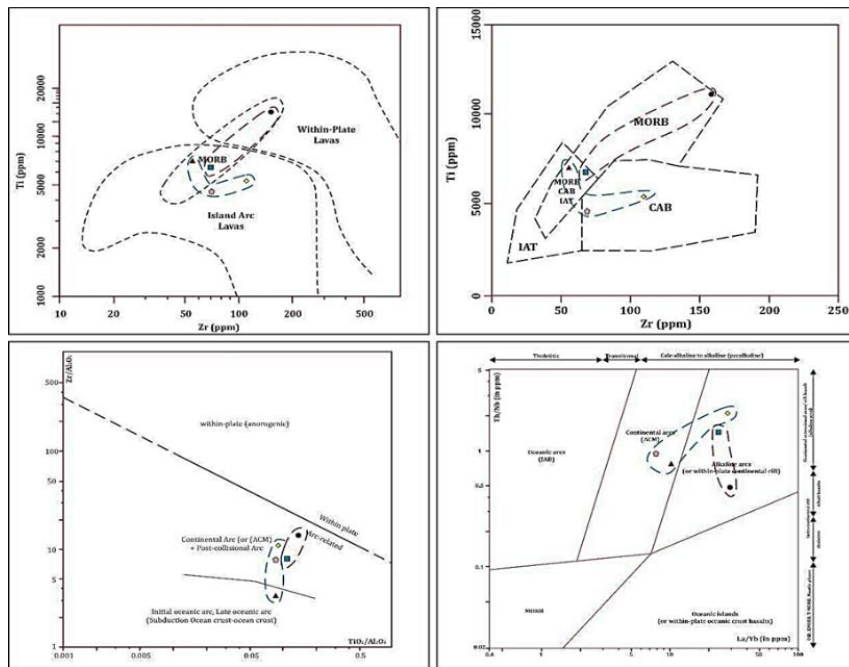
Seri Magma	Karakteristik Utama	Lingkungan Tektonik
Tholeiitic Series	- Silika relatif tinggi - Fe/Mg tinggi - Unsur inkompatibel relatif rendah	- Mid Ocean Ridge Basalt (MORB) - Back-arc basin basalt (BABB)
Calc-Alkaline Series	- Kadar Al tinggi - Relatif kaya LILE (K, Rb, Sr, Ba) - Kandungan HFSE rendah	- Busur magmatik subduksi (Island arc, Continental arc)
High-K Calc-Alkaline	- K_2O lebih tinggi dibanding seri kalk-alkali normal - Enrichment pada LILE & LREE	- Continental arc (zona subduksi benua)
Alkaline Series	- K_2O dan Na_2O tinggi - Banyak mineral feldspathoid - Kaya LREE dan HFSE	- Intraplate setting (within plate, rift, hotspot, continental rift)
Shoshonitic Series	- Sangat kaya K_2O - LILE sangat tinggi - REE enriched - Baik di busur matur	- Arc mature (late subduction stage) - Post-collisional setting



Gambar 3.5 Afinitas magma sampel Beruang Kanan : (atas) Perbandingan Zr/Y dan Tb/Yb (Ross & Bedard, 2009) termasuk kedalam jenis kalk alkali. (bawah) SiO₂ dan K₂O (Pecerillo dan Taylor, 1976) menunjukkan kenaikan K₂O pada sampel batuan teralterasi, Co dan Th (Hastie, et al, 2007) menunjukkan afinitias dengan jenis kalk alkali.

III.3.1.4 Plot Kotak Alterasi (Alteration Box Plot)

- CCPI:
 - Segar/sedikit terubah: 90,63–94,38%
 - Terubah: 84,70–93,34% → makin terubah, nilai makin turun.
- AI:
 - Segar: 45,44–49,78%
 - Terubah: 38,67–78,94%
- Alterasi serisitik menunjukkan perubahan signifikan.



Gambar 3.6 Tataan tektonik daerah Beruang Kanan : (atas) Hasil perbandingan Zr dan Ti didapatkan tataan tektonik berupa MORB hingga CAB (Pearce dan Cann, 1973; Pearce, 1982), (bawah) hasil perbandingan TiO_2/Al_2O_3 dan Zr/Al_2O_3 didapatkan tataan tektonik terkait continental arc

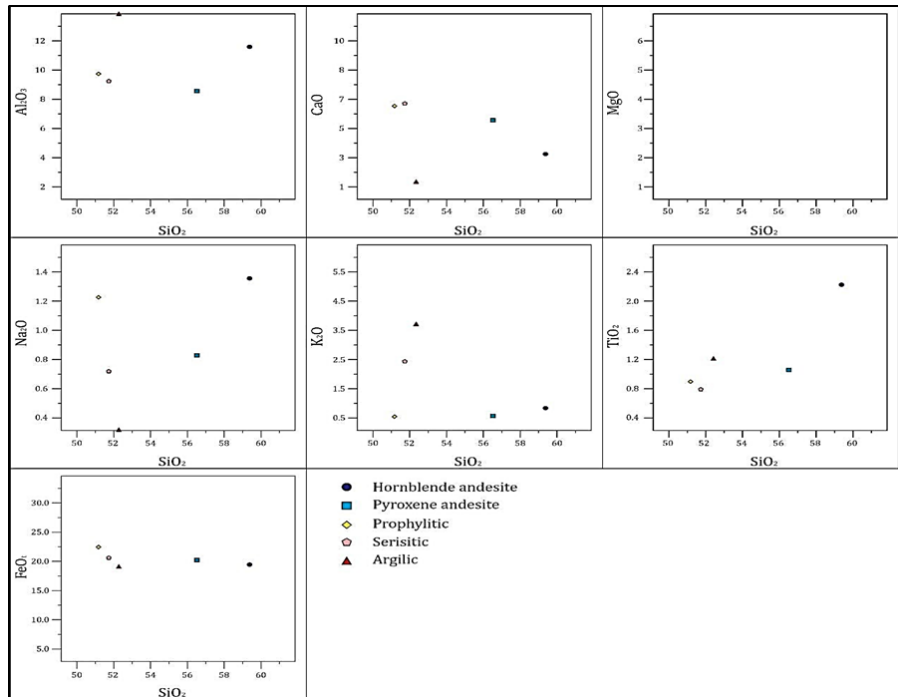
III.3.1.5 Diagram Harker

Batuan di daerah Beruang Kanan awalnya berupa andesit basaltik – andesit dengan afinitas calc-alkaline khas arc magmatisme subduksi. Proses alterasi menyebabkan penurunan SiO_2 , kenaikan K_2O , serta perubahan mineralisasi yang terlihat jelas pada alterasi serisitik. Tataan tektonik menunjukkan keterkaitan erat dengan continental arc, sedangkan analisis geokimia konsisten menunjukkan karakter seri kalk-alkali meskipun telah terpengaruh alterasi.

III.3.1.6 Geokimia Unsur Tanah Jarang (REE)

- Studi distribusi REE digunakan untuk memahami penambahan dan pengurangan unsur selama alterasi batuan.
 - Batuan andesit, propilitik, dan serisitik → menunjukkan anomali Eu positif (dikontrol oleh plagioklas atau kondisi redoks).

- Alterasi argilik (RA23) → menunjukkan anomali Eu negatif, indikasi pelindian plagioklas oleh fluida hidrotermal.



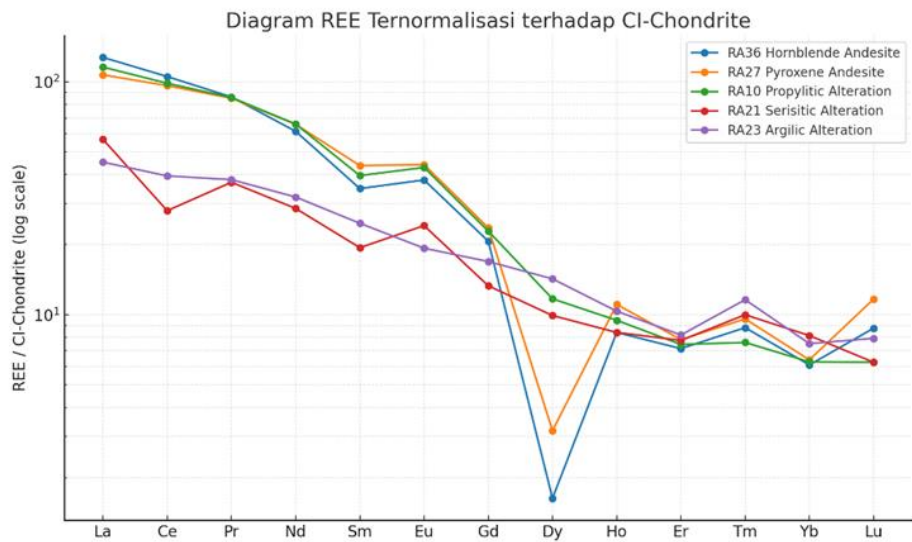
Gambar 3.7 Variasi diagram Harker perbandingan SiO_2 dengan Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , dan FeO

III.3.1.7 Kesetimbangan Massa dan Isokon

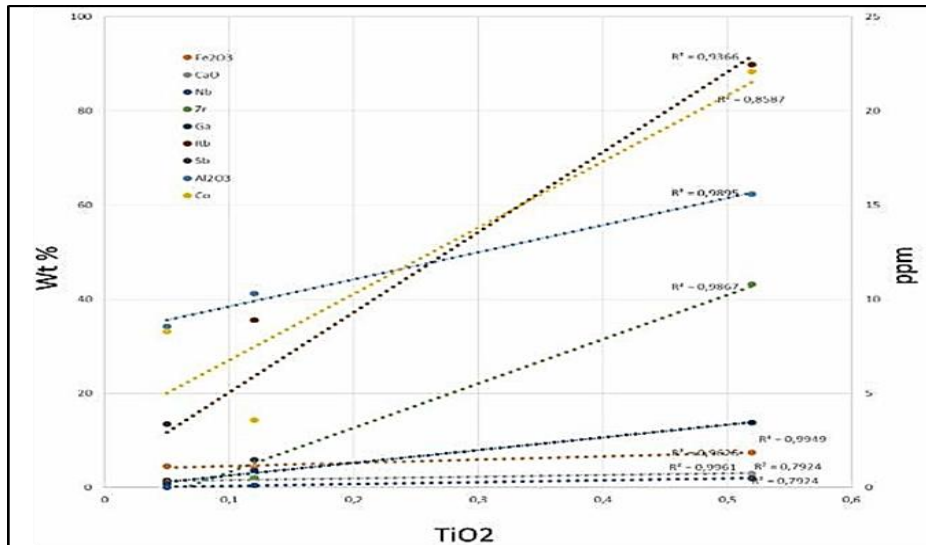
- Digunakan untuk menghitung perubahan massa/volume dan mobilitas unsur akibat interaksi batuan–fluida hidrotermal.
- Metode utama: Persamaan Gresens (1967), Metode elemen bergerak (Mac Lean & Kranidiotis, 1987), dan Diagram isokon (Grant, 1986).
- Prinsip: membandingkan batuan teralterasi dengan batuan prekursor menggunakan unsur immobile (Ti, Al, Zr, REE, HREE).
- Unsur mobile: SiO_2 , Na_2O , CaO , Fe_2O_3 , MgO , Sr, Ba, Cr, Cu.
- Alterasi hidrotermal di lokasi penelitian:
 1. Klorit+Illit+Smektit±Epidot,
 2. Serisit+Kuarsa+Smektit+Pirit,

3. Illit+Smektit±Hyalosite (overprint tahap akhir).
Perubahan Komposisi Unsur:

- REE pada umumnya menunjukkan anomali Eu positif, kecuali zona argilik → anomali Eu negatif akibat pelindian plagioklas.
- Kesetimbangan massa menunjukkan perbedaan mobilitas unsur pada tiap tipe alterasi:
 - Propilitik → kaya Pb & Co, kehilangan Sr.
 - Serisitik → kaya Cu & Zn, kehilangan Ba.
 - Argilik → kaya As, Pb, Co, kehilangan Ag.
- Unsur immobile (Ti, Al, Zr, HREE) dipakai sebagai acuan untuk menghitung perubahan unsur mobile.



Gambar 3.8 Spider diagram pola REE daerah Beruang Kanan (Mcdonough and Sun, 1995). (biru dan oranye) merupakan pola batuan sedikit teralterasi dan alterasi propilitik, (hijau) serisitik (merah) dan argilik (ungu).



Gambar 3.9 Tren Linier dari Oksida Major dan Elemen terhadap TiO₂. Oksida Major dan Element mengindikasikan immobilitas dengan koefisien korelasi ($r \geq 0,7$). Catatan: Oksida Major dalam wt % dan Element dalam ppm

III.3.2 Geokimia Bijih (Mikro-XRF)

Analisis dilakukan dengan metode mikro-XRF untuk mengetahui distribusi dan konsentrasi unsur logam (Ag, Au, Mo, Zn, Y, Pb, Cu). Hasil utama tiap sampel:

- RA 05 → Cu sangat tinggi (99,52%), Zn (0,30%), Pb (0,08%), Au (0,08%).
- RA 06 → Cu (95,29%), Pb (3,17%), Zn (0,95%), Au (0,40%), Ag (0,14%).
- RA 22 → Fe dominan (98,37%), diikuti Zn (0,69%), Cu (0,57%), Au (0,25%). Kehadiran pirit dominan, kalkopirit minor.
- RA 29 → Cu tinggi (94,18%), Mo (2,71%), Zn (1,63%), Pb (0,81%), Au (0,67%). Indikasi kalkopirit, spalerit, dan kemungkinan native Au.
- RA 92 → Cu (96,72%), Pb (1,72%), Zn (1,57%). Unsur Au, Ag, Mo, Y tidak terdeteksi. Kehadiran kalkopirit dan spalerit minor, pirit dominan.

- RA 97 → Cu (87,42%), Zn (8,82%), Mo (2,09%), Pb (0,90%), Au (0,78%). Cu berasosiasi dengan kalkopirit, kalkosit, malasit; Zn dengan spalerit.
- RA 117 → Cu (61,86%), Pb (19,21%), Zn (16,37%), Au (2,29%). Indikasi kalkopirit (Cu), galena (Pb), spalerit (Zn), Au murni (tanpa Ag).
- RA 121 → Y (33,03%), Zn (28,52%), Au (12,16%), Cu (10,94%), Ag (9,31%), Mo (3,75%), Pb (2,29%). Y cukup tinggi, kemungkinan terkait alanit; Cu, Pb, Zn dengan kalkopirit, galena, spalerit, dan elektum.

Secara umum, sebagian besar sampel didominasi **Cu**, dengan variasi keberadaan Pb, Zn, Mo, Au, serta dominasi Fe (RA 22) dan Y (RA 121).

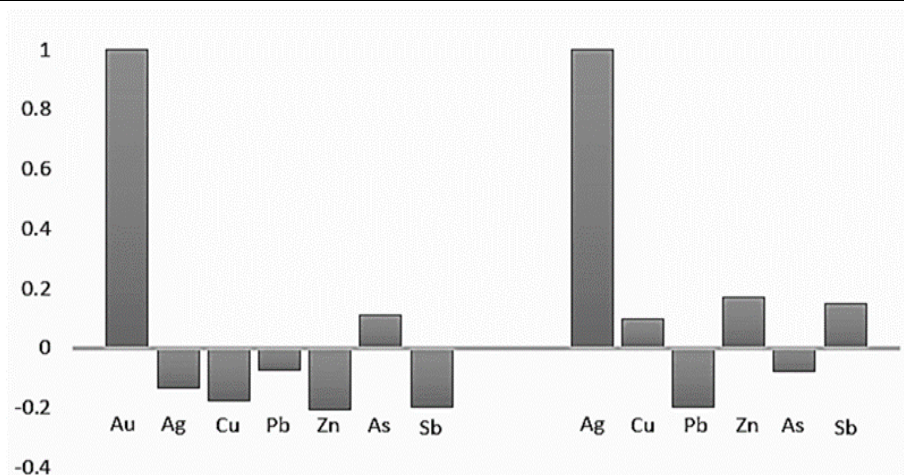
III.3.3 Analisis Geokimia Bijih Endapan Beruang Kanan (FA-AAS)

Analisis dilakukan pada endapan epitermal sulfidasi menengah menggunakan FA-AAS (unsur Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb).

- Kadar Au sangat rendah (0,005–0,1 ppm).
- Ag rendah (0,25–1,6 ppm). Rasio Au:Ag > 1:100.
- Pb hingga 364 ppm → indikasi galena.
- Zn hingga 2050 ppm → indikasi spalerit.
- Cu sangat tinggi hingga 11.400 ppm → indikasi kalkopirit.
- As hingga 361 ppm → indikasi arsenopirit, juga sebagai penunjuk keberadaan Au submikroskopis.
- Sb umumnya rendah (2,5–8 ppm).

Tabel 4.22 Matrik Korelasi menggunakan Pearson Correlative Matrix

	<i>Ag (ppm)</i>	<i>Au (ppm)</i>	<i>Cu (ppm)</i>	<i>Pb (ppm)</i>	<i>Zn (ppm)</i>	<i>As (ppm)</i>	<i>Sb (ppm)</i>
Ag (ppm)	1						
Au (ppm)	-0,13537	1					
Cu (ppm)	0,097123	-0,1764	1				
Pb (ppm)	-0,19625	-0,07244	0,017547	1			
Zn (ppm)	0,168723	-0,20763	-0,28178	-0,15521	1		
As (ppm)	-0,07733	0,111033	-0,12195	-0,02074	0,15172	1	
Sb (ppm)	0,147134	-0,19957	0,008144	0,105325	0,01844	0,213954	1



Gambar 3.10 : (a). Grafik korelasi (pearson correlation matrix) untuk analisis path finder antara emas (Au) dengan Ag, Cu, Pb, Zn. (b) Korelasi antara Ag dengan Cu, Pb, Zn, As dan Sb.

Korelasi unsur (Pearson Matrix):

- Au hanya berkorelasi positif dengan As, unsur lain negatif.
- Ag berkorelasi positif dengan Cu, Zn, Sb.
- Pb berkorelasi negatif dengan Ag, mendukung bahwa Ag tidak hadir sebagai sulfosalt dalam galena.

- Mikro-XRF menunjukkan variasi dominasi unsur: sebagian besar Cu tinggi (RA 05, 06, 29, 92, 97), Fe dominan (RA 22), Y dominan (RA 121).
- FA-AAS memperkuat indikasi asosiasi mineral: galena (Pb), spalerit (Zn), kalkopirit (Cu), arsenopirit/pirit (As), elektum/natif Au (Au-Ag).
- Korelasi geokimia menunjukkan As sebagai pathfinder Au, sedangkan Ag lebih berasosiasi dengan Cu, Zn, Sb.
- Cu → dominan pada hampir semua sampel, pembawa utama: kalkopirit, dengan kemungkinan pengkayaan menjadi kalkosit/malasit.
- Pb → berasosiasi dengan galena (PbS).
- Zn → berasosiasi dengan spalerit (ZnS).
- Au → hadir sebagai native Au atau elektum (Au-Ag alloy).
- Ag → umumnya hadir sebagai elektum, tidak kuat berasosiasi dengan galena.
- Fe & As → menunjukkan dominasi pirit/arsenopirit, juga sebagai pathfinder Au.
- Mo → kemungkinan hadir sebagai molybdenit (MoS₂).
- Y → kadar tinggi (RA 121), kemungkinan terkait mineral alanit (mineral REE).

Kimia Mineral Endapan Epitermal Beruang Kanan (4.3.3):

1. Pirit

- Pirit ditemukan dominan pada batuan tuf dasitik dan batupasir tufaan teralterasi.
- Hasil analisis SEM-EDX menunjukkan adanya unsur minor: Cd, Co, Ni, Ag, Au, As.
- Komposisi rata-rata pirit: Cd (0,01–0,38%), Co (0,01–0,49%), Ni (0,24–2,51%), Ag (0,09–0,35%), Au (0,21–0,75%), As (0,28–1,03%).
- Rasio Co:Ni = 2,76, lebih tinggi daripada pirit sedimen (<0,8), lebih rendah dari pirit VMS (>3,5), dan sesuai dengan pirit vulkanik-hidrotermal, metamorfik, dan skarn-hidrotermal (2–3).
- Menunjukkan karakter endapan vulkanik-hidrotermal bersuhu relatif tinggi.

Tabel 3.3 Klasifikasi pirit berdasarkan rasio Co : Ni (Xuexin, 1984)

Tipe pirit	Co (ppm)	Ni (ppm)	Co : Ni
Tipe sedimen	41	65	0,8
Tipe vulkanik – hidrotermal, metamorfisme dan skarn-hidrotermal	141	121	2 - 3
Tipe VMS (<i>Volcanogenic massive sulphide</i>)	486	56	3,5
Beruang Kanan (wilayah penelitian)	0,28	1,41	2,76

2. Spalerit

- Spalerit dianalisis pada 9 sampel (RA 5, 9, 19, 22, 39, 47, 53, 78, 92).
- Unsur minor yang terdeteksi: Fe, Ga, Ge, Ag, Cd; Au di bawah batas deteksi.
- Komposisi rata-rata: Cd (0,63–0,83%), Ga (0,41–1,06%), Ge (0,25–0,92%), Ag (0,01–0,56%), Fe (0,56–1,19%).
- Rasio Zn: Cd tinggi (74–126) → menunjukkan tipe endapan hidrotermal dan skarn-hidrotermal.
- Kandungan Ga > Ge, mengindikasikan pembentukan pada temperatur relatif tinggi.
- Analisis geotermometri (Ga/Ge) menunjukkan temperatur homogenisasi (Th) 175°–225°C, mendekati data inklusi fluida (176°–379°C).

Tabel 3.4 . Tipe Spalerit berdasarkan rasio Zn : Cd (Jonasson & Sangster , 1978)

Tipe Spalerit	Kandungan Cd	Rasio Zn : Cd
Endapan volcano-sedimenter dan tipe endapan Alpine.	Rendah	417 - 531
Endapan hidrotermal (termasuk endapan vulkanik-hidrotermal) dan endapan skarn-hidrothermal.	Tinggi	104 - 214
Endapan sedimen termetamorfosa, endapan karbonat-stratabound dan stratiform.	Sedang	252 - 330
Beruang Kanan (wilayah penelitian)	Sangat rendah	74,05 – 126,44

3. Galena

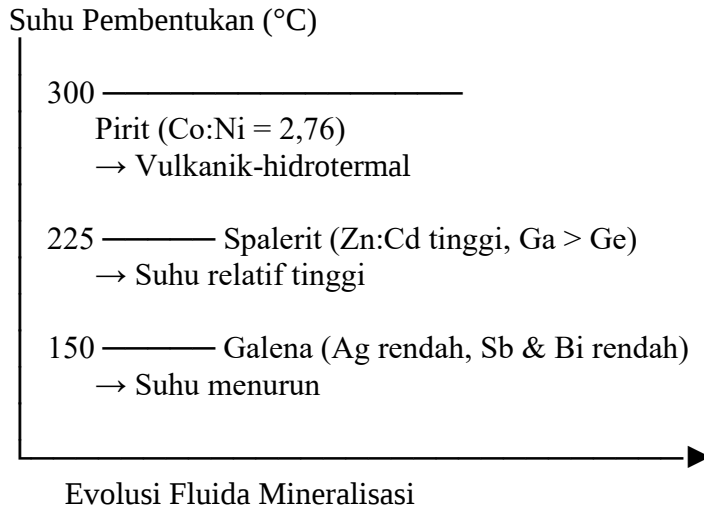
- Galena dianalisis pada sampel RA 5, 7, 9, 19, 39.
- Unsur minor yang terdeteksi: Ag (0,01–0,27%), Sb (<0,28–2,44%), Hg (0,33–3,82%), Fe (0,13–0,74%), Se (0,01–1,72%), Au (<0,01–2,40%), Bi (<0,01%).
- Bi sangat rendah, Ag relatif rendah, dan Sb rendah–sedang.
- Hal ini menunjukkan galena terbentuk pada temperatur menengah–rendah, berbeda dengan galena bertemperatur tinggi yang biasanya kaya Bi dan Sb.
- Kesimpulan: galena endapan epitermal sulfidasi menengah di Beruang Kanan cenderung terbentuk pada suhu menurun selama proses mineralisasi.

Endapan epitermal Beruang Kanan menunjukkan karakter sulfidasi menengah–tinggi.

- Pirit: bertipe vulkanik-hidrotermal.
- Spalerit: terbentuk pada temperatur relatif tinggi (175–225°C), sesuai dengan endapan hidrotermal–skarn.
- Galena: terbentuk pada suhu menurun, menandakan evolusi fluida hidrotermal dalam sistem epitermal.

diagram konseptual perbandingan pirit, spalerit, dan galena biar mudah dipahami:

◆ Diagram Perbandingan Mineral di Endapan Epitermal Beruang Kanan



◆ Ringkasan Geokimia

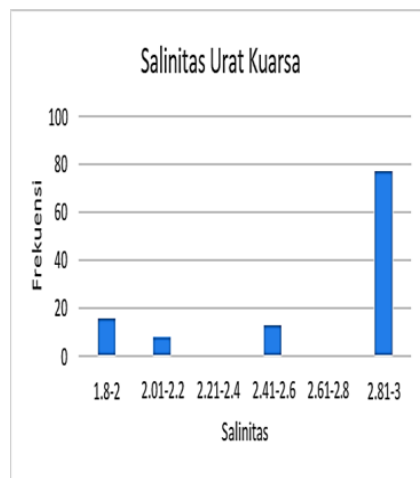
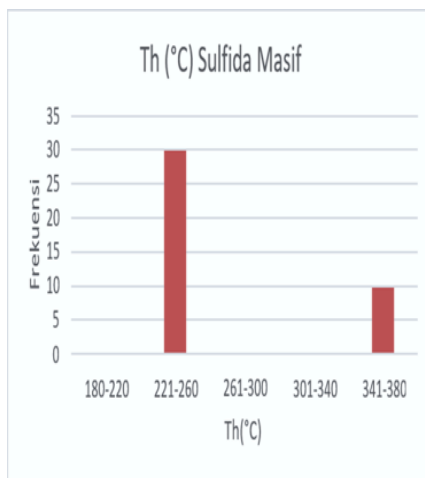
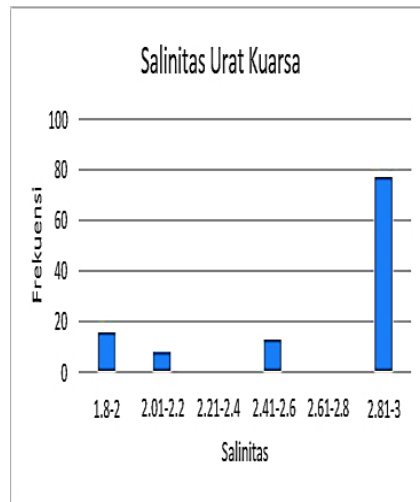
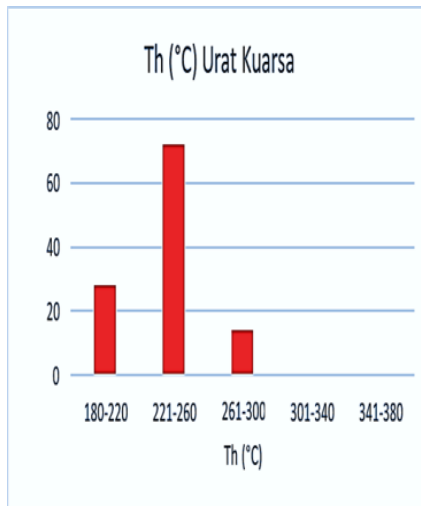
- Pirit
 - Unsur minor: Co, Ni, Cd, Ag, Au, As
 - Rasio Co:Ni = 2,76 → vulkanik-hidrotermal
- Spalerit
 - Unsur minor: Fe, Ga, Ge, Cd, Ag
 - Zn:Cd tinggi (74–126) → hidrotermal/skarn
 - Ga > Ge → terbentuk pada suhu relatif tinggi (175–225 °C)
- Galena
 - Unsur minor: Ag (0,01–0,27%), Sb (0,28–2,44%), Hg (0,33–3,82%), Fe, Se
 - Bi sangat rendah → indikasi suhu menurun saat pembentukan

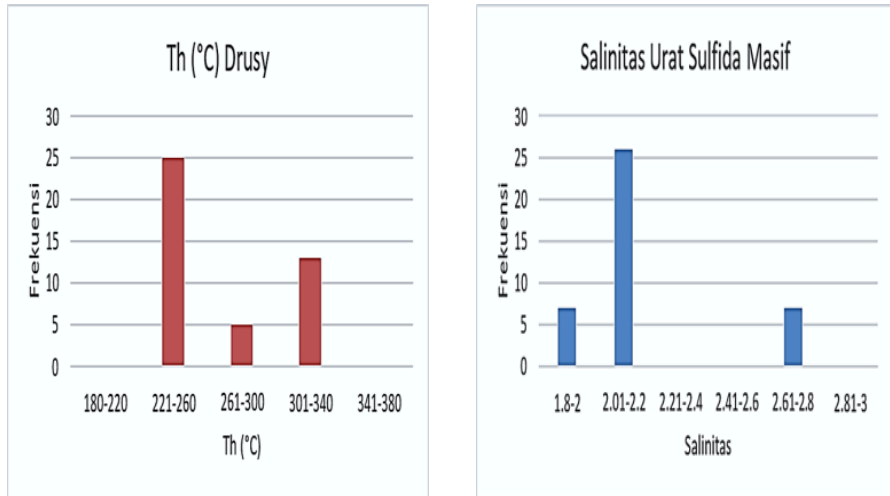
Dari sini jelas terlihat bahwa sistem epitermal di Beruang Kanan berkembang dari fluida bersuhu cukup tinggi (pirit & spalerit) lalu berlanjut hingga kondisi lebih dingin (galena).

Inklusi Fluida – Tipe Epitermal IS (Intermediate Sulfidation) **Karakteristik dari Data**

- **Temperatur homogenisasi (Th):**
 - Rentang: **180 – 380 °C**
 - Umumnya: **200 – 300 °C** (sesuai kisaran epitermal IS).
- **Salinitas:**
 - Rendah hingga sedang: **1.8 – 3.5 wt% NaCl eq.**

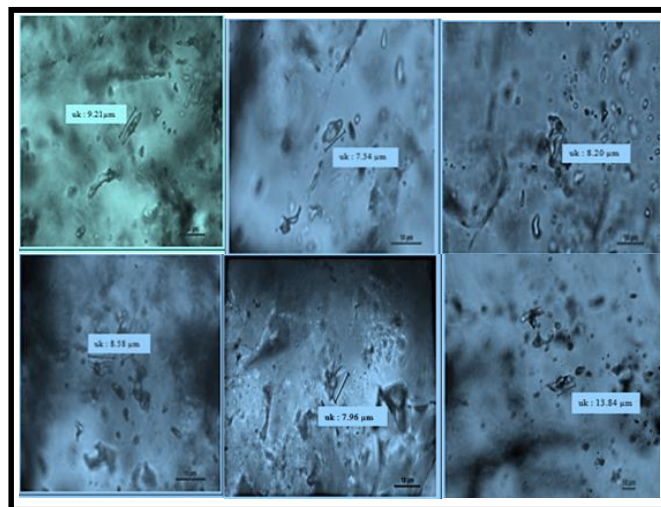
- Konsisten dengan sistem epitermal (biasanya <5 wt% NaCl eq.).
- **Fase Inklusi:**
 - Didominasi **dua fasa cair + uap** dengan tipe kaya cairan.
 - Adanya indikasi **boiling (pendidihan)** → umum di sistem epitermal IS.





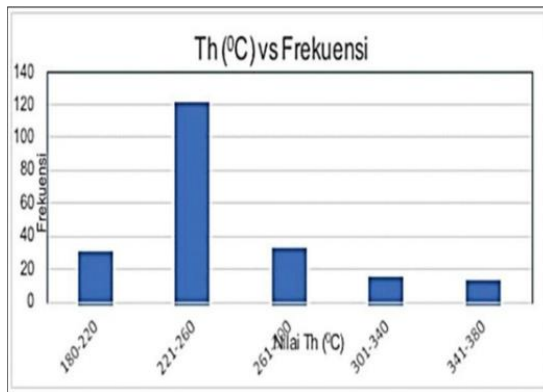
Gambar 3.11 Th dan salinitas di ke tiga urat berdasarkan data dari daerah Beruang Kanan

Berdasarkan rentang Th (180–380 °C), salinitas rendah–sedang (1.8–3.5 wt% NaCl eq.), adanya boiling, dan asosiasi mineral (enargite–pirit), maka endapan polimetalik Beruang Kanan lebih cocok ditafsirkan sebagai sistem epitermal tipe IS (Intermediate Sulfidation)

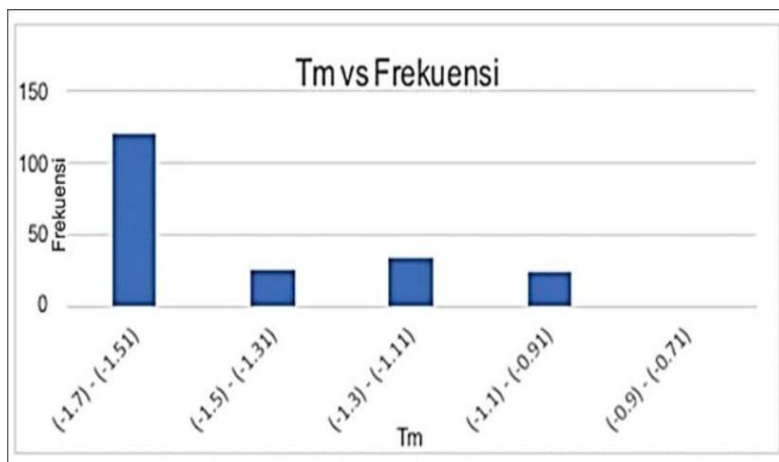


Gambar 3.12. Foto mikroskop cairan inklusi primer yang didominasi cairan fase-1 yang terperangkap dalam kuarsa L: cairan dan V: uap. Histogram mean (puncak) suhu homogenisasi dapat ditentukan suhu

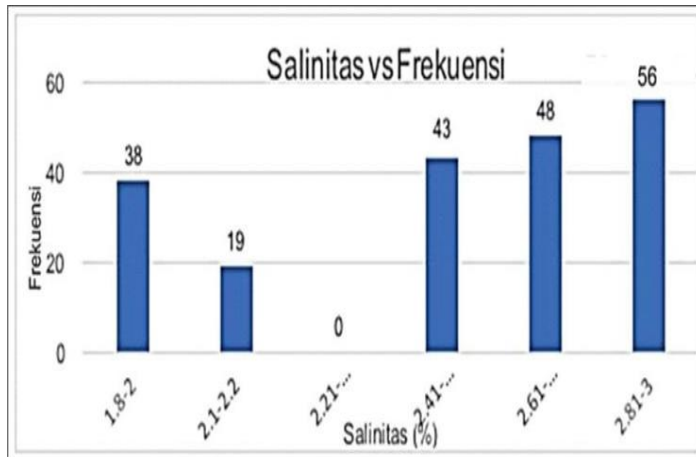
formasi. Temperatur homogenisasi (Th) berkisar antara 157 sampai 426° C.



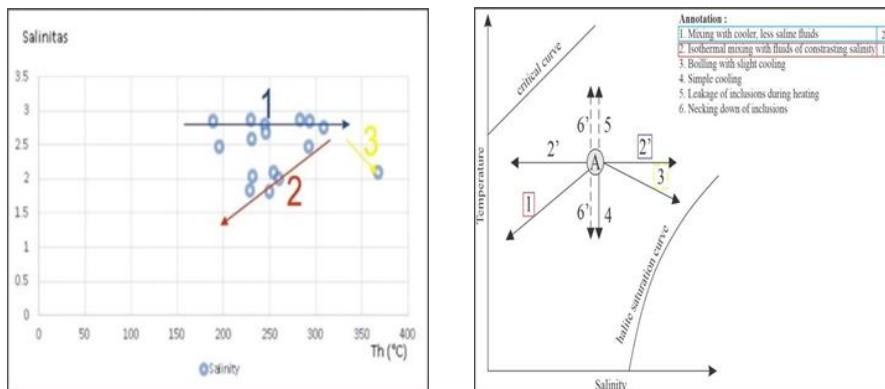
Gambar 3.13 Distribusi frekuensi dan suhu homogenitas berdasarkan Data *Microthermometric* untuk inklusi fluida primer dalam Kuarsa dari daerah Beruang Kanan



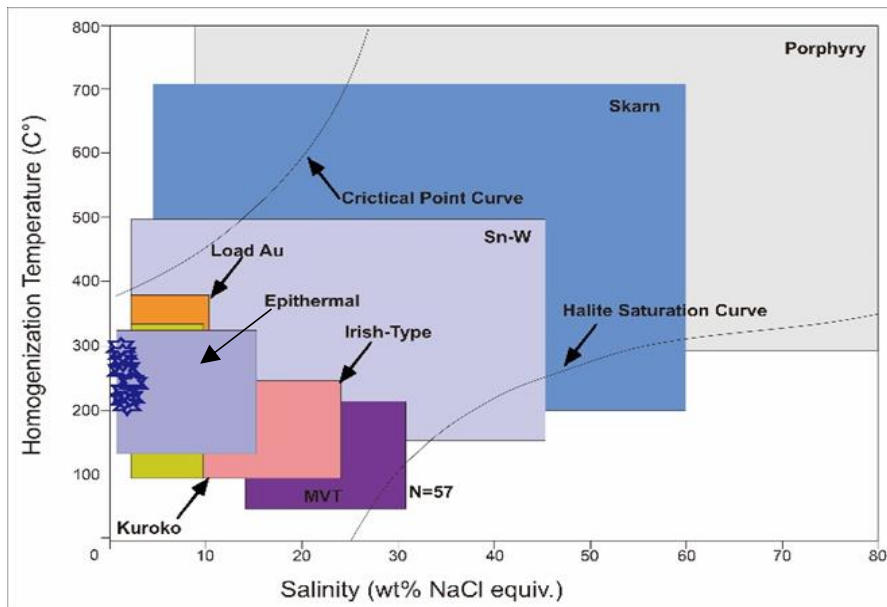
Gambar 3.14 Distribusi frekuensi dan suhu leleh berdasarkan Data *Microthermometric* untuk inklusi fluida primer dalam Kuarsa dari daerah Beruang Kanan



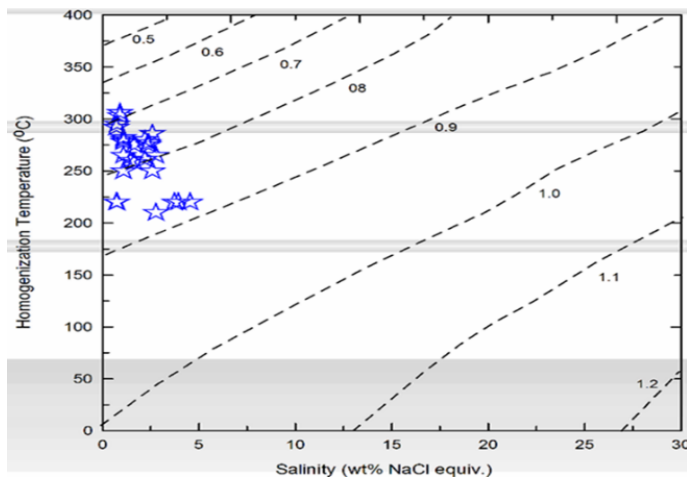
Gambar 3.15 Distribusi frekuensi dan salinitas berdasarkan Data *Microthermometric* untuk inklusi fluida primer dalam Kuarsa dari daerah Beruang Kanan



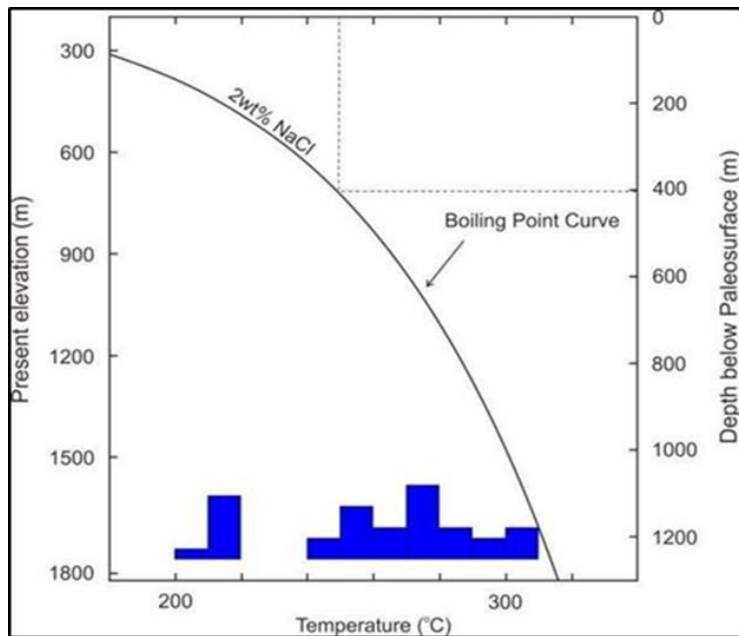
Gambar 3.16 Hubungan temperatur homogenisasi (T_h °C) dan salinitas tipe urat modifikasi dari Sheperd et al., 1985)



Gambar 3.17 Hubungan temperatur homogenisasi (T_h °C) dan salinitas tipe urat modifikasi dari Sheperd et.al, 1985)



Gambar 3.18 Diagram T_h vs salinitas inklusi fluida dan kepadatan (g/cm^3) dari uap jenuh H_2O - NaCl Beruang Kanan (digambar dengan diagram dari Wilkinson, 2001).



Gambar 3.19 Diagram elevasi vs suhu yang menunjukkan plot homogenisasi suhu (Th) diukur dalam kuarsa dari endapan polimetalik Beruang Kanan prospek. Referensi kurva titik didih Haas (1971) dengan 2% berat NaCl eq

IV DISKUSI

IV.1. Kontrol Litologi terhadap Mineralisasi

Litologi menjadi faktor utama yang mengendalikan mineralisasi melalui permeabilitas, porositas, dan komposisi mineral batuan. Di prospek Beruang Kanan, interaksi antara tuf dasitik, batupasir tufan, dan intrusi andesit hornblenda mengontrol distribusi mineralisasi.

IV.1.1. Batupasir Tufan Haloq

- Dominasi batupasir tufan dan batulempung tufan.
- Mengandung gelas vulkanik, feldspar, dan piroksen yang meningkatkan reaktivitas terhadap fluida hidrotermal.
- Porositas tinggi dan rekahan intens mendukung transportasi dan deposisi logam, dengan zona alterasi argilik dan propilitik yang signifikan.

IV.1.2. Tuf Dasitik Malasan

- Terdiri dari kuarsa, plagioklas, pirit, dan kalkopirit.
- Porositas dan permeabilitas tinggi memungkinkan penetrasi fluida hidrotermal.
- Breksi gunungapi menyediakan ruang pengendapan mineral.

- Posisi strategis di bawah intrusi andesit sebagai sumber panas dan logam.
- Alterasi argilik dan silisik menunjukkan intensitas hidrotermalisme tinggi, menjadikannya host rock utama.

IV.1.3. Andesit Sintang

- Intrusi andesit hornblenda sebagai sumber panas dan logam.
- Komposisi mineral hornblenda, plagioklas, kuarsa, dan piroksen khas sistem magmatik intermediet.
- Kekar dan rekahan intens memfasilitasi pergerakan fluida.
- Alterasi argilik dan propilitik menandakan metasomatisme aktif.
- Mikrogabro dan diabas menandai evolusi magma kompleks.

IV.1.4. Hubungan Struktur dan Litologi

- Kekar dan sesar memandu distribusi mineralisasi.
- Litologi permeabel seperti tuf dasitik dan batupasir tufan, dikombinasikan dengan rekahan, mendukung deposisi logam.
- Endapan mineral terbentuk melalui interaksi antara tipe batuan, rekahan, dan posisi relatif terhadap intrusi.

IV.2. Kontrol Struktur Geologi

Struktur geologi menentukan lokasi, geometri, dan intensitas mineralisasi hidrotermal, terutama sistem epithermal, melalui jalur fluida dan zona jebakan.

IV.2.1. Karakteristik Struktur

- **Kekar:** Dua set utama NE–SW dan W–E membentuk shear joint pair, jalur awal fluida hidrotermal.
- **Sesar:** Sistem conjugate fault, termasuk left-lateral (N071°E–N251°E) dan right-lateral (N028°E–N208°E). P Shear dan dilatational jog mendukung pengendapan urat kuarsa dan mineral bijih.

IV.2.2. Mekanisme Kontrol Struktur

- Struktur menyediakan jalur migrasi fluida hidrotermal dan ruang untuk presipitasi logam (Cu, Au, Ag).
- Dilatational jog berperan sebagai zona boiling yang ideal untuk pengendapan mineral.
- Kekar berpasangan dan sesar turunan memperluas distribusi alterasi dan mineralisasi.

IV.2.3. Korelasi Tektonik dan Magmatik

- Struktur lokal merupakan respons terhadap tegasan regional di Sunda Arc dan zona magmatik Schwaner.
- Aktivitas sesar strike-slip di wilayah post-subduksi mempengaruhi distribusi mineralisasi di Kalimantan Tengah.

IV.3 Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi

Daerah penelitian di Beruang Kanan mengalami alterasi hidrotermal intensif dengan tiga tipe utama: serisitik, argilik, dan propilitik, yang membentuk zona alterasi dari pusat ke perifer:

Zona Alterasi Mineral Ubahan

Serisitik Serisit + Kuarsa + Smektit + Pirit

Argilik Illit + Smektit + Kuarsa ± Halloysite

Propilitik Klorit + Illit + Smektit ± Epidot

Interpretasi umum:

- Alterasi ini terkait erat dengan aktivitas magmatik dan struktur regional, mempengaruhi suhu, pH, dan komposisi fluida hidrotermal.
- Zona-zona alterasi ini menandai variasi kedalaman dan potensi mineralisasi.

IV.3.1.1 Zona Serisitik

- Mineral dominan: Serisit, kuarsa, pirit (kadang kalkopirit, spalerit, galena).
- Kondisi pembentukan: Fluida asam, temperatur menengah (200–250°C).
- Ciri: Intens interaksi fluida-batuan, urat kuarsa-sulfida, QSP alteration (Quartz-Sericite-Pyrite).
- Signifikansi ekonomi: Zona prospektif, sering berada di inti mineralisasi logam dasar dan mulia.

IV.3.1.2 Zona Argilik

- Mineral dominan: Illit, smektit, kaolin, ± halloysite.
- Kondisi pembentukan: Fluida asam hingga sangat asam, temperatur rendah–menengah (100–200°C).
- Ciri: Transisi antara propilitik dan serisitik, terkait sistem asam-sulfat, muncul di kedalaman lebih dangkal.
- Signifikansi ekonomi: Terkait mineralisasi Cu seperti kovelit dan enargit, indikasi evolusi fluida hidrotermal.

IV.3.1.3 Zona Propilitik

- Mineral dominan: Klorit, epidot, illit, smektit.

- Kondisi pembentukan: Fluida netral–alkali, temperatur tinggi (250–300°C).
- Ciri: Zona perifer sistem, mineralisasi pirit tersebar, kandungan logam ekonomis rendah.
- Signifikansi: Menandai kedalaman besar dan jarak jauh dari pusat mineralisasi.

IV.3.1.4 Mineralisasi Bijih Beruang Kanan

- **Tipe urat:**
 - Kuarsa-sulfida masif (pirit, kalkopirit, spalerit, galena)
 - Breksia hidrotermal (jigsaw-fit)
 - Drussy dan stockwork (fase akhir, kaya silika)
- Kontrol struktural: Rekahan oblique NNE-SSW dan NW-SE, jalur migrasi fluida hidrotermal, penentu distribusi mineralisasi.

IV.4 Geokimia Batuan Segar dan Teralterasi

Tujuan: Mengidentifikasi perubahan kimia akibat alterasi, memahami afinitas magmatik, dan evaluasi potensi mineralisasi.

IV.4.1 Oksida Utama dan LOI

- SiO₂: Menurun dari 56,44–59,39% (batuan segar) ke 51,78% (batuan teralterasi) → pelindian silika.
- LOI: Meningkat dari 1,75% → 7,1% → pengayaan lempung dan karbonat.

IV.4.2 Unsur Jejak dan REE

- Unsur seperti V, Cr, Ni menurun pada batuan teralterasi → mobilisasi unsur akibat alterasi.
- Tanah jarang (La, Ce, Nd) menunjukkan pola pelindian serupa.

IV.4.3 Klasifikasi Batuan dan Afinitas Magmatik

- **Diagram TAS:** Andesit basaltik → andesit (batuan segar), teralterasi → mendekati basalt.
- **Afinitas magma:** Kalk-alkali dengan beberapa sampel teralterasi menuju shoshonitik (enrichment K₂O).

IV.4.4 Indeks Alterasi

- AI > 70% → intensitas serisitik tinggi.
- CCPI: Menunjukkan pengayaan klorit dan karbonat.
- Korelasi negatif AI–SiO₂ menunjukkan pelindian silika terkait alterasi.

IV.4.5 Lingkungan Tektonik

- Rasio Zr–Ti dan $Zr/Al_2O_3-TiO_2/Al_2O_3 \rightarrow$ continental arc dengan ekstensi.
- Alterasi mendukung potensi mineralisasi logam ekonomis pada busur magmatik aktif.

IV.5. Geokimia Bijih Endapan Beruang Kanan

IV.5.1 Karakteristik Geokimia Bijih

- 35 sampel dari endapan epitermal sulfidasi menengah dianalisis untuk Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, dan Sb.
- Kadar **Au**: 0,005–0,1 ppm, **Ag**: 0,25–11,8 ppm, dengan rasio Au:Ag >1:100, khas endapan epitermal sulfidasi menengah.
- **Cu**: 31–11.400 ppm, menunjukkan mineralisasi kalkopirit dan aktivitas hidrotermal kuat.
- **Pb** sampai 364 ppm, **Zn** sampai 2.050 ppm, terkait galena dan spalerit.
- Distribusi Cu, Pb, Zn menunjukkan **zonasi vertikal**: Cu di bagian bawah sistem (dekat sumber panas), Pb dan Zn lebih dekat permukaan.

IV.5.2 As dan Sb sebagai Unsur Penunjuk Emas

- **As** hingga 361 ppm, **Sb** hingga 8 ppm, berasosiasi dengan arsenopirit dan stibnit.
- Korelasi positif As–Au dan As–Sb mendukung asosiasi emas dengan mineral penunjuk.

IV.5.3 Korelasi Unsur

- **Au** berkorelasi lemah dengan As; Ag berkorelasi positif dengan Cu, Zn, Sb; Ag negatif dengan Pb.
- Menunjukkan Au dalam bentuk submikroskopis, Ag berasosiasi dengan sulfida dasar dan remobilisasi.

IV.5.4 Implikasi Petrogenetik dan Model Endapan

- Endapan Beruang Kanan: **epitermal sulfidasi menengah**.
- Model hidrotermal bertingkat: Au-As-Sb di bagian dalam, logam dasar di zona transisi/permukaan.

IV.5.5 Zonasi Vertikal dan Eksplorasi

- Cu, Zn tinggi di kedalaman menengah; As, Sb tinggi di kedalaman lebih dalam.
- Zona target eksplorasi: kedalaman menengah hingga dalam dengan asosiasi As-Sb kuat.

IV.5.6 Dukungan Mineragrafi dan Struktur

- Mineral utama: galena, spalerit, kalkopirit, arsenopirit, pirit.
- Tekstur fraktura, urat kuarsa, breksiasi, dan sesar/rekaan memperkuat aktivitas hidrotermal kuat.

IV.6 Geokimia REE, Alterasi, dan Mineralisasi

IV.6.1 Pola Geokimia Unsur Utama

- Alterasi serisitik: peningkatan Al_2O_3 (8,45–14,52 wt%), K_2O naik, Na_2O turun, TiO_2 menurun.
- Menunjukkan pengayaan lempung alumina dan remobilisasi unsur selama alterasi hidrotermal.

IV.6.2 Pola Distribusi REE

- Serisitik: LREE menurun, HREE meningkat → fraksinasi oleh fluida asam.
- HREE (Dy, Y, Er) lebih larut pada pH rendah dan suhu menengah, fiksasi oleh pirit, serisit, illit, kaolinit.

IV.6.3 Evaluasi Keseimbangan Massa dan Isokon

- Referensi immobile: TiO_2 , Al_2O_3 , Zr.
- Alterasi propilitik: pengayaan SiO_2 , CaO, Cu, Zn, Co, Pb, Y; penurunan Sr, Fe_2O_3 .
- Alterasi serisitik: pengayaan SiO_2 , Cu; penurunan Ba, Th, U → mobilisasi LREE dan actinides.

IV.6.4 Implikasi Mineralisasi

- Pengayaan Cu, Zn, Co menandai mineralisasi logam dasar.
- Alterasi serisitik (250–350°C) → target utama eksplorasi porfiri Cu-Au.
- Distribusi REE → petunjuk arah fluida, zonasi alterasi, potensi mineralisasi.

IV.7 Kimia Mineral Endapan Epiterma

IV.7.1 Unsur Minor dalam Pirit

- Pirit mengandung Co (0,28 wt%) > Ni (1,41 wt%, rasio Co:Ni $\approx$ 2,76), Au, Ag, As.
- Menunjukkan pirit vulkanik-hidrotermal, terbentuk pada suhu relatif tinggi.

IV.7.2 Unsur Minor dalam Spalerit

- Mengandung Fe, Cd, Ga, Ge, Ag; Au < deteksi.
- Rasio Ga:Ge 0,44–3,32, Zn:Cd tinggi → spalerit terbentuk pada temperatur menengah–tinggi.

IV.7.3 Unsur Minor dalam Galena

- Mengandung Fe, Hg, Sb, Ag, Se, Au; Bi rendah.
- Menunjukkan galena terbentuk pada suhu lebih rendah dibanding galena high-temp, mendukung model sulfidasi menengah.

IV.7.4 Interpretasi Geokimia Endapan Epitermal

- Pirit, spalerit, galena mendukung epitermal sulfidasi menengah.
- Temperatur formasi: 175–225°C (Ga/Ge spalerit), sejalan inklusi fluida (176–379°C).
- Mineralisasi sulfida terbentuk pada kedalaman menengah dengan suhu sedang–tinggi.

Beruang Kanan:

- Termasuk epitermal sulfidasi menengah dengan zonasi logam dasar (Cu, Pb, Zn) dan logam mulia (Au, Ag).
- Alterasi hidrotermal (serisitik & propilitik) mengontrol mobilitas logam dan REE.
- Mineral utama pirit, spalerit, galena menunjukkan formasi hidrotermal menengah–tinggi dengan potensi eksplorasi yang signifikan.

IV.8 Hubungan Jenis Batuan, Afinitas Magma, dan Tatanan Tektonik

Wilayah: Beruang Kanan, bagian dari Kalimantan Magmatic Arc.

IV.8.1 Jenis Batuan

- Analisis berdasarkan petrografi dan geokimia (diagram TAS, Nb/Y vs Zr/TiO₂, SiO₂ vs Zr/TiO₂).
- Batuan segar: andesit basaltik hingga andesit.
- Batuan terubah: basalt hingga andesit basaltik, menandakan alterasi hidrotermal.
- Batuan didominasi tipe menengah-mafik dengan afinitas subalkaline/tholeiitic.
- Berdasarkan unsur mayor dan trace:
 - SiO₂ vs K₂O: calc-alkaline hingga tholeiitic pada batuan segar, transisi ke shoshonitic pada terubah.
 - Co vs Th & Zr/Y vs Th/Yb: konsisten dengan seri kalk-alkali.
- Kesimpulan: magma Beruang Kanan bersifat kalk-alkali, terkait continental arc.

IV.8.3 Tatanan Tektonik

- Analisis elemen jejak dan rasio elemen tak bergerak:
 - Zr vs Ti: transisi dari WPB, MORB, ke IAB.
 - TiO₂/Al₂O₃ vs Zr/Al₂O₃ & La/Yb vs Th/Nb: mendukung continental arc magmatism dan within plate setting.

- Interpretasi: tatanan tektonik menunjukkan continental arc aktif dengan kemungkinan ekstensi intrakontinental (post-subduction extension).

Karakteristik:

- Jenis batuan: andesit basaltik–andesit (segar), basalt–andesit basaltik (terubah).
- Afinitas magma: kalk-alkali.
- Tatanan tektonik: kombinasi within plate, MORB, dan continental arc.

IV.9 Inklusi Fluida pada Sistem Mineralisasi Epitermal

IV.9.1 Karakteristik

- Kantong fluida kecil ($<50\ \mu\text{m}$), ditemukan pada kuarsa.
- Klasifikasi: primer, sekunder, pseudosekunder; fase: monofasa, dua fase, multifasa.

IV.9.2 Petrografi

- Bentuk inklusi: sferoid, elongate, prismatic ($5\text{--}50\ \mu\text{m}$).
- Dominasi inklusi dua fase (cair + uap), sebagian kecil kaya uap.

IV.9.3 Mikrotermometri & Salinitas

- Urat kuarsa: Th $188,2\text{--}293,1^\circ\text{C}$, salinitas $1,83\text{--}2,86\ \text{wt}\%$.
- Urat sulfida: Th $231,1\text{--}367,9^\circ\text{C}$, salinitas $1,82\text{--}2,68\ \text{wt}\%$.
- Urat drussy: Th $230,5\text{--}308,9^\circ\text{C}$, salinitas $1,82\text{--}2,87\ \text{wt}\%$.

IV.9.4 Interpretasi Genetik

- Evolusi fluida: isothermal mixing + pencampuran fluida lebih dingin/kurang salin.
- Mekanisme presipitasi: boiling dan mixing.

IV.9.5 Klasifikasi Sistem Mineralisasi

- Sistem epitermal (Th $180\text{--}380^\circ\text{C}$, salinitas $1,8\text{--}3,5\ \text{wt}\%$ NaCl eq.).
- Variasi salinitas luas $\rightarrow$ tanda pendidihan hidrotermal.

IV.9.6 Kedalaman & Tekanan

- Kedalaman pembentukan $\approx 400\ \text{m}$, tekanan hidrostatik $\pm 39\ \text{bar}$.
- Densitas fluida: $0,7\text{--}0,9\ \text{g/cm}^3$.

Inklusi Fluida Beruang Kanan:

- Dominasi inklusi dua fase (cair + uap).
- Th $180\text{--}380^\circ\text{C}$, salinitas $1,8\text{--}3,5\ \text{wt}\%$.
- Mekanisme presipitasi: pencampuran dan mendidih.

- Sistem hidrotermal **epitermal**, kedalaman pembentukan sekitar 400 m.

IV.10 Genesa Dan Model Endapan

1. Konteks Geologi

- Terletak di lingkungan vulkanik–subvulkanik dengan dominasi andesit–dasitik.
- Intrusi dangkal menyediakan panas dan fluida magmatik untuk sistem hidrotermal.
- Struktur sesar dan rekahan berperan sebagai jalur fluida dan kontrol mineralisasi.

2. Alterasi Hidrotermal

- Zonasi konsentris:
 - Propilitik (luar): klorit, epidot, karbonat.
 - Serisitik (menengah): serisit, kuarsa, pirit; peningkatan K_2O , pencucian Na_2O → zona mineralisasi.
 - Argilik (inti/dangkal): illit, smektit, kaolinit.
- Analisis geokimia menegaskan pola zonasi ini dan mobilitas unsur utama serta jejak.

3. Mineralisasi

- Asosiasi Au–Ag–Cu–Pb–Zn.
- Mineral utama: kalkopirit, spalerit, galena, pirit.
- Tekstur urat: masif, drussy quartz, breksia, mengindikasikan pengendapan di ruang terbuka dengan mekanisme boiling.

4. Geokimia

- K_2O tinggi → indikator mineralisasi.
- LOI meningkat → refleksi hidrasi dan karbonatisasi.
- Distribusi unsur mendukung aktivitas hidrotermal.

5. Kontrol Struktur

- Sesar dan rekahan menjadi jalur fluida utama.
- Perpotongan sesar → target prioritas eksplorasi.

Tabel 4.1 Tabel Komprehensif Fase IS – Beruang Kanan

Parameter	Nilai / Kisaran	Mineral Utama	Unsur Dominan (Mikro-XRF / FA-AAS)
Suhu Homogenisasi (Th)	200–300 °C	Pirit, Sfalerit, Galena, Enargite, Tetrahedrit, Kalkopirit, Elektrum/Au	Cu, Pb, Zn, Au minor, As, Sb, Cd, Ga, Fe, Y
Salinitas (wt% NaCl eq.)	1.8–3.5	Pirit, Sfalerit, Galena, Enargite, Tetrahedrit, Kalkopirit, Elektrum/Au	Cu dominan, Pb & Zn sedang, Au minor, As/Sb/Cd/Ga/Fe/Y minor
Fase Fluida	Dua fasa (cair + uap)	–	–
Densitas Fluida	0.7–0.9 g/cm ³	–	–
Proses	Mixing + Boiling → presipitasi mineral polimetalik	Pirit → Sfalerit → Galena → Enargite → Tetrahedrit → Kalkopirit → Elektrum/Au	Cu paling dominan, Pb & Zn sedang, Au minor, unsur minor lainnya
Karakter Sistem	Intermediate Sulfidation (IS)	–	Mendukung mineralisasi polimetalik menengah-suhu
Data Mikroanalisis	Mikro-XRF: RA 05–RA 121 FA-AAS: Cu ≤11.400 ppm, Pb ≤364 ppm, Zn ≤2050 ppm, Au ≤0,1 ppm	–	Konsisten dengan distribusi unsur & mineral fase IS

Tipe Endapan

- Berdasarkan Hedenquist et al., 2000, endapan termasuk epitermal sulfidasi menengah.
- Host rock: andesit hornblenda, tuf dasitik, batupasir.
- Alterasi: serisitik (inti) → propilitik → argilik.

- Mineral bijih: Au, Ag, Cu, Pb, Zn; tekstur urat drussy, masif, breksia.

Tabel 4.2. Tipe endapan epitermal di daerah penelitian menurut Hedenquist et.al., 2000 dengan modifikasi

Tipe Epitermal	Sulfida Tinggi (HS)	Sulfida Menengah (IS)	Sulfida Rendah (LS)	Daerah Penelitian (Beruang Kanan)
Bentuk mineralisasi utama	Deposit penggantian yang terjal, dan semakin miring pada kedalaman rendah Breksi hidrotermal	Urut, stocworks	Urut, stocworks, tubuh disseminasi	Urut, Breksi hidrothermal
Jenis alterasi proksimal utama	Silisifikasi, Kuarsa residual vuggy, Kuarsa - Alunit	Silisifikasi, Kuarsa - Sericite/Illite	Silisifikasi, Kuarsa - Adularia/Illite	Silisifikasi, Kuarsa- Sericite - Smektit ± Illite
Mineral gangue utama	Kuarsa, Alunit, Barit	Kuarsa, Kalsit, Manganoan, Karbonat, rhodonite, Adularia	Kuarsa, Kalsedon, Adularia	Kuarsa, Alunit, Epidot
Kelimpahan mineral sulfida	Tinggi (10 - 80 %vol)	Menengah	Rendah (1-5 %vol.)	-
Indikasi sulfidasi	Enargite/Luzonite/Farmatinit	Tetrahedrite, chalcocopyrite, sedikit Fe. Sphalerite	Pyrrhotite, Arsenopyrite, Tinggi Fe. Sphalerite	Chalcocopyrite, Bornit, Cuprite, natif Ag, Sphalerit, Galena, Digenit
Unsur bijih utama	Au-Ag-Cu ± Bi ± Te	Au-Ag-Zn- Pb-Mn ± Cu	Au ± Ag ± Se ± Mo	Cu-Zn-Pb-Ag

Model Genetik Endapan

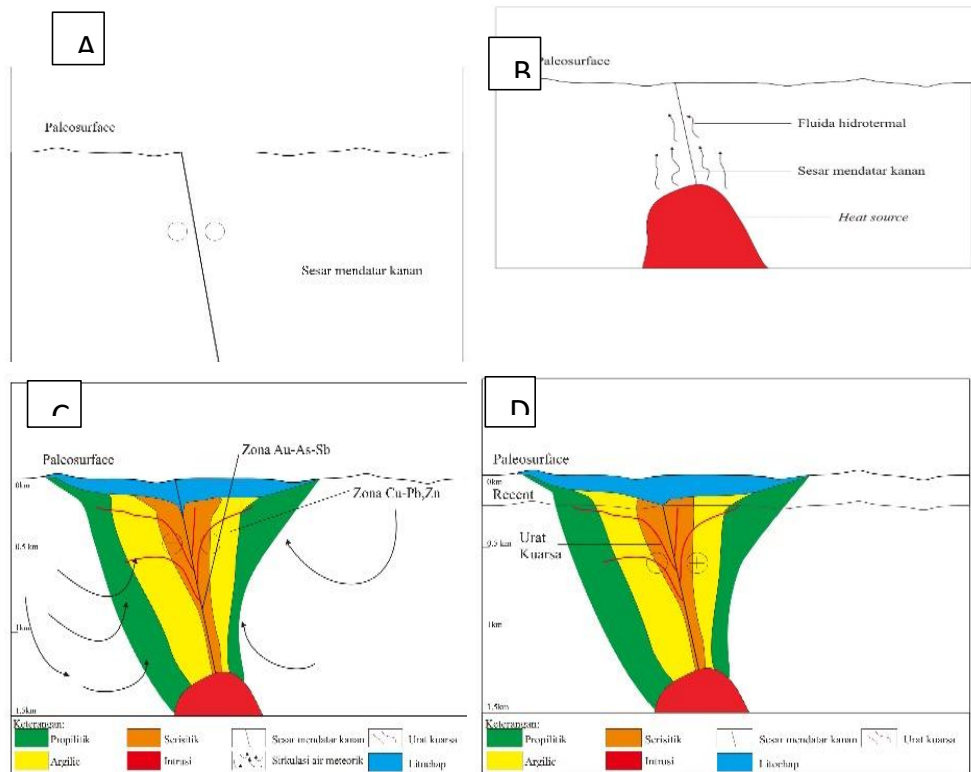
Tahap pembentukan:

1. Awal: pembentukan sesar mendatar → zona permeabilitas tinggi.
2. Intrusi & fluida: magma dangkal menyediakan panas dan fluida, bermigrasi melalui sesar.
3. Alterasi & mineralisasi:
 - Propilitik: klorit, epidot, karbonat.
 - Argilik: illit, kaolinit, smektit.
 - Serisitik: serisit, kuarsa, pirit → zona mineralisasi utama.
 - Pengendapan logam melalui boiling, urat kuarsa sebagai jebakan logam.

4. Sistem lengkap: zonasi konsentris (Serisitik → Argilik → Propilitik), urat kuarsa polimetalik (Au–Ag–Cu–Pb–Zn), kontrol utama oleh sesar mendatar.

Kesimpulan genetik:

- Endapan transisi antara sulfidasi rendah dan tinggi, terbentuk dari interaksi fluida magmatik dan air meteorik di kedalaman dangkal.
- Mekanisme boiling dan kontrol struktur menjadi kunci presipitasi logam.
- Sistem di Beruang Kanan konsisten dengan model epitermal sulfidasi menengah, memiliki potensi signifikan untuk eksplorasi emas dan logam dasar.



Gambar 4.1. Model endapan epitermal intermediat daerah Beruang Kanan Mekanisme Genesa (A–D) : (A) Pembentukan sesar mendatar kanan sebagai jalur fluida. (B) Intrusi dangkal sebagai sumber panas dan fluida, naik melalui sesar. (C) Migrasi fluida hidrotermal, terbentuknya zonasi alterasi,

V. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan pemahaman saat ini dari data yang tersedia dari investigasi lapangan dan analisis laboratorium, kesimpulan berikut dibuat untuk prospek epitermal sulfidasi tinggi Beruang Kanan, Kalimantan Tengah, Indonesia:

1. Sistem alterasi hidrotermal di Beruang Kanan terdiri atas tiga zona utama: Alterasi hidrotermal menunjukkan zonasi khas zona propilitik (klorit+illit+smektit±epidot), zona serisit (serisit+kuarsa+smektit+pirit) dan zona argilik (illit+smektit+kuarsa±hyalosite). Mineralisasi utama berupa emas (Au), perak (Ag), serta sulfida logam dasar (Cu, Pb, Zn). Variasi mineralogi dan geokimia menunjukkan adanya pelindian silika, pengayaan K₂O, LOI, serta mobilisasi unsur jejak (Cr, V, Ni, La, Ce, Nd). Pola REE memperlihatkan pemiskinan LREE dan pengayaan HREE, indikatif interaksi fluida–batuan intensif pada kondisi intermediet–temperatur menengah.
2. Mineralisasi bijih ditemukan dalam bentuk urat masif, breksi, dan urat drussy dengan tekstur sisir, bladed, serta diseminasi. Mineral logam utama berupa kalkopirit, elektum, galena, spalerit, dan lainnya, dengan asosiasi struktural rekahan berarah NNE–SSW dan NW–SE. Rasio logam dan data mikro-geokimia (Ga/Ge, Zn/Cd) menunjukkan pembentukan mineralisasi pada temperatur menengah–tinggi.
3. Inklusi fluida dari daerah Beruang Kanan menunjukkan bahwa: Inklusi fluida yang diamati terutama adalah dua fase cair + uap, dengan dominasi inklusi kaya cairan. Temperatur homogenisasi berkisar 180°C hingga 380°C, dan salinitas antara 1,8 hingga 3,5 wt.%. Evolusi fluida menunjukkan proses pencampuran dan mendidih sebagai mekanisme presipitasi logam. Sistem hidrotermal termasuk tipe epitermal dengan kedalaman pembentukan sekitar 400 m.
4. Data mineralogi, geokimia, dan inklusi fluida mendukung bahwa endapan mineralisasi di Beruang Kanan secara deskriptif mengarah ke dalam tipe epitermal sulfidasi menengah. Endapan epitermal sulfidasi menengah di daerah Beruang Kanan, Kalimantan Tengah, dengan dominasi batuan andesitik dan dikontrol oleh intrusi dangkal sebagai sumber panas dan fluida. Alterasi hidrotermal menunjukkan zonasi

khas zona propilitik (klorit+illit+smektit±epidot), zona serisit (serisit+kuarsa+smektit+pirit) dan zona argilik (illit+smektit+kuarsa±hyalosite). Mineralisasi utama berupa sulfida logam dasar (Cu, Pb, Zn). Peran sesar dan rekahan menjadi faktor kunci sebagai jalur fluida hidrotermal sekaligus zona pengendapan mineral. Secara keseluruhan, karakteristik geologi, alterasi, mineralisasi, geokimia, dan kontrol struktur di Beruang Kanan konsisten dengan model genetik endapan epitermal sulfidasi menengah yang dikendalikan oleh interaksi fluida meteorik.

5.

V.2 Rekomendasi

Diharapkan bahwa hasil yang disajikan dalam penelitian ini memberikan kriteria deposit terperinci untuk eksplorasi dan eksploitasi deposit tembaga di Beruang Kanan. Rekomendasi ringkasan berikut dibuat untuk studi dan eksploitasi lebih lanjut.

1. Studi terperinci tentang inti bor (core) → untuk menafsirkan geologi bawah permukaan, zonasi alterasi, dan mineralisasi sebagai dasar model mineralisasi.
2. Survei Geofisika (magnetik + resistivitas/IP) → untuk membantu delineasi intrusi, sesar, zona alterasi, dan sulfida sebagai target bawah permukaan.
3. Pemboran Eksplorasi terarah → sebagai tahap verifikasi langsung terhadap target yang paling prospektif berdasarkan hasil studi dan geofisika.

Dengan menerapkan rekomendasi ini, diharapkan potensi mineralisasi di daerah Beruang Kanan dapat dievaluasi secara lebih efektif dan efisien, mengarah pada penemuan sumber daya mineral yang signifikan.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Retno Anjarwati

Tempat tanggal lahir : Banjarmasin, 2 Maret 1972

Alamat : Jl KS Tubun VIII no 8 RT 32
Argamulia kota Samarinda,
Kalimantan Timur

Pekerjaan : Dosen di Program Studi Teknik
Geologi Fakultas Teknik
Universitas Mulawarman
Samarinda Kalimantan Timur.

Pendidikan:

SDN Pancasila : 1979 - 1986

SMP Negeri I Martapura: 1985 - 1989

SMA Negeri I Banjarbaru : 1989 - 1991

Sarjana Teknik Geologi ITNY Yogyakarta 1991-1998

S2 Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada: 2000 - 2003

S3 Teknik Geologi UPN “Veteran” Yogyakarta: 2019 – 2025

Publikasi ilmiah yang dihasilkan antara lain:

Prosiding

1. Retno Anjarwati, Sutarto, Dwi Fitri Yudiantoro, Arifudin Idrus. (2024): Paragenesis Study Study of Mineral Ore in Beruang Kanan Area, Central Kalimantan, Proceeding IOP Conference Series : Earth and Environmental Science, ICEMINE, Yogyakarta.
2. Retno Anjarwati, Sutarto, Dwi Fitri Yudiantoro, Arifudin Idrus. (2024): Veins System of Mineralization in The Polymetal Deposits of Beruang Kanan Site, Central Kalimantan, Proceedings of the International Conference on Tropical Studies and Its Application (ICTROPS).
3. Retno Anjarwati, Sutarto, Dwi Fitri Yudiantoro, Arifudin Idrus. (2024): Studi Alterasi Hidrotermal Daerah Beruang

Kanan Kalimantan Tengah, Prosiding Seminar Nasional Teknik Geologi UPN “Veteran” Yogyakarta “Pengembangan Geosains Untuk Akselerasi Indonesia Emas 2045”.

Jurnal

1. Retno Anjarwati, Sutarto, Dwi Fitri Yudiantoro, Arifudin Idrus, Emi Prasetyawati Umar. (2025): Geochemical and Mineralogical Insights into Hydrothermal Alteration in the Beruang Kanan Non-Vulcanic Area, Central Kalimantan, Indonesia. International Journal of Hydrological and Environmental for Sustainability, Volume 4, Issue 2, <https://journal.foundae.com/index.php/ijhes/article/view/767>
2. Retno Anjarwati, Sutarto, Dwi Fitri Yudiantoro, Arifudin Idrus, Emi Prasetyawati Umar. (2024): The Geological Structures Formed Influence the Process of Mineralization in the Beruang Kanan Area, Gunung Mas Regency, Central Kalimantan. Jurnal Internasional Sosial Teknologi, [Vol. 5, No. 11](https://jst.publikasiindonesia.id/index.php/jist/article/view/8775), p-ISSN: 2723 - 6609 e-ISSN: 2745-5254, <https://jst.publikasiindonesia.id/index.php/jist/article/view/8775>
3. Retno Anjarwati, Sutarto, Dwi Fitri Yudiantoro, Arifudin Idrus, Emi Prasetyawati Umar. (2025): Affinity Study And Rock Types In The Beruang Kanan Area, Central Kalimantan. JURNAL LOCUS: Penelitian & Pengabdian, in the forthcoming issue, Volume 4, Number 11, <https://locus.rivierapublishing.id/index.php/jl>