

**KARAKTERISITIK ENDAPAN POLIMETALIK EMAS DAN LOGAM DASAR
DAERAH DOLOK PANGKURUHAN, KECAMATAN PEGAGAN HILIR,
KABUPATEN DAIRI, PROVINSI SUMATERA UTARA**

**CHARACTERISTICS OF POLYMETALLIC GOLD AND BASE METAL DEPOSITS
DOLOK PANGKURUHAN AREA, PEGAGAN HILIR DISTRICT, DAIRI REGENCY,
NORTH SUMATRA PROVINCE**

**Iwan Nursahan¹, Juan Aprilio Rafael L. P.², Prima M. Hilman¹,
dan Aton Patonah²**

¹Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi Badan Geologi

²Jurusan Teknik Geologi, Universitas Padjajaran
nursahaniwan@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i1.480>

ABSTRAK

Beberapa kegiatan penyelidikan terdahulu di daerah Dolok Pangkuruhan, Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara telah menemukan beberapa lokasi mineralisasi emas dan logam dasar. Tulisan ini membahas terkait karakteristik alterasi dan mineralisasi emas dan logam dasar berdasarkan hasil penyelidikan tahun 2023 dengan tujuan untuk menentukan karakteristik alterasi dan mineralisasi serta model tipe endapannya. Metoda penelitian yang digunakan meliputi pemetaan geologi semi rinci, alterasi dan mineralisasi, analisis XRD, spektral, mineragrafi, serta analisis inklusi fluida. Alterasi yang berkembang terdiri dari : argilik, argilik lanjut, filik-pirit dan filik-silisifikasi. Mineralisasi terdapat empat tipe: a. Urat Au-galena (Dolok Pangkuruhan) yang dicirikan adanya *native gold* dan tekstur urat bentuk kristalin dan *colloform*; b. Mineralisasi galena, sfalerit (Aek Sulfi), dengan ciri tekstur masif dan *banded*; c. urat kuarsa-silisifikasi-sfalerit-galena (Sungai Sembilin); d. urat kuarsa-bornit-kalkopirit (Sungai Sikiring-kiring). Hasil analisis inklusi fluida diinterpretasikan sebagai endapan epitermal dengan temperatur pembentukan mineralisasi berkisar 240°C s.d. 346°C. Berdasarkan analisis sekwen paragenesa dapat diinterpretasikan karakteristik mineralisasi sebagai model endapan polimetalik (Au-Pb dan Zn-Pb-Cu) tipe urat epitermal sulfida menengah – tinggi.

Kata kunci: Mineralisasi, polimetalik, tipe urat, *epithermal*, sulfida menengah-tinggi

ABSTRAK

Several previous investigative activities in the Dolok Pangkuruhan area, Dairi Regency, North Sumatra Province have discovered several locations of gold and base metal mineralization. This article discusses the characteristics of alteration and mineralization of gold and base metals based on the results of investigations in 2023 with the aim of determining the characteristics of alteration and mineralization as well as a deposit type model. The research methods used include semi-detailed geological mapping, alteration and mineralization, XRD analysis, spectral analysis, mineralography, and fluid inclusion analysis. The alteration that develops consists of: argillic, advanced argillic, phyllic-pyrite and phyllic-silicification. There are four types of mineralization: a. Au-galena veins (Dolok Pangkuruhan) which are characterized by the presence of native gold and crystalline and colloform vein textures; b. Galena mineralization, sphalerite (Aek Sulfi), with massive and banded texture characteristics; c. quartz-silicification-sphalerite-galena vein (Sembilin River); d. quartz-bornite-chalcopryrite vein (Sikiring- kiring River). The results of fluid inclusion analysis are interpreted as epithermal deposits with mineralization formation temperatures ranging from 240°C – 346°C. Based on

paragenetic sequence analysis, the mineralization characteristics can be interpreted as a model of polymetallic deposits (Au-Pb and Zn-Pb-Cu) of medium - high sulphide epithermal vein type.

Keywords: Mineralization, polymetallic, vein type, epithermal, intermediate-high sulphidation

PENDAHULUAN

Survei tinjau potensi emas dan logam dasar di Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara pertama kali dilakukan pada akhir tahun 1997 oleh Herald Resources, secara regional daerah Sopokomil tersusun atas formasi sedimen berumur Permo Karbon (PT Dairi Prima Mineral, Herald Resources Ltd, 1998). Mineralisasi logam dasar ditemukan berupa tipe sulfida masif (Pb-Zn) di daerah Lae Sopokomil, yang dikenal sebagai tipe *SEDEX* (*Sedimentary Exhalation*, menurut Lydon, 1996, after Carne & Cathro 1982).

Stratigrafi regional daerah Kabupaten Dairi mengacu kepada Peta Geologi Lembar Sidikalang skala 1: 250.000 oleh Aldiss, dkk., 1983) terdiri dari formasi - formasi berumur Paleozoik hingga Kuartar yang sebagian besar merupakan hasil aktivitas vulkanik dan juga hasil proses metamorfisme. Formasi Kluet tersusun atas batupasir metakuarsa, *metawacke*, serpih, filit berumur Permo Karbon memiliki sebaran yang luas di daerah penyelidikan. Selain itu juga dijumpai Formasi Tufa Toba (Qtv) berumur Plistosen.

Berdasarkan laporan penyelidikan emas dan logam dasar di Kecamatan Pegagan Hilir, Kabupaten Dairi yang dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) Tahun 2017 (Hatta, dkk., 2017), perlu ditindaklanjuti dengan salah satunya adalah penentuan karakteristik alterasi dan mineralisasi emas dan logam dasar di daerah bagian timur laut Bukit Dolok Pangkuruhan Desa Kuta Usang. Hasil penyelidikan terdahulu menunjukkan yang berkembang berupa alterasi filik (illit-serisit), filik-pirit (illit-serisit-pirit), dan argilik. Indikasi mineralisasi yang ditemukan berupa pirit-sfalerit-kalkopirit dan emas pada urat kuarsa, yang dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu: (1) urat kuarsa

teroksidasi (2) urat kuarsa kalsedonik pirit dan (3) urat kuarsa masif sejajar foliasi. Kadar Au pada urat kuarsa cukup signifikan, yaitu: 1,42 ppm s.d 2,122 ppm Au dan 1196 ppm s.d. 5179 ppm Pb.

Dalam rangka penentuan karakteristik alterasi dan mineralisasi tersebut pada tahun 2023 dilakukan penelitian geologi secara rinci. Adapun tujuan penelitian ini untuk menentukan karakteristik alterasi dan mineralisasi serta tipe endapan emas dan logam dasar di daerah Dolok Pangkuruhan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi model endapan mineralisasi di daerah penelitian.

METODA PENELITIAN

Metoda penelitian yang dilakukan meliputi pemetaan geologi, alterasi dan mineralisasi semi rinci dengan skala 1: 10.000 s.d. 1: 5000. Pengambilan sampel batuan dengan metoda *grab* dan *channeling* dilakukan untuk mengetahui ekstensi atau kemenerusan jalur mineralisasi terutama pada zona urat kuarsa di daerah timur laut Dolok Pangkuruhan.

Metoda analisis laboratorium yang digunakan meliputi: analisis petrografi, analisis mineragrafi, analisis spektral, analisis XRD kuantitatif, dan analisis inklusi fluida yang dilakukan pada laboratorium fisika dan kimia PSDMBP. Penentuan model tipe endapan berdasarkan evaluasi dari data alterasi dan mineralisasi, analisis inklusi fluida serta sekwen paragenesa mineral bijihnya.

HASIL dan PEMBAHASAN

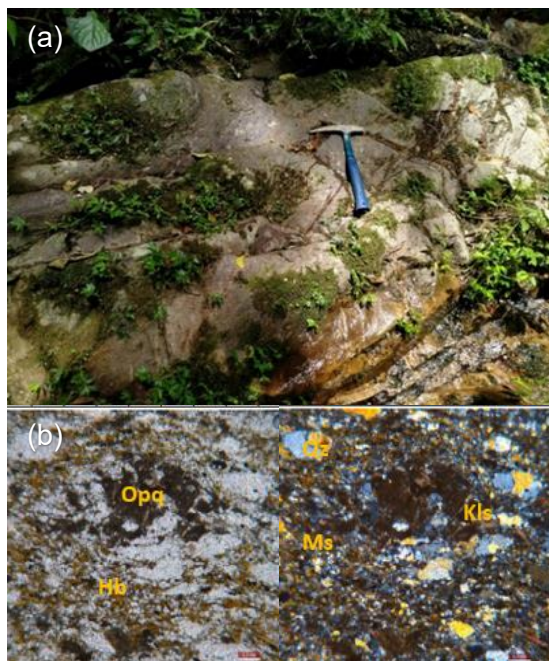
Geologi daerah penelitian Stratigrafi

Stratigrafi daerah Dolok Pangkuruhan tersusun atas 3 satuan batuan dari umur

tua sampai muda yaitu Satuan Filit, Satuan Meta Batupasir, dan Satuan Tufa Lithik.

Satuan Filit dijumpai di Sungai Sembilin, ciri litologi, warna abu-abu tua kehitaman, keputihan, komposisi piroksen, plagioklas, afanitik, berfoliasi lemah (filit), terkekarkan kuat, arah kekar relatif timur laut (N 30 E). Hasil analisis petrografi menunjukkan struktur filitik, tekstur xenoblastik (Gambar 1a dan Gambar 1b).

Penyebaran satuan filit ke arah timur lereng Sungai Sembilin. Sesuai kesamaan litologinya satuan ini disetarakan dengan Satuan Filit Formasi Kluet yang berumur Permo-Karbon (Aldiss, dkk.,1983).

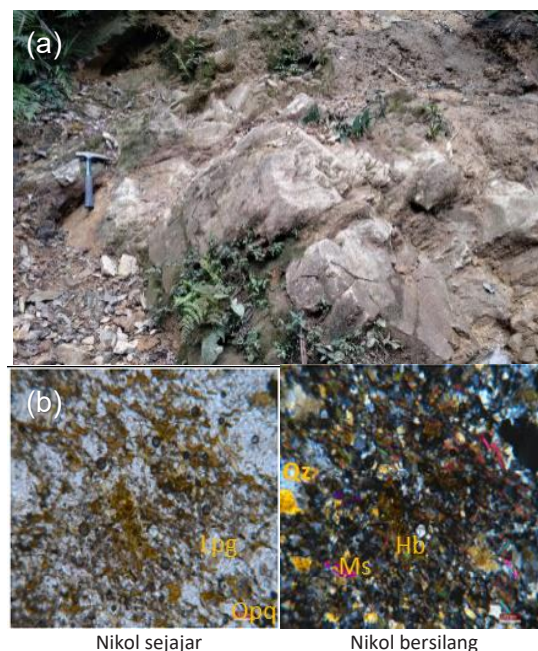


Gambar 1. (a). Filit abu-abu, mengandung piroksen, plagioklas, berfoliasi, filitik, terkekarkan SDK 23M27 R Sungai Sembilin; (b). Fotomikrograf batuan Filit struktur filitik, tekstur xenoblastik, mengandung mineral kuarsa (Qz), muskovit (Ms), horblenda (Hb), Kalsit(Kls) dan opak (Opq)

Satuan Meta Batupasir dijumpai di Sungai Aek Tuba sampai dengan Sungai Aek Sulfi serta sepanjang lereng sungai dan perbukitan menuju Aek Sulfi. Ciri litologi satuan ini kenampakan warna coklat tua kekuningan, pasir-lanau-termetakan,

butiran membundar hingga menyudut tanggung, kompak, terfoliasi sangat lemah, filitik, terkekarkan kuat, teralterasi kuat, serisitik, tersilisifikasi, termineralisasi pirit, sfalerit dan galena yang tersingkap di Sungai Aek Tuba dan Aek Sulfi (Gambar 2a). Penyebaran Meta Batupasir ini juga dijumpai di hulu Sungai Aek Sulfi di bagian timur laut Dolok Pangkuruhan lokasi SDK23M021R (Gambar 2b).

Berdasarkan ciri litologinya satuan Meta Batupasir ini dapat disetarakan dengan Anggota Meta Batupasir - Formasi Kluet yang berumur Permo-Karbon (Aldiss, dkk.,1983). Hubungan Satuan Meta Batupasir dengan Filit diinterpretasikan selaras.



Gambar 2. (a). Meta Batupasir teralterasi, tersilisifikasi, terkekarkan, terfoliasi (SDK23021R); (b). Fotomikrograf Meta Batupasir tekstur klastik berubah filik-silisifikasi mengandung kuarsa (Qz) 47%, muskovit (Ms) 15%, horblenda (Hb) 25%, lempung (Lpg) 5%

Satuan Tufa Litik ini tersingkap di bagian tenggara daerah penyelidikan di hilir sungai Aek Tuba, berwarna kuning keputihan, ukuran butir pasir kasar-kerikil, mengandung fragmen litik batuan, batu apung, tekstur piroklastik, gelas dan tuf. Satuan ini dapat disetarakan dengan

Formasi Tufa Toba yang berumur Plistosen (Aldiss, dkk., 1983). Hubungan satuan batuan ini dengan satuan Filit dan Satuan Meta Batupasir Formasi Kluet adalah menumpang secara tidak selaras di atas Formasi Kluet.

Struktur geologi

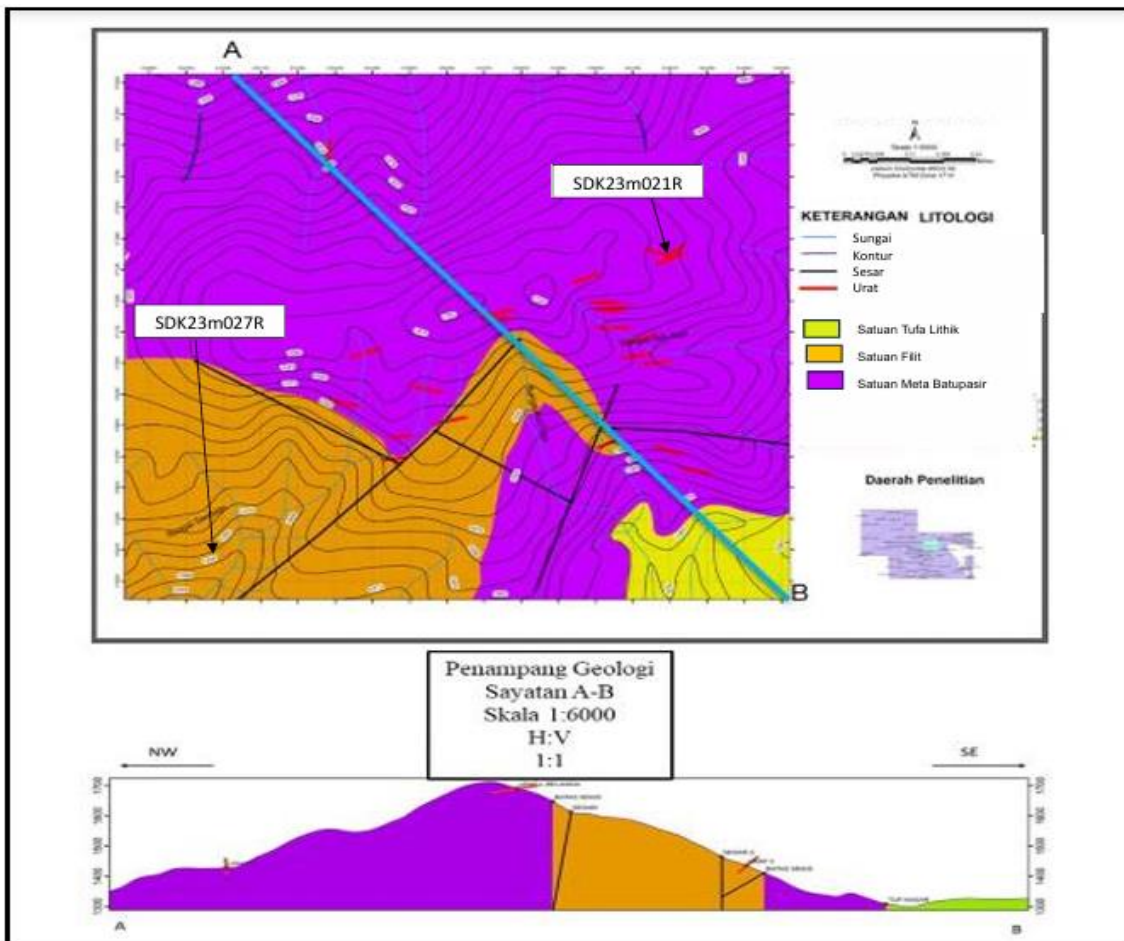
Struktur geologi yang dijumpai berupa zona kekar pada singkapan batuan, bidang rekahan, morfologi gawir sesar dan air terjun serta kelurusan sungai sebagai indikasi adanya sesar di daerah penelitian. Air terjun dengan arah gawir N 70°E dijumpai di hulu Sungai Sembilin. Zona rekahan dijumpai dengan arah umum N 55° E, N 45° E.

Berdasarkan kelurusan morfologi, gawir dan interpretasi dari *Digital Elevation Model* (DEM), maka struktur geologi daerah

penelitian yang berkembang yakni: sesar geser mengiri dengan arah jurus sesar berarah relatif timur laut – barat daya. Sesar geser mengiri ini merupakan sesar utama yang mengeser batas satuan batuan yang ada.

Selain sesar geser mengiri juga dijumpai sesar turun yang berarah relatif barat – timur dan barat laut-tenggara berlokasi di lereng Bukit Dolok Pangkuruhan sebelah utara dan lereng sebelah Selatan.

Struktur geologi tersebut juga menjadi batas zona ubahan batuan, dengan sesar geser mengiri sebagai sesar utama yang menjadi jalan masuk larutan fluida hidrotermal pembawa mineralisasi, sedangkan sesar yang berarah barat-timur mengontrol pembentukan urat-urat kuarsa yang termineralisasi. Peta geologi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Geologi Daerah Bukit Dolok Pangkuruhan, Kecamatan Pegagan Hilir, Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara. (Dzil, dkk, 2023)

Alterasi dan Mineralisasi

Alterasi

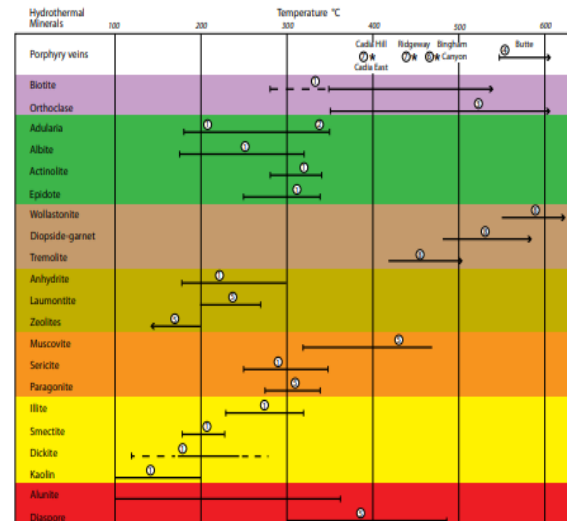
Penentuan jenis alterasi dilakukan sesuai hasil analisis spektral dari 15 sampel batuan teralterasi, dan 9 sampel untuk analisis XRD kuantitatif. Dalam pembahasan alterasi pada tulisan ini dilakukan secara terpilih, yaitu hasil analisis spektral pada sampel SDK23M002R dan SDK23M005R, serta analisis XRD kuantitatif yang dilakukan secara selektif dan terbatas, yaitu antara lain: SDK23M06R, SDK23M15R, dan SDK23M16R, yang mengacu pada klasifikasi alterasi menurut Corbet and Leach (1998). Sedangkan interpretasi dan pembagian temperatur alterasi menurut Reyes (1990), Reyes (1993), White dan Hedenquist (1995) dan Gambar.4. Untuk menentukan paragenesa mineralisasi digunakan interpretasi yang mengacu pada sekwen paragenesa (Putz, et al., 2009).

Berdasarkan gejala alterasi yang diamati dari hasil pemetaan geologi dan alterasi, analisis XRD kuantitatif dan analisis spektral serta didukung hasil analisis petrografi, maka secara umum dapat dibagi atas empat jenis alterasi, yakni: a. Argilik; b. Argilik lanjut; c. Filik - silisifikasi, dan; d. Filik-silisifikasi-pirit.

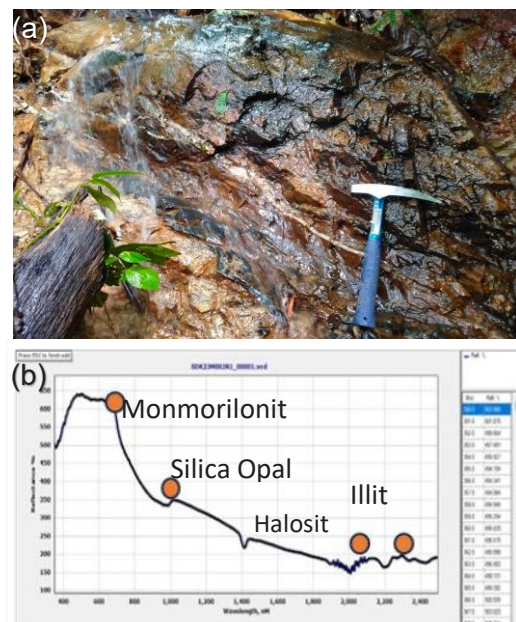
Alterasi argilik (Monmorilonit-halloysit-illit) Alterasi ini dicirikan oleh kehadiran mineral monmorilonit-illit-silika opal berwarna putih-kekuningan, hingga abu-abu, ukuran lempungan yang menggantikan feldspar dan setempat-setempat terdapat pirit yang ditemukan pada batuan meta batupasir di Sungai Aek Tuba (Gambar 5a). Fotomikrograf analisis spektral dari sampel batuan meta batupasir (SDK23M002R) diperoleh mineral: monmorilonit, silika opal, halloysit, illit, smektit (Gambar 5b).

Sebaran ubahan argilik ini mencakup sekitar 15% luas daerah penyelidikan yang meliputi di lembah Sungai Aek Tuba, hulu Sungai Aek Sulfi, Sungai sembilan dan hulu Sungai Sikiring-kiring.

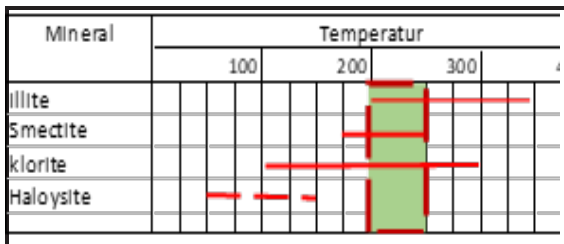
Sesuai hasil analisis spektral dan sebaran mineral ubahannya diinterpretasikan sebagai alterasi tipe argilik pada pH asam. Estimasi temperatur pembentukan mineral alterasinya berkisar 200° s.d 250°C. (Corbet dan Leach, 1998) (Gambar 6).



Gambar 4. Kesebandingan temperatur mineral alterasi hidrotermal, Reyes (1990), Reyes (1993)) dan (White dan Hedenquist (1995)



Gambar 5. a) Meta batupasir, teralterasi argilik dengan mineral: illit, monmorilonit, halloysit, terdapat silisifikasi, teroksidasi di Sungai Aek Tuba; (b). Grafik analisis spektral memperlihatkan monmorilonit, silika opal, halloysit, illit (sampel SDK23M002R)

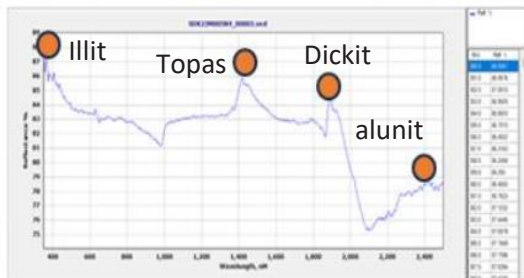


Gambar 6. Kesebandingan mineral dan temperatur pembentukannya pada alterasi argilik

Alterasi argilik lanjut (Dickit, alunit, halloysit)

Alterasi ini dicirikan dengan kehadiran mineral ÷ silika opal, illit, dickit, alunit dan halloysit (SDK23M005R4). Hasil analisis spektral menunjukkan mineral: illit, topas, dickit, alunit. (Gambar 7). Penyebaran alterasi argilik lanjut ini menerus dibagian lereng hulu Sungai Aek Sulfi, dengan kandungan mineral alterasi : silika opal, illit, monmorilonit dan *opal*.

Sebaran alterasi ini mencakup sekitar 5% luas daerah penelitian yang terdapat di daerah tambang bukit Dolok Pangkuruhan dan bagian lereng hulu Sungai Aek Sulfi.



Gambar 7. Grafik analisis spektral mineral illit, topas, dickit, alunit (sampel SDK23005R4)

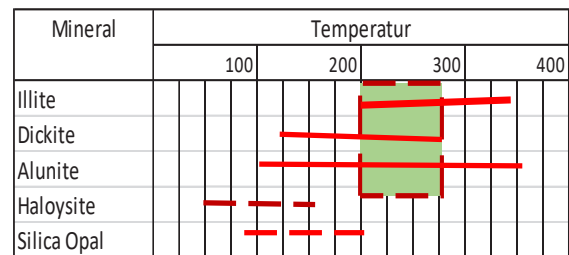
Berdasarkan hasil analisis spektral diinterpretasikan sebagai jenis alterasi argilik lanjut (Corbet dan Leach, 1998). Estimasi temperatur pembentukan mineral alterasinya berkisar 200° s.d. 275°C (Gambar 8).

Alterasi filik-silisifikasi (Kuarsa, muskovit, illit)

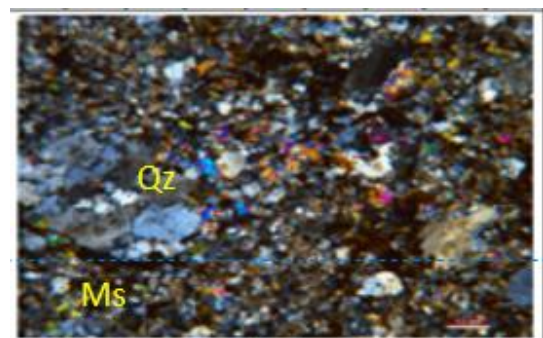
Alterasi ini dicirikan dengan kehadiran mineral kuarsa/silika muskovit, dan illit-serisit, warna putih hingga abu-abu,

kompak tersilisifikasi, pirit hanya spotted. Alterasi ini penyebarannya sekitar 10% luas daerah penelitian di bagian hulu Sungai Aek Tuba dan Sungai Sembilin.

Hasil analisis petrografi dari sampel batuan di hulu Sungai Aek Toba menunjukkan mineral: kuarsa (40%, muskovit (30%), khlorit (20%) (SDK23M15R) lempung (5%) dan opak (7%). Adanya kuarsa dan muskovit mencirikan alterasi filik-silisifikasi (Gambar 9).



Gambar 8. Kesebandingan mineral dan temperatur pembentukannya pada alterasi Argilik Lanjut

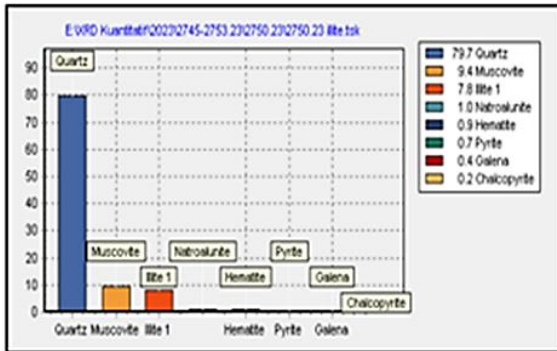


Nikel bersilang

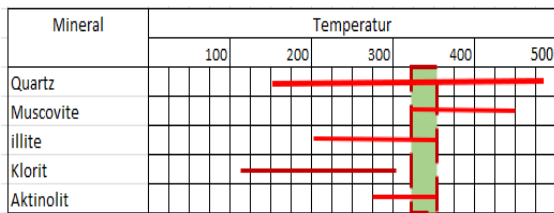
Gambar 9. Fotomikrograf: Meta batupasir kuarsa (sampel SDK23M15R) teralterasi filik dengan mineral ubahan kuarsa (Qz: 56%), muskovit (Ms: 20%), khlorit (Krt: 12%), lempung (5%), opak (Opq)

Hasil analisis XRD kuantitatif dari sampel batuan meta batupasir di Sungai Sembilin diperoleh mineral ubahan : Kuarsa (79%), muskovit(9%), illit (7%) natroalunit (1%) (sampel SDK23M016R, Gambar 10).

Alterasi ini diinterpretasikan sebagai alterasi filik-silisifikasi (Corbet and Leach 1998), dengan temperatur pembentukan alterasi berkisar 320°C s.d. 350 °C. (Gambar 11).



Gambar 10. Diagram hasil analisis XRD kuantitatif menunjukkan mineral kuarsa, muskovit, illit, natroalunit

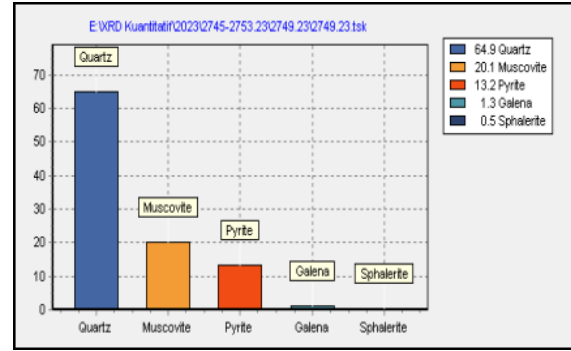


Gambar 11. Kesebandingan mineral alterasi dengan temperatur pembentukan pada alterasi filik-silisifikasi

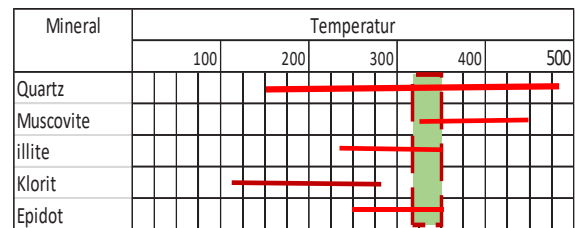
Alterasi filik-silisifikasi-pirit (Serisit, muskovit, kuarsa)

Alterasi ini dicirikan dengan kehadiran mineral serisitik, muscovit, silisifikasi, kuat, warna coklat, kekuningan keputihan, teroksidasi, dengan intensif urat-urat kuarsa, mengandung pirit, termineralisasi. Penyebaran ubahan ini mencakup sekitar 20% daerah penelitian dijumpai pada lubang-lubang tambang daerah Bukit Dolok Pangkuruhan yang meluas pada hulu Sungai Aek Sulfi. Hal ini juga didukung dari analisis petrografi dari batuan meta batupasir Sungai Aek Sulfi dijumpai mineral alterasi kuarsa, muskovit, khlorit, dan epidot. Dari hasil analisis XRD kuantitatif sampel batuan teralterasi (sampel SDK23M006) menunjukkan mineral: kuarsa, muskovit, illit dan pirit. (Gambar 12).

Berdasarkan hasil analisis petrografi, XRD kuantitatif maka jenis alterasi ini diinterpretasikan filik, pada pH relatif netral (Corbet and Leach 1998), dengan estimasi temperatur pembentukannya berkisar 320°C s.d. 350°C. (Gambar 13).



Gambar 12. Diagram analisis XRD kuantitatif menunjukkan mineral: kuarsa, muskovit, illit dan pirit



Gambar 13. Kesebandingan mineral dan temperaturnya pada jenis alterasi filik – silisifikasi

Mineralisasi

Berdasarkan ciri-ciri mineralisasi dari hasil pemetaan zona urat kuarsa termineralisasi dan hasil analisis mineragrafi serta didukung XRD kuantitatif maka karakteristik mineralisasi dapat dibagi menjadi empat zona mineralisasi, yakni:

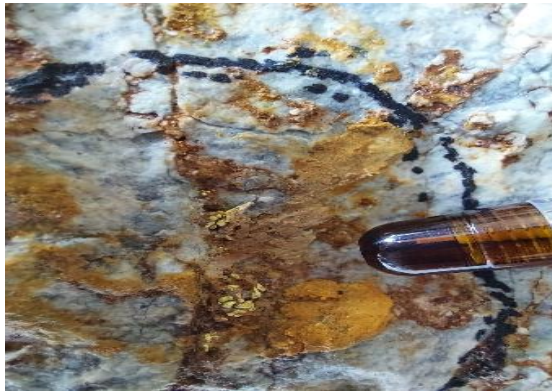
- a. Urat kuarsa termineralisasi Au-Pb
Mineralisasi ini dicirikan adanya urat kuarsa berwarna coklat kemerahan, keputihan, rodokrosit/rodonit kristalin-banded, mengandung galena, sfalerit, pirit. Singkapan berupa urat kuarsa, dengan tekstur kristalin, colloform silisifikasi, teroksidasi (rodokrosit/rodonit), mineral sulfida: galena, sfalerit dan pirit dijumpai pada lubang-lubang Tambang daerah Dolok Pangkuruhan- (Gambar 14).

Pada Bukit Dolok Pangkuruhan juga ditemukan mineralisasi *native gold* pada urat kuarsa dan batuan meta batupasir teralterasi, filik, silisifikasi, singkapan di lubang bekas paritan, tekstur urat kristalin lokasi SDK23M029R. (Gambar 15). Selain itu di lereng timur laut lubang tambang daerah Dolok Pangkuruhan juga dijumpai

mineralisasi urat kuarsa, mengandung kalkopirit, teroksidasi, pada lokasi SDK23M023R (Gambar 16).

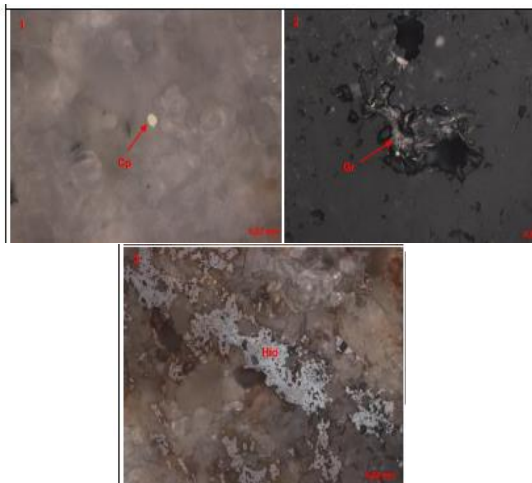


Gambar 14. Singkapan urat kuarsa, coklat keputihan, rodokrosit, kristalin-banded, galena / sfalerit, pirit (lokasi SDK23M004R)



SDK23M029R

Gambar 15. *Native Gold* mengisi rekahan urat kuarsa diperoleh dari Lubang bekas paritan tambang di Bukit Dolok Pangkuruhan (lokasi SDK 23 M029R)



Gambar 16. Fotomikrograf mineragrafi kalkopirit (Cp), grafit (Gr) dan hydrous oksida besi (Hio), pada urat kuarsa,

rodokrosit pada meta batupasir teralterasi silisifikasi, (sampel SDK23M023R) di lereng timur laut Bukit Dolok Pangkuruhan.

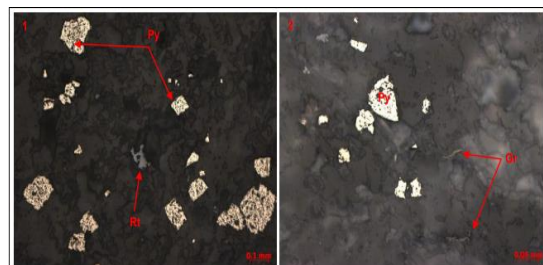
b. Urat kuarsa, silisifikasi termineralisasi (Zn, Pb-Cu)

Mineralisasi ini dicirikan adanya urat kuarsa, putih abu-abu kecoklatan, silisifikasi, masif, teroksidasi, mengandung pirit, galena, dan sfalerit dijumpai di sepanjang hulu Sungai Aek Sulfi dan lubang-lubang lereng Aek Sulfi. Hasil analisis mineragrafi dari sampel urat kuarsa di hulu Sungai Aek Sulfi (SDK 23 M007R, menunjukkan mineralisasi sfalerit, galena, pirit tersebar. (Gambar 17).

Mineralisasi sfalerit-pirit ini menerus pada beberapa singkapan batuan meta batupasir teralterasi filik-pirit/ arsenopirit di Sungai Aek Sulfi dan juga pada lereng-lereng bukit Aek Sulfi, yang dijumpai batuan meta batupasir, serisitik, filik, silisifikasi urat kuarsa, struktur *cavity filling*, kristalin, tebal 10 cm s.d. 14 cm, galena, sfalerit, dan pirit.



(a) SDK23M007R

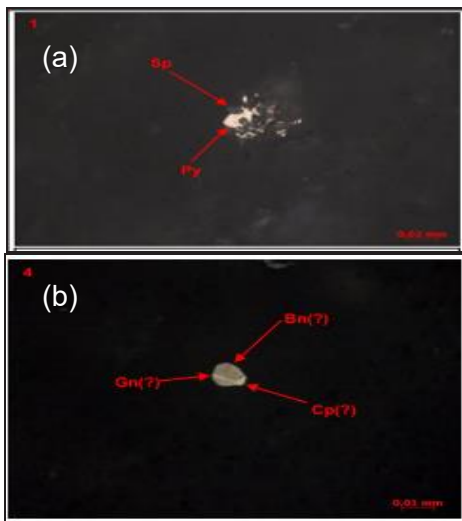


(b)

Gambar 17. (a). Singkapan meta batupasir, coklat tua, kemerahan, filik, silisifikasi, terkekarkan, urat kuarsa masif, sfalerit, pirit tersebar. (b) Fotomikrograf rutil (Rt) dan pirit (Py) dan grafit (Gr) tersebar (sampel SDK23 M007R2)

Selain itu pada hulu anak cabang Sungai Aek Sulfi dijumpai mineralisasi pada urat kuarsa tersilisifikasi, kalkopirit, pirit pada lokasi SDK23M20R2.

c. Urat kuarsa silisifikasi-sfalerit/galena Mineralisasi ini dicirikan berupa urat kuarsa teralterasi serisitik (filik), tersilisifikasi kompak, masif, termineralisasi galena /sfalerit, dan *spotted* pirit. Singkapan urat kuarsa ini dijumpai di hulu Sungai Aek Tuba dan Sungai Sembilin dengan ciri adanya urat kuarsa, kompak, masif, mengandung pirit dan hematit. Hasil analisis mineragrafi diperoleh pirit, sfalerit, kalkopirit, galena, dan bornit (sampel SDK23M016R2) (Gambar 18).



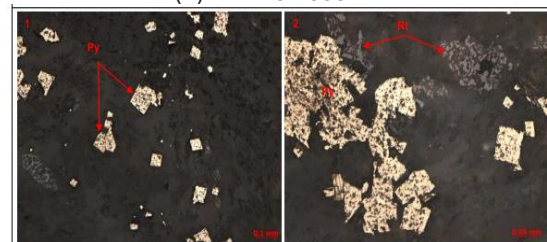
Gambar 18. (a).Fotomikrograf pirit (Py) dan sfalerit (Sp), (b) fotomikrograf kalkopirit (Cp), galena (Gal) dan bornit Bn), pada urat kuarsa silisifikasi hulu Sungai Sembilin (sampel SDK23M016R2).

d.Mineralisasi urat kuarsa kalkopirit-pirit Mineralisasi ini dijumpai di hulu Sungai Sikiring-kiring pada singkapan meta batupasir, teralterasi filik silisifikasi, coklat keabu-abuan kehijauan, kebiruan, silisifikasi, banyak pirit mengisi rekahan bersamaan dengan urat halus kuarsa, dengan mineralisasi sfalerit, galena, kalkopirit-bornit, dan pirit. Hasil analisis mineragrafi menunjukkan adanya pirit dan sfalerit yang sangat halus (Gambar 19).

Peta alterasi dan mineralisasi daerah penelitian disajikan pada Gambar 20.



(a) SDK23M033R1



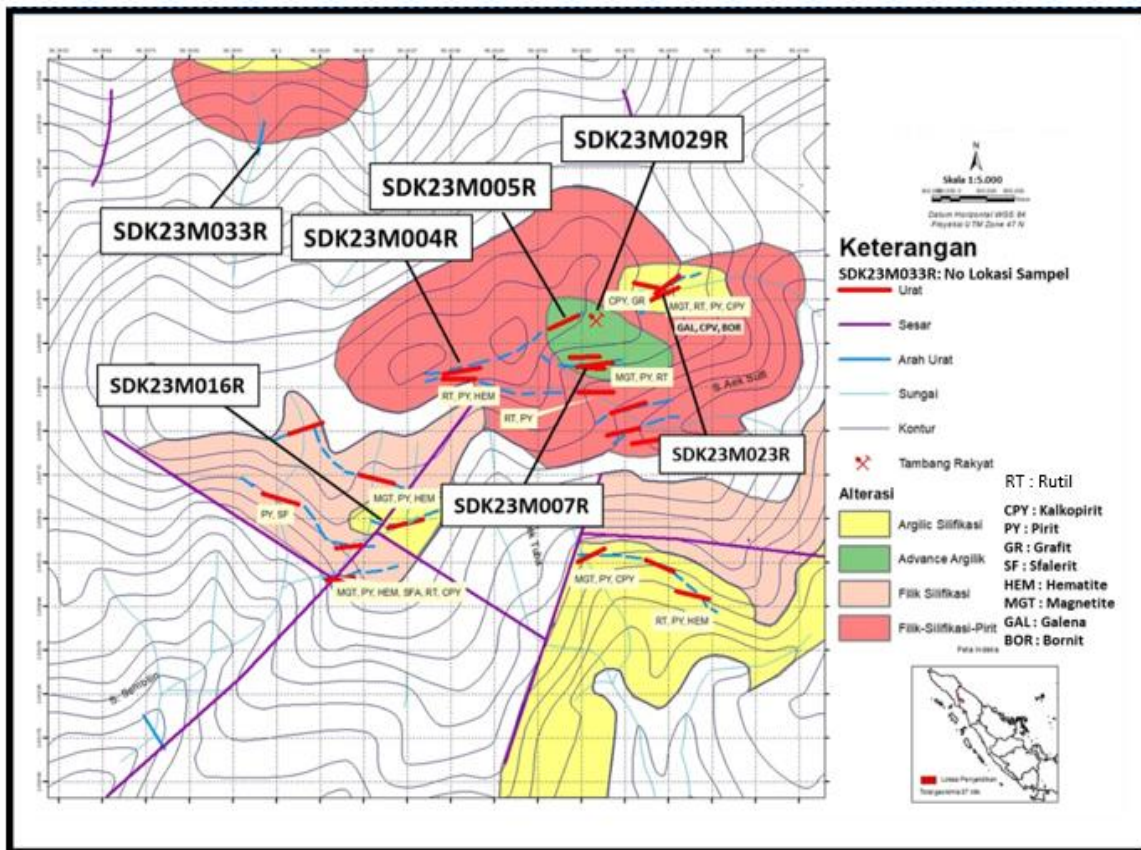
(b) SDK23033R2

Gambar 19. a. Urat kuarsa termineralisasi kalkopirit, bornit-pirit (warna kebiruan)-piritik di hulu Sungai Sikiring-kiring; b. Fotomikrograf mineragrafi pirit tersebar dan pirit euhedral-anhedral.

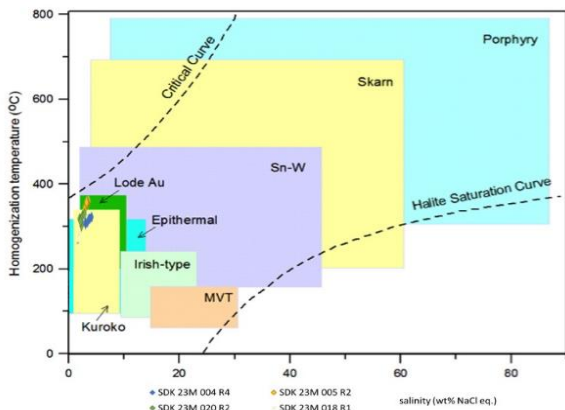
Berdasarkan fotomikrograf hasil analisis mineragrafi pada sampel SDK23M023R dan SDK23M007R, dengan adanya mineral grafit, rutil yang hadir bersamaan dengan mineral sulfida (kalkopirit dan pirit), yang diinterpretasikan hidrotermal alterasi terbentuk setelah fase sistem metamorfosa dan grafit terbentuk sebagai katalis dari zona kekar *shear zone* yang diendapkan bersamaan dengan fluida hidrotermal, serpihan grafit yang tersebar diduga berasal dari foliasi yang mengendap pada fase fluida hidrotermal (Bartels, 1994, Baden 2016). Paragenesa mineralisasi ini dapat dijelaskan pada Gambar 22 a.

Tipe Endapan

Berdasarkan pengeplotan hasil analisis inklusi fluida terhadap nilai temperatur (Th) dan salinitas (Tm) (Wilkinson, 2001), maka dapat diperoleh temperatur pembentukan mineralisasi di daerah ini berkisar 250°C s.d. 346°C yang diinterpretasikan merupakan tipe endapan *epithermal-lode Au* (Gambar 21).



Gambar 20. Peta alterasi dan mineralisasi daerah Dolok Pangkuruhan, Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara (Dzil, dkk., 2023)



Gambar 21. Interpretasi tipe endapan hasil analisis inklusi fluida temperatur (Th) dan salinitas (Tm) menunjukkan endapan epithermal-lode Au (Wilkinson, 2001)

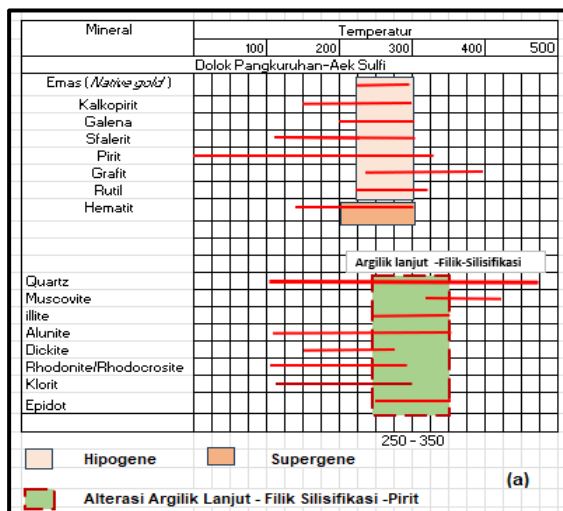
Paragenesa mineralisasi

Interpretasi paragenesa mineralisasi bijih berdasarkan data alterasi dan mineralisasi, yang ditunjang, hasil analisis minegrafi (*native gold*), XRD kuantitatif dan spectral. Untuk memperoleh gambaran paragenesa,

data-data tersebut dipadukan dengan tabel sequen paragenesa (Putz, et al., 2009) dan kesebandingan temperatur pembentukan mineral menurut Reyes and Giggenbach (1993), Morishon (1995), White and Hedenquist (1995), Zhu, et al., (2011), Baden, (2016). Berdasarkan kehadiran emas berupa *native gold* dan inklusi dalam pirit, dapat diinterpretasikan bahwa emas terbentuk lebih dahulu daripada pirit, seperti yang ditemukan di Bukit Dolok Pangkuruhan (lokasi SDK23M029R). Hasil analisis minegrafi sampel SDK23M23R, yang berasal dari hulu sungai Aek Sulfi menunjukkan kalkopirit hadir bersamaan dengan pengendapan grafit dan pirit sangat halus atau *trace*. Hasil analisis mineragrafi dari daerah lubang Belanda Dolok Pangkuruhan (sampel SDK23M004R), menunjukkan kalkopirit hadir bersamaan dengan pirit dan galena. Sedangkan pada sampel dari lokasi tambang (SDK23M005R) sfalerit hadir bersamaan dengan pirit. Berdasarkan

evaluasi data tersebut pada akhirnya diperoleh diagram paragenesa yang tersaji pada Gambar 22 a.

Hasil pembahasan mineralisasi dan alterasi di daerah hulu Sungai Aek Sulfi terbentuk zona mineralisasi Zn-Pb-Cu, dimana galena hadir bersamaan dengan sfalerit, pirit/arsenopirit dan rutil (sampel SDK23007R). Mineralisasi ini berkembang pada zona alterasi argilik lanjut dan filik - silisifikasi-pirit.



Asosiasi Mineralogi/ Tipe Urat	Hipogene		Supergene
	Au-(Pb)	Zn-Pb-Cu	
Mineral asosiasi			
	Urat Kuarsa-pirit-Rhodrosite	Urat Kuarsa-pirit (sulfida) urat Sflerit, galena, pirit	
Tipe Alterasi	Argilik lanjut - Filik Silisifikasi	Argilik Silisifikasi-Filik-Silisifikasi	
	Kuarsa, muscovit, Alunite, illite	Kuarsa, muscovit, illite, halosite, monmorilonite	
Tipe Pirit	Urat Kuarsa-pirit-Rhodrosite	Urat Kuarsa-pirit (sulfida) urat Sflerit, galena, pirit	
Tipe Oksidasi			Hematit Goethite Malakit
Urat Tipe Logam Dasar	Kalkopirit Galena Sfalerit electrum		

Gambar 22. (a) Sekwen paragenesa dan kesebandingan temperatur hidrotermal alterasi dan mineralisasi daerah Dolok Pangkuruhan (Putz, et al., 2009; Reyes, 1990, Morinshon,1995; Zhu, et al., 2011 dan Baden, 2016). B. Sekwen paragenesa mineralisasi urat polimetalik, berdasarkan mineralogi, tipe urat dan genesanya (hypogene-supergene) (modifikasi dari Lee,et al., 2020).

Berdasarkan sekwen paragenesa mineral menurut Baden (2016), dengan adanya mineral grafit dan rutil yang hadir bersamaan dengan mineral sulfida (kalkopirit dan pirit), diinterpretasikan alterasi hidrotermal terbentuk setelah fase sistem metamorfosa. grafit dapat terbentuk sebagai katalis dari zona kekar *shear zone* yang diendapkan bersamaan dengan fluida hidrotermal. Serpihan grafit tersebar diduga berasal dari foliasi yang mengendap pada fase fluida hidrothermal (Bartels, 1994, Baden 2016).

Sekwen paragenesa mineralisasi daerah penelitian, diinterpretasikan sebagai tipe endapan urat polimetalik (*epithermal-mesothermal*), dengan temperatur pembentukan 230°C s.d. 350°C dan diduga sebagai endapan polimetalik tipe urat *epithermal high sulfidation* yang ditandai munculnya dominan kalkopirit-galena-sfalerit-kalkopirit(*trace*) (Zn-Pb-Cu) hadir bersamaan dengan pirit. Urat polimetalik logam dasar Zn-Pb muncul terutama di dalam dan di sepanjang urat pirit-kuarsa dengan arah barat-timur yang mempunyai tekstur *banded, massive* pada metabatupasir terkekarkan kuat dengan pirit tersebar pada sampel SDK23M007R dan SDK23M008R). Di Lubang Belanda daerah Dolok Pangkuruhan emas (*native gold*) hadir bersamaan dengan pirit, tekstur urat kuarsa berupa *coliform*, kristalin, dan *banded*, setempat emas berasosiasi dengan galena dan rodokrosit (Au-(Pb)) . Gambaran sekwen paragenesa tersebut dapat dilihat pada Gambar 22 b.

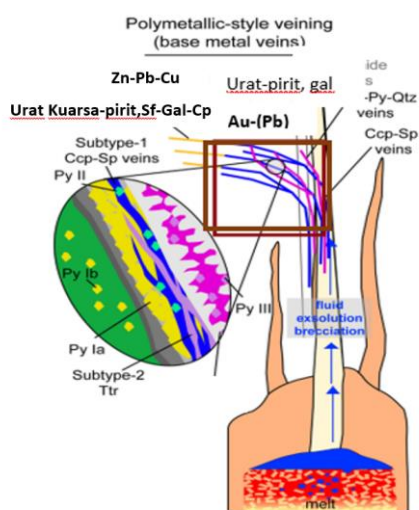
Model Tipe Endapan

Berdasarkan pembahasan sekwen paragenesa, mineral asosiasi, tipe urat, tipe pirit, tipe urat logam dasar serta temperatur kesebandingan mineral bijih dan inklusi fluida dan paragenesa mineralisasi di daerah Dolok Pangkuruhan, maka model endapan daerah penelitian merupakan endapan polimetalik epitermal dengan temperatur pembentukan 250°C s.d. 346°C . Di daerah Sungai Aek Sulfi, urat polimetalik logam dasar (Zn-Pb-Cu) muncul terutama di dalam dan di sepanjang urat pirit-kuarsa, sfalerit, galena,

kalkopirit dengan arah barat-timur, urat kuarsa tekstur *banded*, *massive* pada meta batupasir terkekarkan kuat, pirit tersebar.

Emas (*native gold*) hadir bersamaan dengan pirit, dan beberapa tekstur urat kuarsa berbentuk *colloform*, kristalin, *banded* di daerah Dolok Pangkuruhan, serta setempat emas berasosiasi dengan galena, rodokrosit (Au-(Pb)) di lubang Belanda Dolok Pangkuruhan.

Berdasarkan sekwen paragenesa pada gambar 22 a dan gambar 22 b, diinterpretasikan terdapat 4 fase mineralisasi, yakni: a. Fase pra-mineralisasi, pengendapan kuarsa dalam celah (300°C s.d. 350°C); b. Fase pengendapan kuarsa-pirit, dan dimulainya pengendapan *native gold* (300°C); c. Fase pengendapan kuarsa-pirit-kalkopirit-bornit-galena-sfalerit dan *native gold* (260°C); d. Fase pengendapan kuarsa-pirit-sfalerit-kalkopirit-galena. Model endapan diinterpretasikan sebagai endapan polimetalik emas (Au-Pb) dan logam dasar (Zn-Pb-Cu) tipe urat *epithermal high sulfidation (HS)* - *intermediet sulfidation (IS)* (Lee et al., 2020), yang ditandai dengan hadirnya *native gold* dan mineral sulfida sfalerit, galena dan kalkopirit serta bornit (Gambar 23).



Gambar 23. Model endapan polimetalik tipe urat emas dan logam dasar daerah Dolok Pangkuruhan (modifikasi dari Lee, et al., 2020).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan alterasi dan mineralisasi serta paragenesanya, dapat disimpulkan bahwa karakteristik mineralisasi yang berkembang terdiri dari tipe urat polimetalik emas (Au-Pb) dan tipe urat logam dasar (Zn-Pb-Cu), dengan ciri adanya *native gold* dan galena, sfalerit serta kalkopirit dan bornit yang mempunyai tekstur *banded*, *colloform* dan *massive*. Mineralisasi ini berkembang pada zona alterasi argilik lanjut-filik silisifikasi-pirit. Adapun model endapannya termasuk endapan polimetalik emas (Au-Pb) dan logam dasar (Zn-Pb-Cu) tipe urat *epithermal high sulfidation (HS)* - *intermediet sulfidation (IS)*.

UCAPKAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada Tim Kerja Keprospekan dan Evaluasi Sumber Daya dan Cadangan Mineral di Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi yang telah meluangkan waktu untuk diskusi dalam penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldiss, D.T., Whandoyo, R., 1983, Peta Geologi Lembar Sidikalang dan (Sebagian) Sinabang Sumatra, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Bartels, K. S., 1994, Graphite and C-O-H fluids in metabasites from the Continental Deep Drilling Program, Germany (KTB), paper presented at VIth International Symposium on the Observation of the Continental Crust through Drilling, Santa F6, N.M., April 25-30, 1994.
- Baden, K., 2016, Paleoproterozoic hydrothermal graphite-sulfide+gold mineralization from the Tasiilaq area, South-East Greenland. Denmark.
- Corbett and Leach, T.M., 1998, Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization, Society of Economic Geologists, <https://doi.org/10.5382/SP.06>

- Dzil, M.A, Nursahan, I., Andhi, 2023, Laporan Penyelidikan Geologi, Geokimia dan Geofisika Logam Mulia Kecamatan Pegagan Hilir, Kabupaten Dairi, PSDMBP-Badan Geologi, Bandung.
- Hatta, M.H., Dzil, M. A dan Rudy, G., 2017, Laporan Penyelidikan Logam Mulia Logam dasar Kecamatan Pegagan Hilir, Kabupaten Dairi, PSDMBP-Badan geologi, Bandung.
- Herald Resources Ltd,1998, *The Dairi Zinc-Lead Project, North Sumatra, Indonesia*, PT Dairi Prima Mineral, North Sumatra Province.
- Lee, A, Alexander, P. Gysi, Nicole, C. H., Thomas, M, Katharina, P.,, 2020, Porphyry-related polymetallic Au-Ag vein deposit in the Central City district, Colorado: Mineral paragenesis and pyrite trace element chemistry, *Ore Geology Reviews* Volume 119, April 2020, 103295;
- Lydon, J.W., 1996, Sedimentary Exhalative Sulphides (Sedex); in *Geology of Canadian Mineral Deposit Types, Geology of Canada, Vol 8 Geological Survey of Canada*.
- Morrison, K. 1995. Magmatic-related Hydrothermal System. Australia: Short Course Manual.
- Putz, H., Paar W.H., and Topa, D., 2009, A Contribution to The Knowledge Of The Mineralization At Mina apillitas, Catamarca, https://www.researchgate.net/publication/262544084_Aportes_alc_onocimiento_de_la_mineralizacion_de_mina_Capillitas_Catamarca/
- Reyes, A.G. 1990. Petrology of Philippine Geothermal System and the Application of Alteration Mineralogy to Their Assesment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v.43.
- Reyes, A.G. 1990a. Petrology of Philippines geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 43.
- Reyes, A.G. 1990b. Mineralogy, distribution and origin of acid alteration in Philippine geothermal systems, in *Third symposium on deep-crust fluids*. 15-16 October 1990, Tsukuba, Japan, extended abstracts: Tsukuba, Geological Survey of Japan.
- Reyes, A.G., Giggenbach, W.F., Saleros, J.D.M., Salonga, N.D., dan Vergara, M.C. 1993. Petrology and geochemistry of Alto Peak, a vapour-cored hydrothermal system, Lyete Province, Philippines, in Sussman, D., Ruaya, J.R., Reyes, A.G., and Hedenquist, J.W., eds., *Geothermal systems of the Philippines: Geothermics*, v. 22.
- White, N.C., Hedenquist, W. 1995. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration. *SEG Newsletter* No. 23.
- Wilkinson, J.J. (2001). Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, v.55, pp.229–272.
- Zhu, Y.F., An, F., Tan, J., (2011). Geochemistry of hydrothermal gold deposits: Areview: *Geoscience Frontiers*. Vol. 2, Issue 3 p. 367–374.

Diterima : 5 April 2024
 Direvisi : 24 April 2024
 Disetujui : 31 Mei 2024