

PENENTUAN ZONASI POTENSI MINERAL LOGAM DI DAIRI SUMATRA UTARA BERDASARKAN DATA GEOSAINS TERINTEGRASI

DETERMINATION OF THE POTENTIAL ZONING OF METALLIC MINERALS IN DAIRI NORTH SUMATRA BASED ON INTEGRATED GEOSCIENCE

Nazirah Saina¹, Dzil Mulki Heditama², Iwan Nursahan², dan Prihadi Sumintadireja¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB, Indonesia

²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Indonesia

Email korespondensi: nazirahsaina1@gmail.com

Diterima: 10 Desember 2024; Direvisi: 14 Maret 2025; Disetujui: 29 Agustus 2025

DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i2.527>

ABSTRAK

Berdasarkan hasil penyelidikan PSDMBP sebelumnya, daerah Bukit Dolok Pangkuruhan Kabupaten Dairi memiliki prospek kandungan emas dan mineral logam lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik mineralisasi dan alterasi, serta menentukan zona potensi mineral logam dengan integrasi data geologi, geokimia dan geofisika. Metode analisis pada penelitian ini mencakup petrografi, mineragrafi, *X-ray Diffraction* (XRD), *Portable Infrared Mineral Analyzer* (PIMA), geokimia statistik, serta geolistrik *Induced Polarization* (IP) dan *Resistivity*. Hasil penelitian menunjukkan tiga satuan litologi utama yaitu satuan filit, satuan batupasir metasedimen dan satuan tufa. Tipe alterasi pada daerah penelitian meliputi alterasi argilik (*illite-halloysite-kaolinite*), argilik-propilitik (*illite-intchlorite*), filik (*quartz-phyrite-chlorite*) dan filik-silikifikasi (*quartz-muscovite-illite*).

Hasil interpretasi melalui integrasi data geologi, geokimia dan geofisika dapat diidentifikasi zona potensi mineral logam pada bawah permukaan dari 6 lintasan terdapat pada lintasan 5 zona prospek (Zn-Pb-Ag) dan lintasan 8 zona prospek (Au-Pb) dengan masing-masing lintasan memiliki nilai *chargeability* tinggi (107-190 msec) sedangkan nilai *resistivity* sedang-tinggi (100-31623 ohm.m). Kadar unsur Zn memiliki nilai tertinggi yaitu (11000 ppm), kadar unsur Pb sebesar (2324-4753 ppm), kadar unsur Au sebesar (1525-3 ppm) dan kadar unsur Ag memiliki nilai yang terkecil yaitu (10-25 ppm).

Kata kunci: Alterasi, potensi mineral logam, geofisika IP, Dairi Sumatra Utara

ABSTRACT

Based on previous investigations by PSDMBP The Dolok Pangkuruhan area in Dairi Regency is known to have prospects for gold and other metal minerals deposits. This study aims to analyze the characteristics of mineralization and alteration, as well as to determine the potential zones of metal minerals through the integration of geological, geochemical, and geophysical data. The analytical methods used in this study include petrography,

mineragraphy, X-ray Diffraction (XRD), Portable Infrared Mineral Analyzer (PIMA), statistical geochemistry, and geoelectric methods, specifically Induced Polarization (IP) and Resistivity.

The results show three main lithological formations: phyllite, metasedimentary sandstone, and tuff. The types of alteration identified in the study area include argillic (illite-halloysite-kaolinite), argillic-propylitic (illite-intchlorite), phyllic (quartz-pyrite-chlorite), and phyllic-silicified (quartz-muscovite-illite). Based on the integration of geological, geochemical, and geophysical data, the potential metal mineral zones were identified in the subsurface six lines, specifically at line 5 prospect zone (Zn-Pb-Ag) and line 8 prospect zone (Au-Pb). Each line exhibits high chargeability values (100-190 ms) and moderate to high resistivity values (100-31623 ohm.m). The element concentration with the highest value of Zn is (11000 ppm), Pb ranges from (2324-4753 ppm), Au concentrations range from (1525-3 ppm) and Ag concentrations are the smallest, ranging from (10-25 ppm).

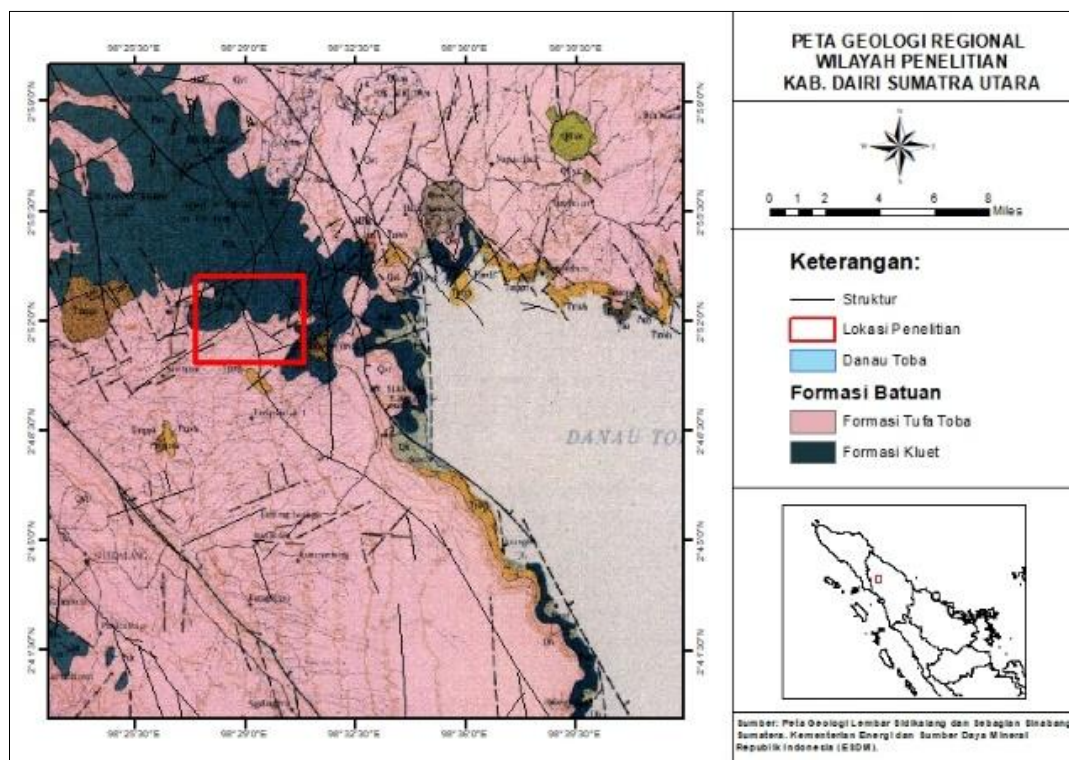
Keywords: *Alteration, metal mineral potential, IP geophysics, Dairi North Sumatra*

PENDAHULUAN

Kabupaten Dairi, Sumatra Utara, merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi sumber daya mineral seperti emas dan logam dasar, sehingga menjadi wilayah yang menarik untuk dilakukan penelitian potensi mineral logam. Dalam survey tinjau di Sumatra Utara pada pertengahan tahun 1990-an ditemukan Endapan Dairi yang dicirikan sebagian bijih sulfida masif yang terbentuk secara stratiform dalam batuan karbonat serta serpih karbonat dari zaman karbon bawah. Penemuan Endapan Dairi Zn, Pb dan Ag di Sumatra Utara dengan wilayah yang didominasi oleh batuan vulkanik dari periode Mesozoikum dan Kenozoikum yang menguntungkan untuk eksplorasi endapan epitermal dan porfiri yang menjadi tanda penting dalam eksplorasi endapan mineral logam (Crow dan van Leeuwen, 2005). Studi terdahulu telah membuktikan bahwa adanya cadangan mineral logam yang besar berkat penemuan endapan SEDEX di Dairi dengan estimasi cadangan di atas rata-rata global yaitu dari 17,9 juta ton bijih mengandung 12.6% berat Zn dan 7,3% berat Pb (Rivai dkk., 2020). Berdasarkan hasil eksplorasi umum yang dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi (Hatta dkk., 2017), ditemukan daerah prospek

mineralisasi emas dan logam dasar di daerah Bukit Dolok Pangkuruhan Desa Kuta Usang. Dari eksplorasi tersebut diketahui ubahan hidrotermal yang berkembang adalah ubahan filik (illit-serisit), filik-pirit (illit-serisit-pirit) dan yang terakhir argilik. Mineralisasi yang berkembang adalah pirit-sfalerit-kalkopirit. Mineralisasi logam dasar dan emas pada daerah penelitian berasosiasi dengan urat kuarsa yang terbagi menjadi tiga jenis urat yaitu urat kuarsa teroksidasi, urat kuarsa kalsedonik pirit-rodokosit dan urat kuarsa masif sejajar foliasi. Urat-urat kuarsa tersebut relatif berarah barat-timur, sedangkan urat sejajar foliasi relatif berarah utara-selatan.

Kabupaten Dairi didominasi oleh dataran tinggi dan wilayah berbukit dengan kemiringan yang bervariasi. Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Sidikalang dan sebagian Sinabang (Aldiss dkk., 2011) wilayah ini terdiri dari beberapa satuan batuan berumur Paleozoik–Kuartar serta proses merupakan hasil dari aktivitas vulkanik dan metamorfisme. Secara stratigrafi wilayah penelitian tersusun atas dua satuan batuan utama, yang diurutkan dari tertua ke termuda yaitu Formasi Kluet dan Formasi Tufa Toba.



Gambar 1. Peta Geologi Regional Wilayah Penelitian Lembar Sidikalang dan Sebagian Sinabang (Aldiss dkk., 2011)

Formasi Kluet berumur Karbon Akhir-Permian Awal tersusun atas arenit metakuarsa, metawake, serpih, filit, metabatugamping dan batusabak. Formasi Tufa Toba berumur Pleistosen terdiri atas endapan tufa riodasit. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi zona prospek sebaran mineral logam berharga seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), perak (Ag) dan emas (Au) di daerah Bukit Dolok Pangkuruhan Desa Kuta Usang melalui integrasi data geologi, geokimia dan geofisika metode Induced Polarization (IP) untuk memperoleh pemahaman yang lebih rinci mengenai distribusi mineralisasi dan potensi mineralisasi. Metode IP efektif dalam mendeteksi zona yang memiliki mineralisasi sulfida yang kaya akan silika sehingga dapat membantu untuk mengidentifikasi zona prospektif dengan efisiensi eksplorasi.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan kombinasi data sekunder dan data primer. Data

sekunder diperoleh dari studi terdahulu mencakup data geologi, geokimia dan geofisika, sedangkan data primer berasal dari analisis laboratorium menggunakan alat PIMA untuk mengidentifikasi mineral alterasi. Metode geologi dilakukan untuk melokalisir daerah prospek zona alterasi dan mineralisasi dengan berupa data yang mencakup pengamatan secara geomorfologi, stratigrafi, deskripsi batuan dan struktur geologi. Metode geokimia yaitu pengambilan sampel batuan terutama pada batuan yang terubah atau termineralisasi baik berupa float maupun singkapan dengan metode *grab* dan *channeling* bertujuan untuk melihat kemenerusan jalur mineralisasi utama yang ada di zona urat kuarsa dan sampel ini akan digunakan untuk analisis laboratorium. Metode ini membantu mengidentifikasi zona mineralisasi yang kaya akan unsur logam tertentu. Zona yang memiliki konsentrasi logam yang tinggi bisa menjadi target untuk pemboran atau eksplorasi lebih lanjut, karena hal tersebut bisa menunjukkan potensi endapan mineral yang ekonomis. Metode geolistrik IP menggunakan

konfigurasi Dipol-dipol dengan jarak elektroda yaitu 10 meter, sebanyak 6 lintasan sepanjang 840 m berarah utara-selatan. Arah lintasan diatur berarah utara-selatan agar dapat memotong daerah struktur yang berarah barat daya yang diduga menjadi pengontrol mineralisasi.

Analisis laboratorium yang dilakukan antara lain yaitu berupa analisis petrografi, mineragrafi, *X-ray diffraction* (XRD) kuantitatif dan PIMA (*Portable Infrared Mineral Analyzer*). Analisis petrografi untuk mengidentifikasi komposisi mineral yang menyusun suatu batuan, dari analisis tersebut maka dapat memberi penamaan batuan berdasarkan mineral-mineral penyusunnya. Analisis ini dapat membantu mengidentifikasi mineral ubahan yang terkait proses hidrotermal. Informasi mengenai jumlah dan analisis sampel yang digunakan untuk penentuan litologi dan alterasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah dan jenis sampel yang dianalisis pada penelitian

No	Jenis Analisis	Jumlah Sampel	Keterangan
1	XRD Kuantitatif	8	Batuan teralterasi
2	PIMA	14	Mineral ubahan dari spektrum inframerah
3	Petrografi	3	Data penunjang alterasi
4	Mineragrafi	41	Data penunjang alterasi

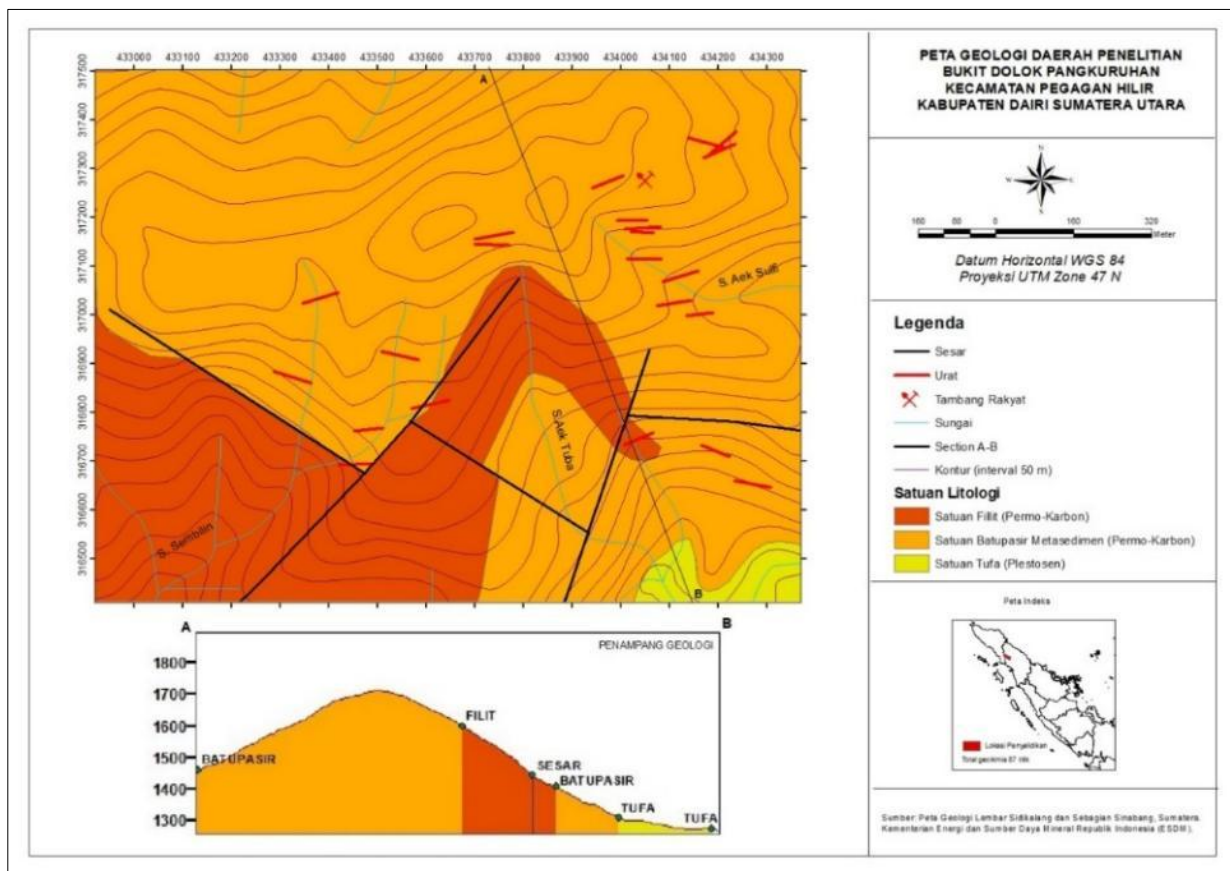
Analisis mineragrafi dilakukan untuk mengetahui kandungan variasi mineral logam pada suatu sampel batuan dari daerah penelitian. Analisis *X-ray diffraction* (XRD) dapat memberikan informasi mengenai struktur kristal mineral, sehingga efektif untuk mengetahui fase mineral alterasi yang terbentuk akibat proses hidrotermal. Analisis spektra PIMA (*Portable Infrared Mineral Analyzer*) menggunakan radiasi inframerah untuk

mengidentifikasi komposisi mineral ubahan, khususnya mineral lempung seperti illit, kaolinit dan klorit yang umum dijumpai pada zona alterasi.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Berdasarkan (Nursahan dkk., 2024) daerah penelitian diklasifikasikan menjadi tiga satuan litologi, yaitu Satuan Filit, Satuan Batupasir Metasedimen, dan Satuan Tufa. Ketiga satuan litologi tersebut tersusun secara berurutan berdasarkan umur, mulai dari yang tertua hingga termuda sebagaimana yang ditunjukkan pada (Gambar 2). Satuan filit ditemukan berada di area Sungai Sembilin dengan ciri-ciri litologi yaitu berwarna abu-abu gelap hingga putih, mengandung mineral piroksen dan plagioklas, tekstur afanitik, struktur foliasi lemah dan terdapat kekar dengan arah realtif ke timur laut (N30°E).

Berdasarkan hasil analisis petrografi mengidentifikasi tekstur xenoblastik dan struktur filitik pada singkapan batuan (Gambar 3. A dan Gambar 3.B). Formasi Kluet sebagai satuan batuan tertua di daerah penelitian dengan ciri litologi yang tersusun oleh batupasir metakuarsa, batusabak, filit dan metawacke Berdasarkan litologinya, satuan ini dapat dihubungkan dengan Formasi Kluet berumur Permo-Karbon (Aldiss dkk, 2011). Satuan batupasir metasedimen mulai dari Sungai Aek Tuba – Sungai Aek Sulfi dan di sepanjang lereng sungai dan bukit-bukit menuju Sungai Aek Sulfi. Ciri litologi warna dominan coklat gelap kekuningan, butiran pasir membulat – menyudut, berfoliasi lemah. Kekar dengan ubahan yang ditandai serisitik, silifikasi, serta mineralisasi pirit, sfalerit, dan galena yang tersingkap pada batupasir metasedimen (Gambar 4. A). Penyebaran batupasir metasedimen ini juga ditemukan di hulu Sungai Aek Sulfi di wilayah timur laut Dolok Pangkuruhan pada lokasi Sdk23 M021 R pada (Gambar 4. B). satuan ini dapat disetarakan juga dengan Formasi Kluet yang berumur Permo-Karbon (Aldiss dkk, 2011).



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian modifikasi (Heditama dkk., 2023)

Satuan tufa tersingkap di bagian tenggara wilayah penelitian di hilir Sungai Aek Tuba yang dicirikan litologi berwarna kuning keputihan, ukuran butir berkisar dari pasir kasar hingga kerikil (afanitik), tekstur piroklastik (fragmen litik). formasi tufa toba tersusun dari material vulkanik yang terendapkan oleh abu vulkanik akibat erupsi besar Gunung Toba, hasil petrografi bentuk kristal subhedral – anhedral dengan komposisi mineral kuarsa, muskovit, klorit, lempung, epidot, grafit dan opak. satuan ini dapat disetarakan dengan Formasi Tufa Toba berumur Plistosen (Aldiss dkk., 2011).



Gambar 3. A) singkapan batuan filit pada SDK23M027R dan B) singkapan batuan di sungai sembilin.



Gambar 4. A) singkapan batuan batupasir metasedimen SDK23M013R dan B) singkapan batuan SDK23M006R

HASIL PENELITIAN

STRUKTUR GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Pulau Sumatra terdiri dari empat mikro blok tektonik yaitu Malaya Timur, Sibumasu, Sumatra Barat, dan Woyla serta dua zona sutur yang terdiri dari Bentong-Raub dan zona medial tektonik Sumatra. Tektonik ini terjadi pada zaman karbon dengan bukti pada batuan sedimen karbon yang menampung endapan di Dairi (Barber dkk., 2005). Berdasarkan hasil interpretasi dari data sekunder berupa observasi lapangan

dari (Nursahan dkk., 2024), ditemukan struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian terdapat beberapa indikasi kehadiran sesar yaitu berupa zona kekar pada singkapan batuan, bidang rekahan, gawir sesar, dan kelurusan sungai dengan kehadiran air terjun. Air terjun dengan gawir berarah N 70° E berada di hulu Sungai Sembilin. Pada zona rekahan didapatkan berarah umum N 55° E dan N 45° E (Gambar 5).



Gambar 5. A) Gawir air terjun B) Bidang kekar Sungai Sembilin

Berdasarkan kelurusan morfologi, gawir dan interpretasi dari DEM (*Digital Elevation Model*), maka didapatkan sesar utama yang berkembang pada daerah penelitian adalah:

- 1) Sesar geser mengiri berarah jurus timur laut – barat daya merupakan sesar utama yang menggeser batas satuan batuan yang ada.
- 2) Sesar turun relatif berarah barat – timur dan barat laut – tenggara. Sesar ini di area lereng Bukit Dolok Pangkuruhan di sebelah utara dan selatan.

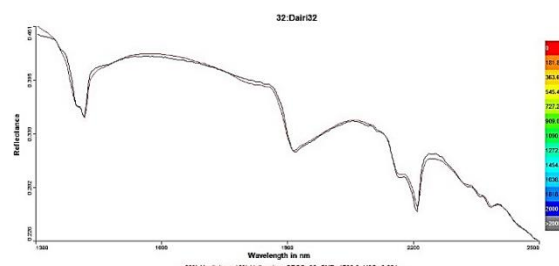
Alterasi Daerah Penelitian

Alterasi di daerah penelitian berdasarkan gejala ubahan yang diamati dari hasil analisis laboratorium yaitu hasil analisis XRD dan PIMA serta didukung data petrografi. Berdasarkan hasil analisis yang

teramati, maka daerah penelitian dapat dibagi menjadi empat zona alterasi yaitu zona alterasi Argilik, Argilik – propilitik, Filik dan Filik – silifikasi seperti pada (Gambar 8). Alterasi Argilik dicirikan atas mineral kaolinit yang berwarna putih kekuningan hingga abu-abu dengan ukuran mineral lempung yang menggantikan feldspar. Zona ini terdapat pada satuan litologi batupasir metasedimen (Heditama dkk., 2023). Zona alterasi argilik mencakup sekitar 15% dari luas daerah penelitian yang tersebar di wilayah lembah Sungai Aek Tuba, hulu Sungai Aek Sulfi, Sungai Sembilin, dan hulu Sungai Sikiring-kiring (Nursahan dkk., 2024). Pada alterasi argilik ini diwakili oleh kode sampel batuan berikut: SDK23M005R2, SDK23M009R dan SDK23M017R2. Salah satu contoh singkapan batuan yang terdapat pada lokasi sampel penelitian seperti pada (Gambar 6). Hasil analisis XRD kuantitatif dari kode sampel batuan SDK23M005R2 tersusun oleh komposisi mineral: kuarsa (79%), muskovit (20%) dan kalkopirit (0,2%). Hasil analisis PIMA berdasarkan kode sampel SDK23M005R2 (Gambar 7) didapatkan mineral lempung berupa: kaolinit (58%), muskovit (58%), illit (56%) dan halloysite (42%).

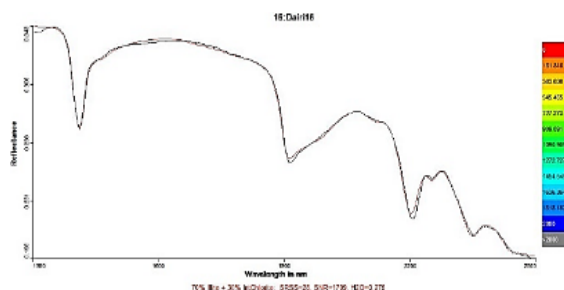


Gambar 6. Singkapan batuan SDK23M002R

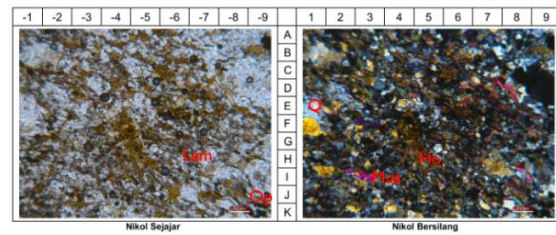


Gambar 7. Grafik analisis PIMA SDK23M005R2

Alterasi argilik-propilitik dicirikan adanya mineral illit (70%) dan inklorit (30%) berdasarkan hasil analisis PIMA dengan kode sampel batuan SDK23M021R1 pada (Gambar 9). Pada hasil analisis petrografi (Gambar 10) diketahui komposisi mineral yang menyusun batuan tersebut terdiri dari: kuarsa (47%), hornblende (25%), muskovit (15%), lempung (5%) dan opak (3%). Penyebaran alterasi argilik-propilitik menerus hingga ke hulu Sungai Aek Sulfi. Sebaran alterasi ini mencakup sekitar 5% luasnya dari daerah penelitian dan terdapat pula wilayah tambang di bukit Dolok Pangkuruhan dan pada sebagian hulu Sungai Aek Sulfi (Nursahan dkk, 2024).

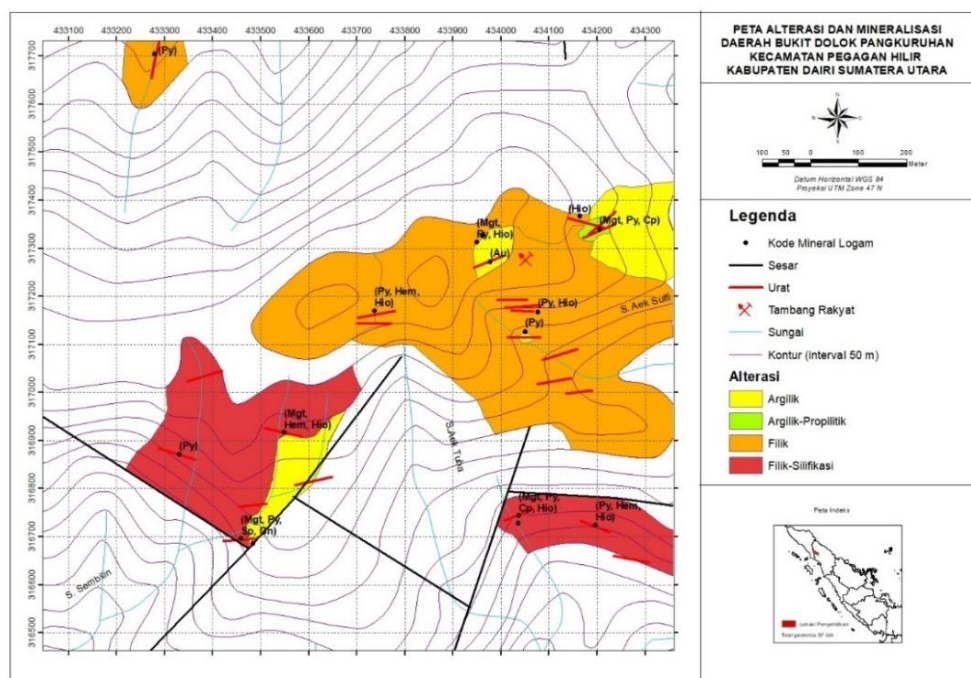


Gambar 9. Grafik analisis PIMA SDK23M021R1



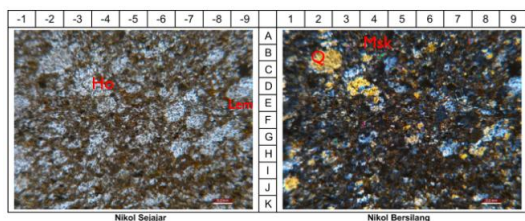
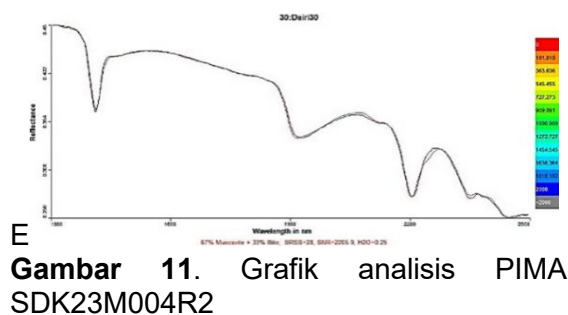
Gambar 10. Fotomikrograf SDK23M021R1

Alterasi filik dicirikan adanya mineral serisitik, muskovit, silifikasi mineral yang kuat, memiliki warna coklat kekuningan hingga keputihan, mengalami oksidasi. Batuan pada zona alterasi ini juga terdapat adanya urat-urat kuarsa yang intens serta mengandung pirit yang termineralisasi. Zona alterasi ini terdapat pada satuan litologi batupasir metasedimen yang tersebar sekitar 20% dari daerah penelitian, dan dapat ditemui pula lubang-lubang tambang di daerah penelitian yaitu Bukit Dolok Pangkuruhan yang meluas hingga ke hulu Sungai Aek Sulfi (Nursahan dkk, 2024). Berdasarkan hasil analisis XRD kuantitatif yang diwakili oleh kode sampel batuan SDK23M022R1 yang didapatkan pada lokasi hulu cabang kanan Sungai Aek Sulfi didapatkan hasil analisis mineral alterasi: kuarsa (70%), muskovit (19%), microline (5%) dan illite (1%).

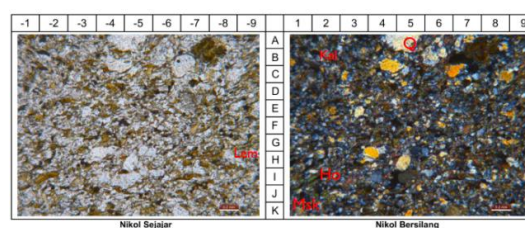
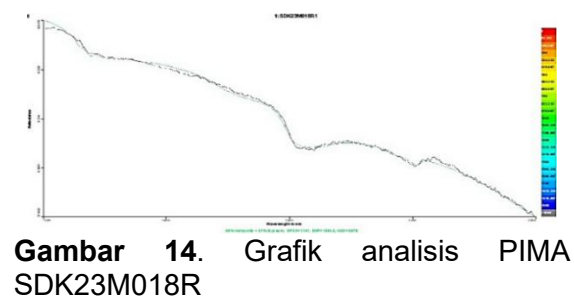


Gambar 8. Peta Alterasi dan Mineralisasi Daerah Penelitian

Hasil analisis PIMA dari kode sampel batuan SDK23M004R2 (Gambar 11) dan SDK23M005R1 didapatkan mineral lempung berupa: muscovite (67%), illite (70%) dan halloysite (30%). Berdasarkan hasil analisis petrografi diketahui komposisi mineral penyusun batuan pada kode sampel SDK23M022R1 (Gambar 12) terdiri dari mineral: kuarsa (45%), lempung (18%), hornblende (15%) dan muskovit (10%) Alterasi Filik-silikasi ini dicirikan mineral kuarsa/silika, muskovit, illit-serisit dengan warna batuan putih hingga abu-abu. Batuan pada zona ini memiliki tekstur padat tersilikasi dengan pirit yang muncul hanya berupa spotted. Zona alterasi ini mencakup 10% dari daerah penelitian pada satuan litologi batupasir metasedimen yang penyebarannya di bagian hulu Sungai Aek Tuba dan Sungai Sembilin (Nursahan dkk, 2024).



Berdasarkan hasil analisis XRD kuantitatif dari kode sampel batuan SDK23M016R1 yang berasal dari lokasi air terjun Sungai Sembilin didapatkan hasil analisis mineral alterasi: Kuarsa (79%), muskovit (9%), illit (7%), dan netroalunit (1%). Hasil analisis dari PIMA terhadap kode sampel batuan SDK23M018R yang berasal dari lokasi cabang kiri Sungai Sembilin didapatkan hasil analisis mineral lempung: halloysite (69%), illite (74%) dan gypsum (31%). Pada gambar berikut memperlihatkan hasil analisis PIMA yang menunjukkan kehadiran halloysite dan gypsum. Berdasarkan hasil analisis petrografi diketahui komposisi mineral yang menyusun kode sampel batuan SDK23M018R menunjukkan mineral: kuarsa (57%), hornblende (30%), muskovit (5%), lempung (2%), opak (2%), plagioklas (2%) dan kalsit (1%) seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 14).

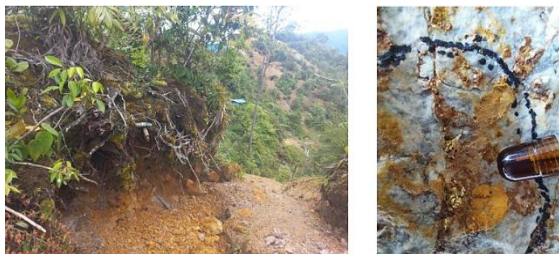


Mineralisasi Daerah Penelitian

Berdasarkan Nursahan, dkk. (2024), mineralisasi yang terbentuk pada daerah penelitian berdasarkan hasil dari pemetaan zona urat kuarsa dan karakteristik mineralisasinya serta hasil dari analisis mineragrafi dan data pendukung dari hasil analisis XRD kuantitatif dan analisis PIMA, maka diketahui karakteristik mineralisasi terbagi menjadi 4 zona mineralisasi sebagai berikut:

Urut kuarsa termineralisasi Au-Pb

Zona mineralisasi ini ditemukan di Bukit Dolok Pangkuruhan ditandai adanya urat kuarsa berwarna coklat kemerahan hingga keputihan, rodokrosit/rodonit berbentuk kristalin berlapis, mengandung mineral galena, sfalerit dan pirit. Singkapan ini ditemukan di lubang-lubang tambang dengan urat kuarsa yang mengalami colloform silifikasi dan teroksidasi. Ditemukan pula *native gold* pada urat kuarsa dengan tekstur kristalin di lokasi SDK23M029R seperti pada Gambar di bawah ini.



Gambar 16. Lubang tambang dan batuan SDK23M029R dengan *native gold*

Urut kuarsa silifikasi termineralisasi (Zn, Pb-Cu)

Mineralisasi ini terdapat di sepanjang hulu Sungai Aek Sulfi dan pada lubang-lubang lereng Aek Sulfi. Mineralisasi ini dicirikan dengan adanya urat kuarsa berwarna putih abu-abu hingga kecoklatan, mengalami silifikasi, teroksidasi dan mengandung mineral pirit, galena, dan sfalerit yang ditemukan pada urat kuarsa ini. Berdasarkan hasil analisis mineragrafi diketahui mineral bijih yang teridentifikasi dari lokasi kode sampel batuan SDK23M007R pada (Gambar 17) terdapat kandungan rutil, pirit dan grafit.



Gambar 17. Singkapan batupasir SDK23M007R2

Urut kuarsa silifikasi-sfalerit/galena

Di daerah ini mineralisasi yang terjadi memiliki ciri urat kuarsa berwarna abu-abu hingga kecoklatan yang mengalami alterasi serisitik (filit), tersilifikasi yang bersifat kompak dan massif. Mineral galena atau sfalerit dapat ditemukan pada urat kuarsa dengan spotted pirit. Singkapan ini ditemukan pada hulu Sungai Aek Tuba dan Sungai Sembilin. Berdasarkan hasil analisis mineragrafi diketahui pada kode sampel batuan SDK23M016R2 mengandung mineral magnetit, pirit, sfalerit, kalkopirit, galena dan bornit seperti pada gambar berikut.

Urut kuarsa kalkopirit-pirit

Pada daerah hulu Sungai Sikiring-kiring mineralisasi dijumpai berupa singkapan meta batupasir yang mengalami alterasi argilik lanjutan dan silifikasi. Ditemukan mineralisasi berupa urat kuarsa berwarna abu-abu hingga coklat kehijauan dan kebiruan, dengan banyaknya pirit yang mengisi rekahan bersamaan urat halus kuarsa. Berdasarkan hasil mineragrafi pada kode sampel batuan SDK23M033R diketahui mineralisasi sfalerit, galena, kalkopirit-bornit, dan pirit. Hasil analisis mineragrafi menunjukkan adanya pirit dan sfalerit yang sangat halus

Geokimia Batuan

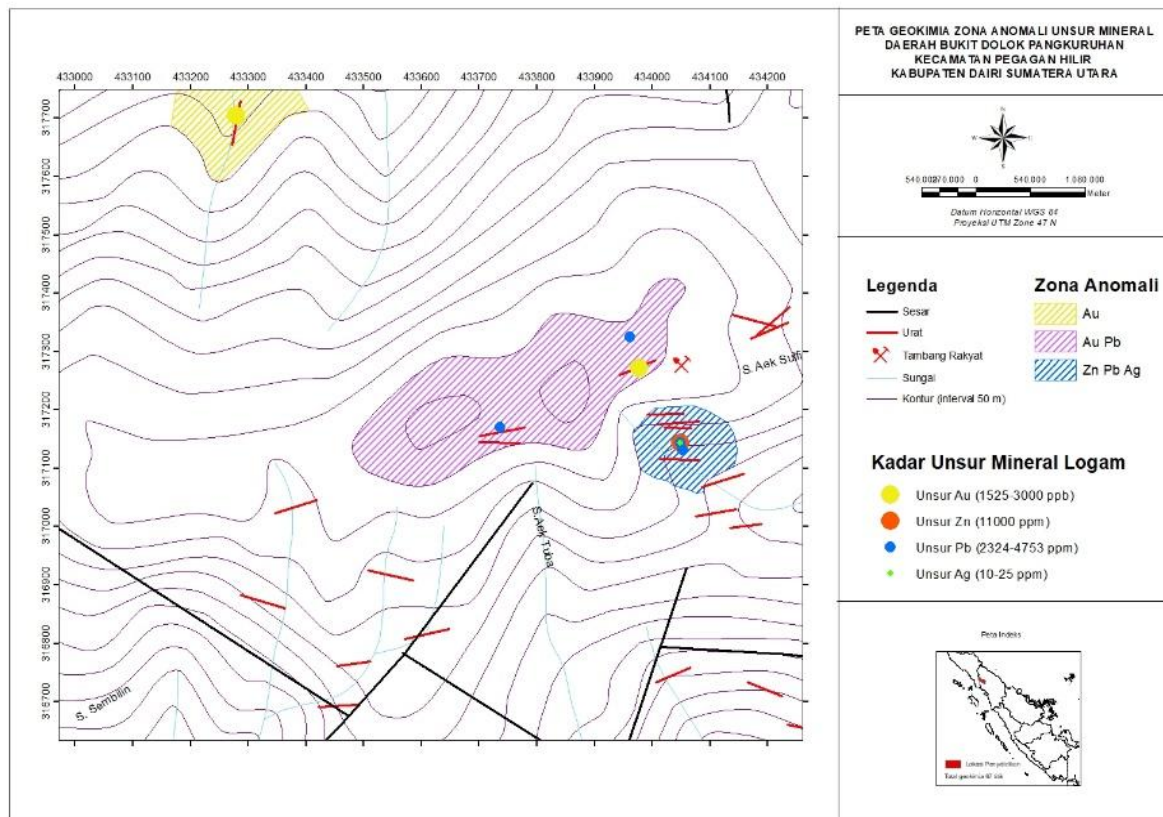
Penentuan zona potensi mineral logam, dilakukan dengan analisis geokimia batuan terhadap 60 sampel menggunakan metoda *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) untuk mengidentifikasi kadar unsur mineral logam potensial yang terdiri atas mineral tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), perak (Ag) dan emas (Au) seperti pada Tabel 2. Sedangkan pada Tabel 3 menunjukkan nilai kadar anomali untuk unsur mineral logam yang diperoleh dari penentuan nilai *background* dan *threshold*. Untuk mengetahui nilai kadar anomali dari unsur mineral logam yang telah diperoleh, maka dilakukan perbandingan yang diduga komoditas unsur mineral logam termasuk dalam kategori yang prospek. Berdasarkan (Priester dkk., 2019) terdapat kelas-kelas kadar unsur terkait untuk komoditas terpilih

seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Setelah melakukan analisis geokimia maka didapatkan hasil berupa peta sebaran kadar unsur mineral logam masing-masing per unsurnya untuk melihat pembagian kelas kadar unsurnya yang ditunjukkan

pada (Gambar 18). Menurut (Hedenquist dkk., 2000) kehadiran logam dasar bersama emas (Au) dan perak (Ag) merupakan ciri endapan epitermal sulfida menengah.

Tabel 2. Nilai Statistik Data Geokimia Batuan

Parameter Statistik	Au (ppb)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Ag (ppm)
Min	8	10	7	2	1
Max	3.000	11.000	4.753	94	25
Mean	152,683	257,95	326,2	22	2.93
Median	10	51	59	18	2
Standart Deviasi	568,43	1414,68	837,93	19,21	3,28
Background	152.68	257.95	326,2	22	2,93
Threshold	1.289,5	3.087,3	2.002,0	60,4	9,5



Gambar 18. Peta Zona Anomali Kadar Unsur Mineral Daerah Penelitian

Tabel 3. Hasil Penentuan Nilai *Background* dan *Threshold* untuk Mendapatkan Kadar Anomali dari Unsur Mineral Logam

Jenis Unsur	Nilai Background (ppm)	Nilai Threshold (ppm)	Kadar Anomali (ppm)
Au	152.68	1289.5	SDK23M029R1 = 3 SDK23M029R2 = 3 SDK23M033R1 = 1525
Zn	257.95	3087.33	SDK23M008R1 = 11000
Pb	326.2	2002.0	SDK23M004R1 = 2324 SDK23M005R4 = 2053 SDK23M007R1 = 3643
Cu	22	60.4	SDK23M004R3 = 64 SDK23M008R1 = 64 SDK23M016R2 = 94 SDK23M017R2 = 72
Ag	2.93	9.5	SDK23M008R1 = 10 SDK23M038R2 = 25

Tabel 4. Kelas-kelas kadar unsur terkait untuk komoditas terpilih

	n	p10	p50	p90	High grade	Average grade	Low grade
Au in g/t	2525	13.38	4.41	1.54	>15	1.5 – 15	<1.5
Cu in %	2828	2.91	1.12	0.40	>3	0.5 – 3	<0.5
Zn in %	863	11.62	5.08	1.74	>12	1.5 – 12	<1.5
Pb in %	72	16.61	4.37	1.11	>15	1 – 15	<1

Sumber: (Priester dkk., 2019)

Hasil Pengolahan Data Geolistrik

Nilai *chargeability* dan *resistivity* yang tercantum pada (Tabel 5) sebagai acuan dalam mengkorelasikan anomali *resistivity* dan *chargeability* dalam penampang geofisika. Pada pembagian skala dan korelasi nilai *chargeability* dan *resistivity* berdasarkan hasil interpretasi penampang serta data singkapan batuan di lapangan yang dapat dikategorikan seperti pada (Tabel 6). Data singkapan yang dijadikan acuan terdapat pada lintasan 5 terdapat adanya lubang-lubang bekas tambang serta adanya urat kuarsa termineralisasi yang mengandung *native gold*.

Pengukuran pada metode geolistrik IP dan *resistivity* dilakukan sebanyak 6 lintasan dengan panjang masing-masing lintasan adalah 840 m berarah utara – selatan. Arah lintasan pengukuran geolistrik ini diatur agar dapat memotong daerah struktur berarah barat daya yang diduga sebagai

struktur yang mengontrol mineralisasi pada daerah penelitian. Dari 6 lintasan yang ada pada lokasi daerah penelitian, terdapat 2 lintasan yang diduga memiliki zona potensi mineral logam yang terdapat pada lintasan 5 dan lintasan 8. Lintasan yang diduga tersebut berdasarkan letak keberadaan anomalnya yang rata-rata memiliki nilai *chargeability* dan *resistivity* yang tinggi dan keterkaitannya dengan data geologi seperti pada lokasi penelitian ditemukan adanya lubang bekas tambang serta urat-urat kuarsa termineralisasi. Masing-masing penampang menunjukkan nilai anomali berdasarkan hasil respon terhadap batuan di bawah permukaan sehingga memiliki nilai atau hasil yang bervariasi. Pada seluruh penampang *chargeability* menunjukkan nilai anomali cenderung tinggi, sedangkan pada seluruh penampang *resistivity* menunjukkan nilai anomali yang dominan dari sedang – tinggi seperti pada Gambar 19 dan Gambar 20.

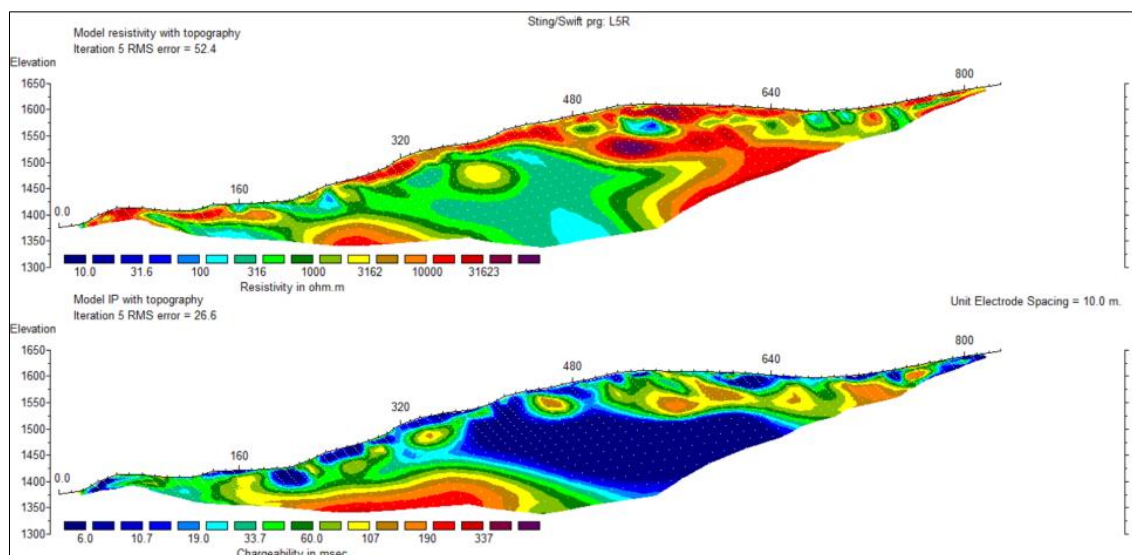
Tabel 5. Konversi Nilai *Chargeability* dan *Resistivity*

Material	<i>Chargeability</i> (msec)
2-8% sulfida	500 – 1.000
Material	<i>Resistivity</i> (Ω m)
Quartz (Kuarsa)	500 – 800.000
Calcit (Kalsit)	1×10^{12} - 1×10^{13}

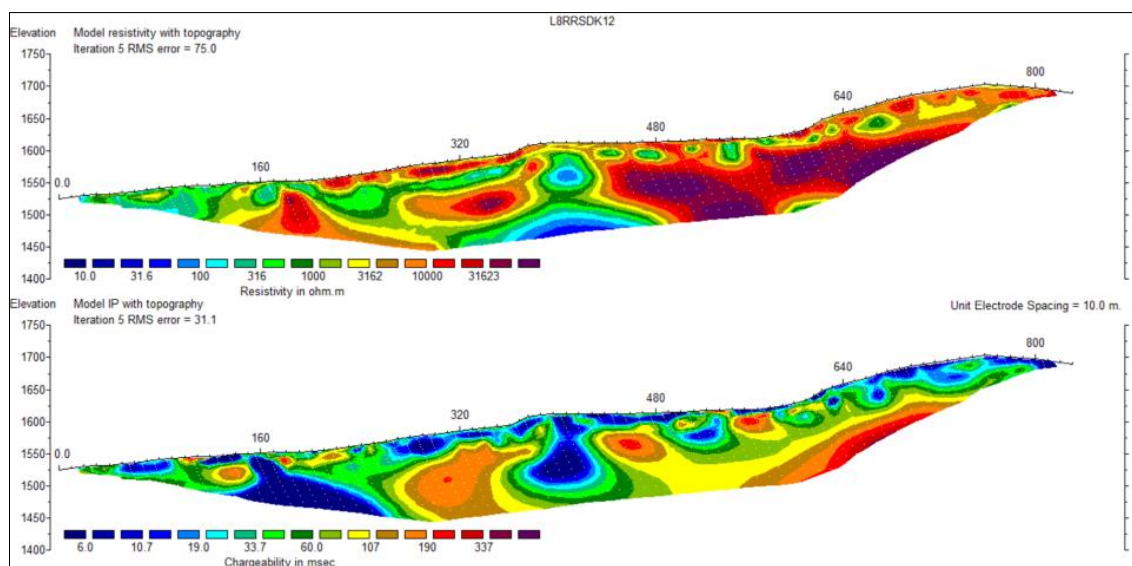
Sumber: (Telford dkk., 1990)

Tabel 6. Kategori Nilai *Resistivity* dan IP

Kategori	<i>Resistivity</i> (Ω m)	<i>Chargeability</i> (msec)
Rendah	<100	<20
Sedang	100-3000	20-100
Tinggi	>3000	>100



Gambar 19. Pseudosection 2D *Resistivity* dan *Chargeability* Lintasan 5



Gambar 20. Pseudosection 2D *Resistivity* dan *Chargeability* Lintasan 8

PEMBAHASAN

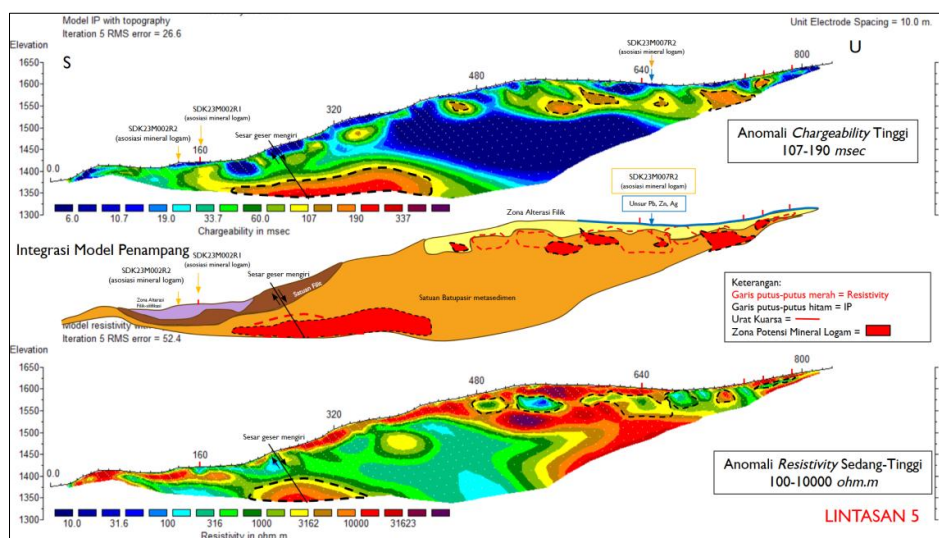
Integrasi Data Geologi, Geokimia Dan Geofisika

Berdasarkan hasil analisis dari data geologi, geokimia dan geofisika zona potensi mineral logam pada daerah penelitian dipengaruhi oleh beberapa faktor utama yaitu terdiri dari litologi, struktur, alterasi, mineralisasi dan keberadaan anomali kadar unsur. Litologi pada daerah penelitian berperan sebagai batuan asal yang menjadi media utama proses alterasi dan mineralisasi pada litologi satuan satuan filit, satuan batupasir metasedimen yang berhubungan dengan Formasi Kluet dan satuan tufa berhubungan dengan Formasi Tufa Toba.

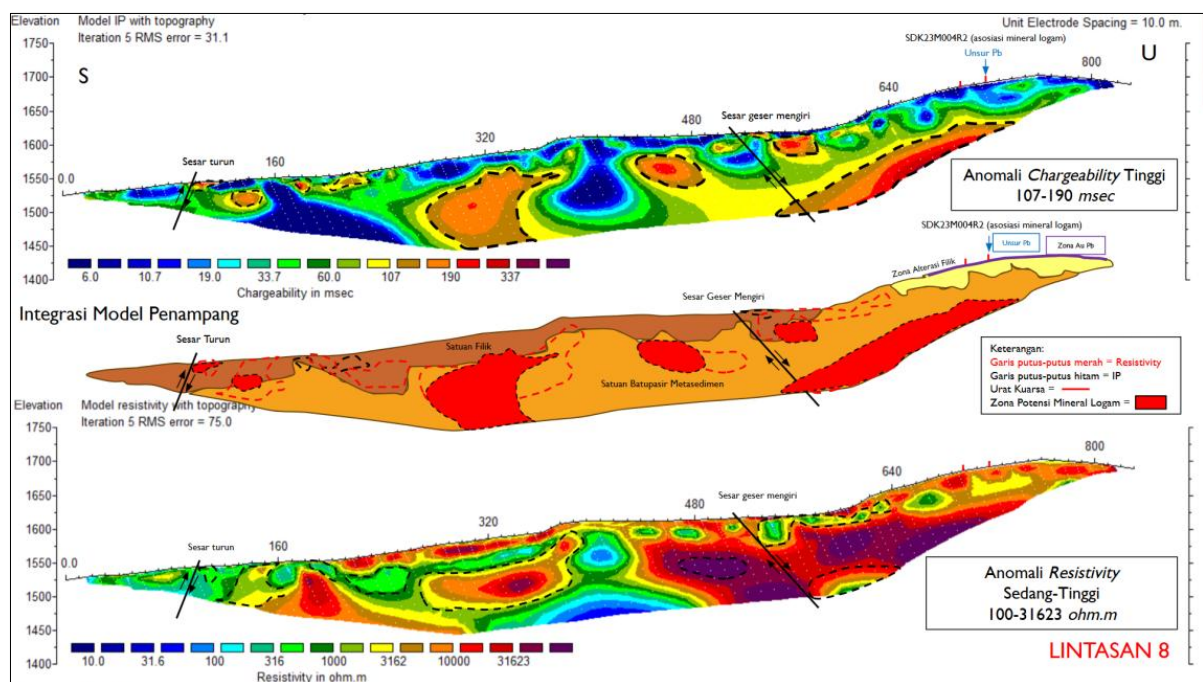
Adanya struktur geologi seperti sesar utama dan kekar pada daerah penelitian sebagai jalur yang dilewati oleh fluida hidrotermal dan mempengaruhi distribusi mineral logam pada daerah penelitian. Pada alterasi penyebarannya yang paling dominan pertama pada alterasi filik, alterasi Filik – silifikasi, alterasi argilik kemudian diikuti oleh alterasi argilik – propilitik. Penyebaran alterasi filik yang berkembang dalam daerah litologi satuan batupasir metasedimen menunjukkan kontrolnya untuk zona potensi mineral logam karena pada daerah tersebut berasosiasi dengan penyebaran urat-urat kuarsa mineralisasi. Sebaran urat-urat kuarsa mineralisasi dominan berada dalam

zona alterasi filik, argilik – propilitik, dan filik – silifikasi. Seperti yang telah diungkapkan oleh (Nursahan dkk., 2024), urat kuarsa mineralisasi yang berada dalam alterasi filik terdapat *native gold* yang merupakan endapan polimetalik emas (Au) dan logam dasar (Zn-Pb-Cu).

Pada penelitian ini, lintasan yang dijadikan sebagai acuan interpretasi yaitu pada lintasan 5 terdapat singkapan batupasir (SDK23M007R2) pada jarak elektroda 640 m hingga 660 m dengan komposisi mineral pirit, galena, sfalerit pada urat kuarsa yang dapat berasosiasi dengan adanya mineral logam yang mempengaruhi nilai *chargeability* tinggi. Hasil ini memiliki kesesuaian dengan penelitian sebelumnya (Heditama dkk., 2023) di lokasi penelitian yang sama, yang menunjukkan keberadaan zona mineralisasi sulfida pada kedalaman 95 m hingga 120 m dengan hasil nilai anomali *chargeability* dan *resistivity* yang tinggi. Selain itu, ditemukannya sebaran zona alterasi argilik dan silifikasi juga memperkuat hasil yang diperoleh sebelumnya, dimana zona alterasi tersebut mengandung silika dan sulfida yang kaya mineral. Berdasarkan hasil interpretasi penampang 2D pada *chargeability* dan *resistivity* untuk seluruh lintasan dari lintasan 2 hingga lintasan 8, diduga respon mineralisasi logam yang dihasilkan nilai *chargeability* tinggi dan nilai *resistivity* sedang – tinggi.



Gambar 21. Interpretasi Model Penampang Terintegrasi Lintasan 5

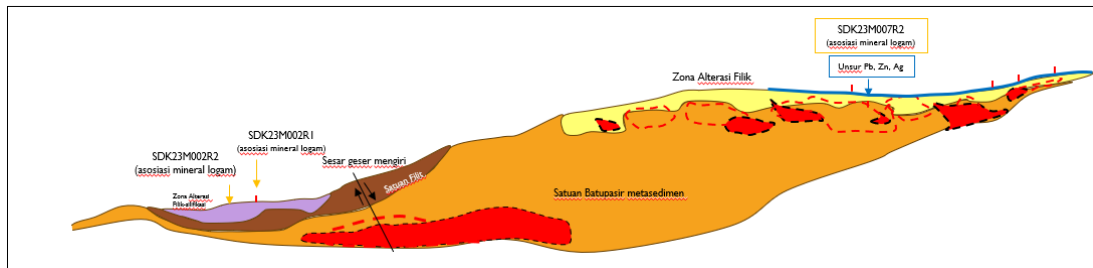


Gambar 22. Interpretasi Model Penampang Terintegrasi Lintasan 8

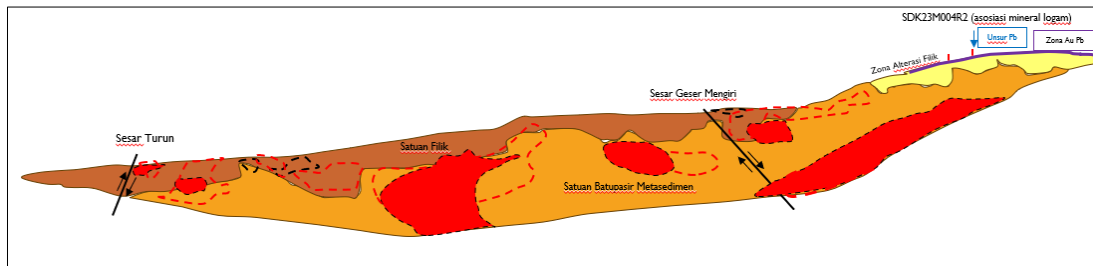
Penentuan Zona Potensi Mineral Logam

Penentuan sebaran zona potensi mineral logam berdasarkan hasil proses analisis dan interpretasi dari integrasi data geologi, geokimia dan geofisika yang telah dibahas sebelumnya. Berdasarkan hal tersebut maka dapat ditentukan terdapat dua lintasan yang menjadi zona potensi mineral logam pada model penampang terintegrasi memberikan gambaran zona potensi mineral logam secara lebih komprehensif. Model penampang terintegrasi lintasan 5 menunjukkan hubungan antara litologi, struktur geologi, alterasi, dan mineralisasi logam di daerah penelitian. Sebaran zona potensi mineral logam bawah permukaan ditandai oleh delineasi warna merah berdasarkan interpretasi nilai *chargeability* tinggi (107 msec s.d. 190 msec) dan *resistivity* sedang – tinggi (100 ohm.m s.d. 10.000 ohm.m) pada model penampang (Gambar 23). Struktur geologi berupa sesar geser mengiri memotong batuan dasar, berperan penting sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal, mendukung proses pembentukan mineralisasi logam. Zona

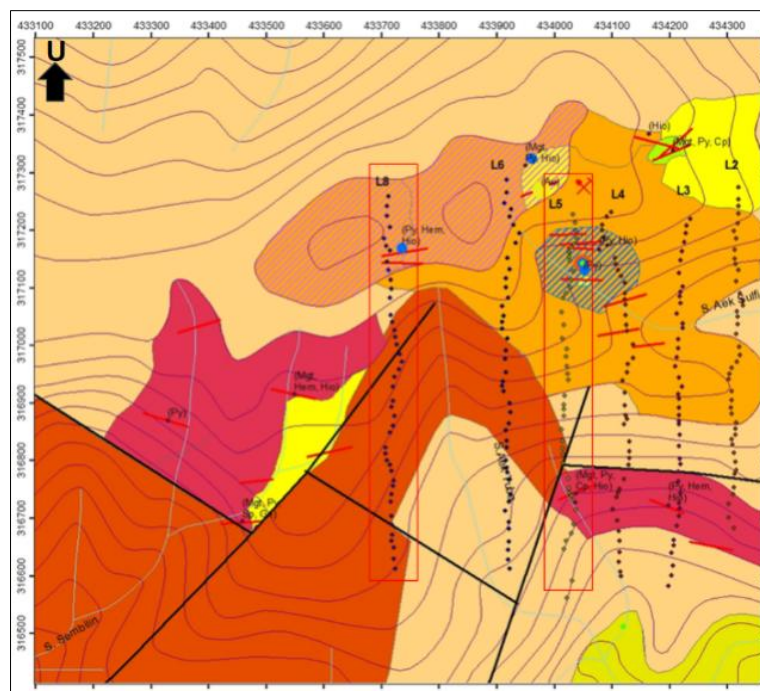
mineralisasi ditandai oleh keberadaan unsur logam dengan kadar nilai Pb (2.324 ppm s.d. 4.753 ppm), Zn (11.000 ppm), dan Ag (10 ppm s.d. 25 ppm) yang berasosiasi dengan anomali geokimia. Hubungan ini mencerminkan peran penting struktur geologi dan zona alterasi dalam mengontrol distribusi mineralisasi di area penelitian. Begitu pula pada model penampang terintegrasi lintasan, menunjukkan sebaran zona potensi mineral logam bawah permukaan oleh delineasi warna merah hasil dari nilai *chargeability* tinggi (107 msec s.d. 190 msec) dan *resistivity* sedang-tinggi (100 ohm.m s.d. 31.623 ohm.m) (Gambar 24). Keberadaan unsur Au (1.525 ppb s.d. 3.000 ppb) dan Pb (2.324 ppm s.d. 4.753 ppm) berasosiasi dengan zona alterasi filik. Kehadiran mineral muskovit dan illit, yang merupakan indikator aktivitas hidrotermal, serta urat kuarsa yang memperkuat indikasi mineralisasi logam mulia. Struktur geologi yaitu Sesar Turun dan Sesar Geser Mengiri memengaruhi distribusi zona alterasi dan mineralisasi, memperlihatkan peran penting struktur sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal



Gambar 23. Model penampang terintegrasi 5



Gambar 24. Model penampang terintegrasi lintasan 8



Gambar 25. Peta Lintasan Pengukuran Geolistrik Daerah Penelitian

KESIMPULAN

Berdasarkan karakteristik geologi alterasi, mineralisasi, anomali geokimia sampel batuan serta metode geofisika maka daerah prospek yang menjadi zona potensi mineral logam dasar berada pada integrasi penampang model lintasan 5 pada jarak lintasan titik elektroda antara 140-160 dan 640-660 yang melintasi Sungai Aek Sulfi

dan tidak jauh pula dari lokasi penambangan dan lintasan 8 dengan titik elektroda diantara 700-720 lokasinya dekat Sungai Aek Tuba dan melintasi sesar-sesar utama. Sebagai tindak lanjut dari hasil penelitian ini, disarankan untuk dilakukan pengeboran pada lokasi zona prospek utama untuk mengkonfirmasi keberadaan zona potensi mineral logam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi yang telah memberikan saya kesempatan yang sangat berharga serta telah menyediakan waktu, data dan tempat untuk bisa melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldiss, D. T., Whandoyo, R. A. G., dan Kusjono, S. (2011): The geology of the Sidikalang Quadrangle, Sumatra., *Res. and Dev. Centre*.
- Barber, A. J., Crow, M. J., dan Milsom, J. (2005): *Sumatra: geology, resources and tectonic evolution*, *Geological Society memoirs*, The Geological Society, London.
- Crow, M. J., dan van Leeuwen, T. M. V. (2005): *Chapter 12 Metallic mineral deposits*, Geological Society, London, Memoirs, diperoleh melalui situs internet: <https://doi.org/10.1144/gsl.mem.2005.031.01.12>.
- Hatta, H. M., Gunradi, R., Heditama, D. M., Faisal, R. M., Anshari, R., dan Dinarsih, D. (2017): *Eksplorasi umum logam mulia dan logam dasar di Kecamatan Pegagan Hilir Kabupaten Dairi Provinsi Sumatera Utara*, Pusat Sumber Daya Mineral Batu Bara dan Panas Bumi, Bandung, 06/MN/BGD/2017.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., dan Gonzalez, U. E. (2000): Exploration for Epithermal Gold Deposits, *Rev. Economic Geology*, 13: 245-278.
- Heditama, D. M., Nursahan, I., Koes, A. H., Aziz, M. A., Hanafiah, Y., dan Heryana, E. (2023): *Penyelidikan umum geologi, geokimia, geofisika (geomagnet dan IP) logam mulia di Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara*, Pusat Sumber Daya Mineral Batu Bara dan Panas Bumi, Bandung, 02/MN.A/BGD/2022.
- Nursahan, I., Rafael, J. A., Hilman, P. M., dan Patonah, A. (2024): Karakteristik endapan polimetalik emas dan logam dasar Daerah Bukit Dolok Pangkuruhan, Kecamatan Pegagan Hilir, Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara, *Buletin Sumber Daya Geologi*, 19, 27–39. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i1.480>
- Priester, M., Erricson, M., Dolega, P., dan Lof, O. (2019): Mineral grades: an important indicator for environmental impact of mineral exploitation, *Springer-Verlag GmbH Germany*. <https://doi.org/10.1007/s13563-018-00168-x>
- Rivai, T. A., Syafrizal, Yonezu, K., Tindell, T., Boyced, A. J., Sanematsub, K., Satori, S., dan Watanabea, K. (2020): The Dairi SEDEX Zn + Pb + Ag deposit (North Sumatra, Indonesia): Insights from mineralogy and sulfur isotope systematics, *Ore Geology Reviews*, 122, 1–25.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. (1990): *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press, New York.