

Geologi, Karakteristik Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi Bijih pada Pit Purnama Martabe, Kabupaten Tapanuli Selatan, Provinsi Sumatera Utara *(Geology, Hydrothermal Alteration Characteristics and Ore Mineralization in Purnama Martabe Pit, Tapanuli Selatan District, North Sumatra Province)*

Theresia Fernandha Samuels¹, Arifudin Idrus^{2*}

^{1,2}Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada – Yogyakarta

*Korespondensi E-mail: arifidrus@ugm.ac.id

Abstrak

Tingginya angka kebutuhan logam berupa emas, perak, dan tembaga serta keterdapatannya yang terbatas menyebabkan pemahaman mengenai kondisi geologi, karakteristik alterasi, dan mineralisasi bijih diperlukan dalam proses eksplorasi yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi, karakteristik dan persebaran alterasi serta mineralisasi bijih di Pit Purnama Martabe berdasarkan hasil pemetaan, deskripsi intibor dan pengambilan sampel yang kemudian dianalisis dengan XRF (*X-Ray Fluorescences*), ASD (*Analytical Spectral Device*), petrografi, dan mikroskopi bijih. Litologi di daerah penelitian tersusun satuan lava andesit, satuan kubah intrusi diorit, dan satuan breksi freatomagmatik polimiktik. Berdasarkan analisis ASD, zona alterasi yang berkembang terdiri atas alterasi silika *vuggy*-masif, zona alterasi silika+dikit±alunit, illit+smektit, dan smektit+klorit. Berdasarkan analisis mineragrafi dan ditunjang oleh data XRF, dapat diketahui bahwa mineralisasi di daerah penelitian berupa pirit, enargit, hematit, goetit, dan jarosit. Kondisi geologi yang mengontrol persebaran alterasi dan mineralisasi yang terjadi adalah adanya struktur berarah timur laut – barat daya berupa urat kuarsa dan barat laut – tenggara, serta litologi yang memiliki porositas bervariasi.

Kata kunci: Epitermal, mineralization, alteration, martabe

Abstract

High demands of metal such as gold, silver, and copper, also their limited occurrences causing an understanding of geological conditions, alteration and ore mineralization characteristics are needed for a sustainable exploration. This study aims to elucidate geological conditions, characteristics and the distribution of alteration zones and ores mineralization in Purnama Martabe Pit based on geological mapping, drill cores logging and sampling. Selected samples were analysed by XRF (X-Ray Fluorescences), ASD (Analytical Spectral Devices), petrography, and mineragraphy analysis. Lithological units at the study area consist of andesite lava unit, diorite intrusion dome and polymictic phreatomagmatic breccia units. Based on ASD analysis, alteration zones in the study area are vuggy-massive silica, silica+dickite±alunite, illite+smectite, and smectite+chlorite. Based on mineragraphy and XRF, the mineralization occurred at the study area is composed of pyrite, enargite, hematite, goethite, and jarosite. Zonation and distribution of alteration and mineralization is predominantly controlled by the north east – south west structure in the form of quartz veins, north west – south east structure, and various porosities of the lithological units.

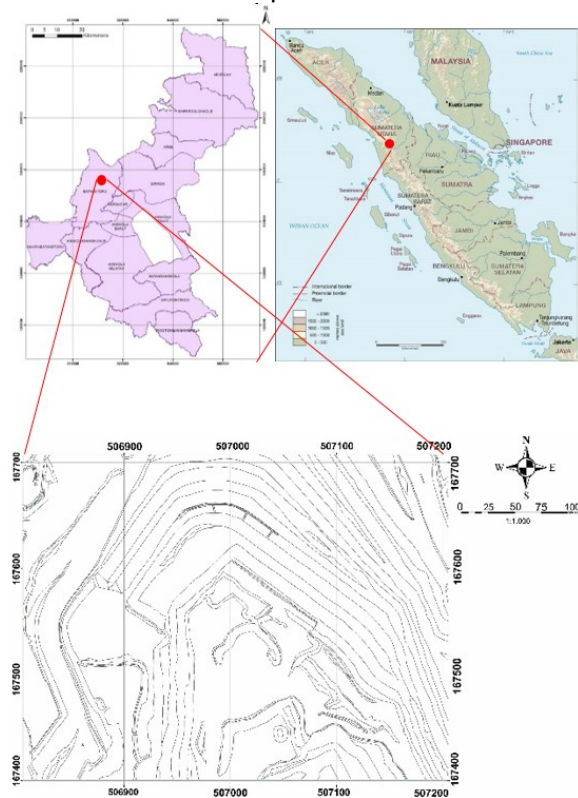
Keywords: Epithermal, mineralisasi, alterasi, martabe

1. Pendahuluan

Kebutuhan bahan tambang terutama emas saat ini cenderung masih tinggi, namun keterdapatan komoditas logam tersebut terbatas. Tambang emas Martabe khususnya Pit Purnama merupakan salah satu lokasi keterdapatan komoditas emas dengan tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi (Sutopo,dkk., 2003; Hertrijana dkk., 2005; Sutopo, 2013) yang saat ini menjadi pit yang masih aktif berproduksi dan berada dalam Wilayah Ijin Usaha Pertambangan PT. Agincourt Resources (Gambar 1). Pit Purnama merupakan salah satu pit yang telah banyak dipelajari (Saing,

dkk., 2016; Belford, 2017; Manurung, 2019). Namun akibat pembentukannya yang terjadi secara kompleks, kondisi geologi serta kaitannya dengan alterasi dan mineralisasi bijih di pit ini cukup kompleks. Kondisi geologi regional daerah penelitian dan geologi Sumatra yang kompleks dikemukakan oleh Aspden, dkk., 1982 dan Barber, dkk., 2005. Tidak banyak studi mineralisasi emas yang terpublikasi di sekitar daerah penelitian, namun secara regional antara lain ditulis oleh Carlile dan Mitchell, 1994 dan van Leuween, 2018. Proses penambangan yang dilakukan menyebabkan semakin banyak data yang

tersingkat, sehingga proses pemahaman mengenai kondisi geologi, alterasi, dan mineralisasi bijih di Pit Purnama dapat semakin akurat dan aktual, sehingga dapat digunakan untuk keberlanjutan proses produksi dan eksplorasi di daerah sekitarnya. Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui kondisi geologi, persebaran alterasi dan mineralisasi serta karakteristiknya, sekuen alterasi dan mineralisasi, serta kontrol geologi terhadap alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian.



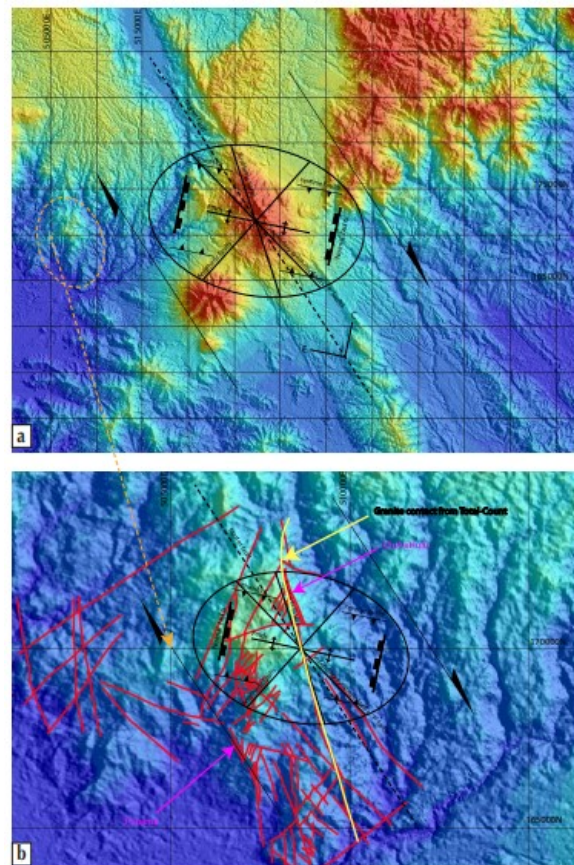
Gambar 1. Peta lokasi penelitian Pit Purnama Martabe, Kecamatan Batangtoru, Kabupaten Tapanuli Selatan, Provinsi Sumatera Utara

2. Geologi Regional Martabe

Secara regional, daerah tambang emas Martabe terletak ke dalam fisiografi Barisan Barat (Aspden, dkk., 1982). Secara stratigrafi, lokasi penelitian terletak pada Peta Geologi Regional Lembar Padangsidempuan (Aspden, dkk., 1982) dan terletak dalam Grup Tapanuli dan tersusun oleh Formasi Kluet (batuan sedimen), Formasi Granit Uluhalanagodang (intrusi), Formasi Tersier Sibarus (batuan sedimen, sebagian bersifat karbonatan), Formasi Vulkanik Angkola Tersier (batuan basaltik – basalt andesitik), Formasi Vulkanik Toru Tersier (diperkirakan berupa aliran lava), Formasi Kubah Intrusi Martabe (intrusi sepanjang zona sesar), dan yang paling muda berupa Formasi Breksi Freatik

dan Freatomagmatik (breksi freatik dan freatomagmatik) (Sutopo, 2013).

Secara struktur, daerah Martabe terletak pada daerah yang dipengaruhi oleh segmen Toru ($1,2^{\circ}\text{N}-2^{\circ}\text{N}$) (Sieh dan Natawidjaja, 2000 dalam Belford, 2017) dan terletak di bagian barat dari Zona Sesar Besar Sumatera (Gambar 2). Segmen Toru merupakan bagian lekukan kontraksional di bagian ujung selatan dimana ujung bagian utara merupakan sebuah *step over* dilasional. Pada *stress regime* tersebut, struktur yang bersifat ekstensional yang diperkirakan berupa sesar normal dapat menjadi jalan bagi fluida hidrotermal, serta dapat diperkirakan berdasarkan arahnya. Secara lebih detail, daerah penelitian terletak pada Pit Purnama yang dikontrol yang memiliki struktur utama berupa Sesar Purnama. Sesar Purnama memiliki orientasi yang relatif sama dengan Sesar Besar Sumatera dan diperkirakan merupakan sesar geser manganan.



Gambar 2 (A) Struktur daerah Martabe dan posisinya terhadap Sesar Sumatera, (B) Struktur geologi daerah Martabe (Belford, 2017).

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang diterapkan bersifat deksriptif dan interpretatif dengan tahapan penelitian meliputi pekerjaan lapangan mencakup pemetaan dengan pengambilan titik amat tiap 10 m dan deksripsi intibor pada 9 lubang bor, lalu

dilanjutkan dengan analisis laboratorium, serta tahap integrasi dan analisis data. Pekerjaan lapangan telah dilakukan pada luasan sekitar 400 x 300 m² pada 2 *bench* di Pit Purnama bagian utara. Tahapan pekerjaan lapangan ini dibagi menjadi 2 pekerjaan yaitu pengamatan geologi dan alterasi/mineralisasi melalui kegiatan pemetaan dan deskripsi intibor, serta pengambilan sampel (permukaan dan inti bor).

Total keseluruhan sampel adalah 20 sampel. Sampel yang sudah dipilih kemudian dianalisis meliputi analisis XRF dengan menggunakan XRF *portable* di Departemen Eksplorasi PT. Agincourt Resources, ASD dengan menggunakan alat berupa *TerraSpec4* dan pembacaan dengan *software* berupa *The Spectral Geologist* di Departemen Eksplorasi PT. Agincourt Resources, serta pengamatan petrografi dan mineragrafi di laboratorium. Analisis mikroskopis menggunakan mikroskop trinokular Euromex (Holland) di Laboratorium Geologi Optik, Departemen Teknik Geologi FT-UGM.

4. Hasil dan Pembahasan Geologi Daerah Penelitian

Pembahasan geologi difokuskan pada aspek litologi dan struktur geologi. Litologi di daerah penelitian tersusun atas 3 jenis satuan litologi dari tua ke muda yaitu lava andesit, kubah intrusi diorit, dan breksi freatomagmatik polimiktik (Gambar 3). Lava andesit tidak ditemukan pada pemetaan di lapangan, namun ditemukan pada inti bor di bagian selatan, dan diproyeksikan ke permukaan secara interpretatif (Gambar 4).

Litologi

Satuan lava andesit

Hasil proyeksi menunjukkan bahwa satuan ini tersingkap pada bagian barat laut daerah penelitian dengan persebaran sekitar 10% dari daerah penelitian. Satuan ini berbatasan secara langsung dengan satuan breksi freatomagmatik polimiktik di bagian timurnya dan diperkirakan memiliki batas berupa struktur geologi berupa sesar berarah barat laut - tenggara. Secara umum, batuan ini memiliki deskripsi sebagai berikut: warna conto setangan hijau pucat pada pengamatan mikroskopis batuan berwarna coklat pada kenampakan PPL dan abu-abu, coklat, biru pada XPL. Ukuran kristal <0,25 mm- 5 mm dengan granularitas batuan porfiroafanitik, kristalinitas holokristalin, hubungan antarkristal hipidiomorfik, tekstur asal batuan sudah hancur akibat alterasi yang kuat, fenokris tersusun oleh mineral sekunder berupa ilit yang menggantikan mineral piroksen dan plagioklas yang mengalami leaching (40%), smektit yang tersebar pada

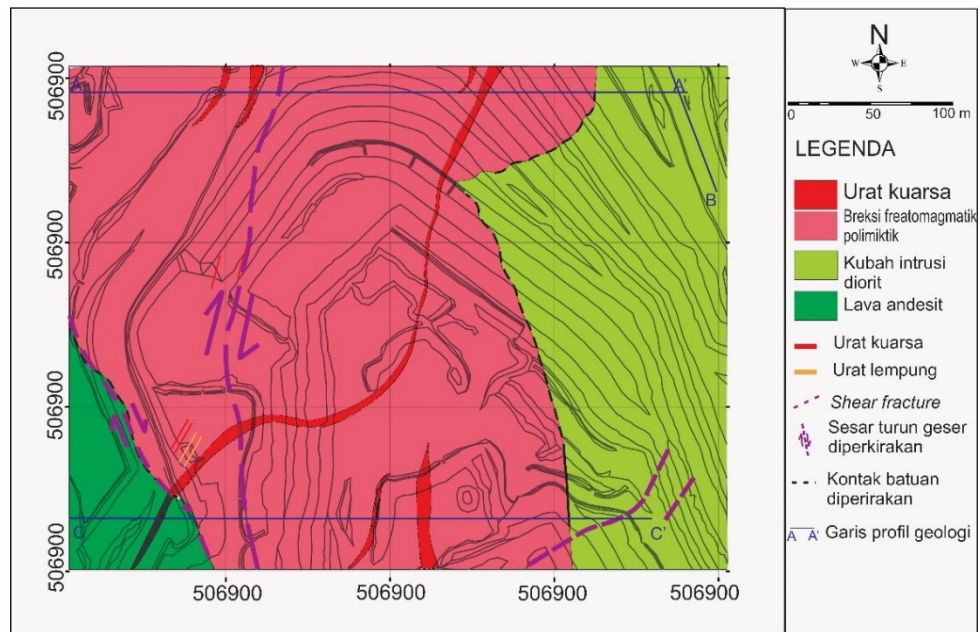
massa dasar dan mengisi rongga antar kristal (20%), kuarsa sekunder (10%), urat kuarsa (10%), dan massa dasar afanitik (20%). Batuan ini umumnya mengalami alterasi dengan intensitas kuat dengan mineral ubahan berupa ilit, smektit, secara setempat muncul kaolinit *poor crystalline*.

Satuan kubah intrusi diorit

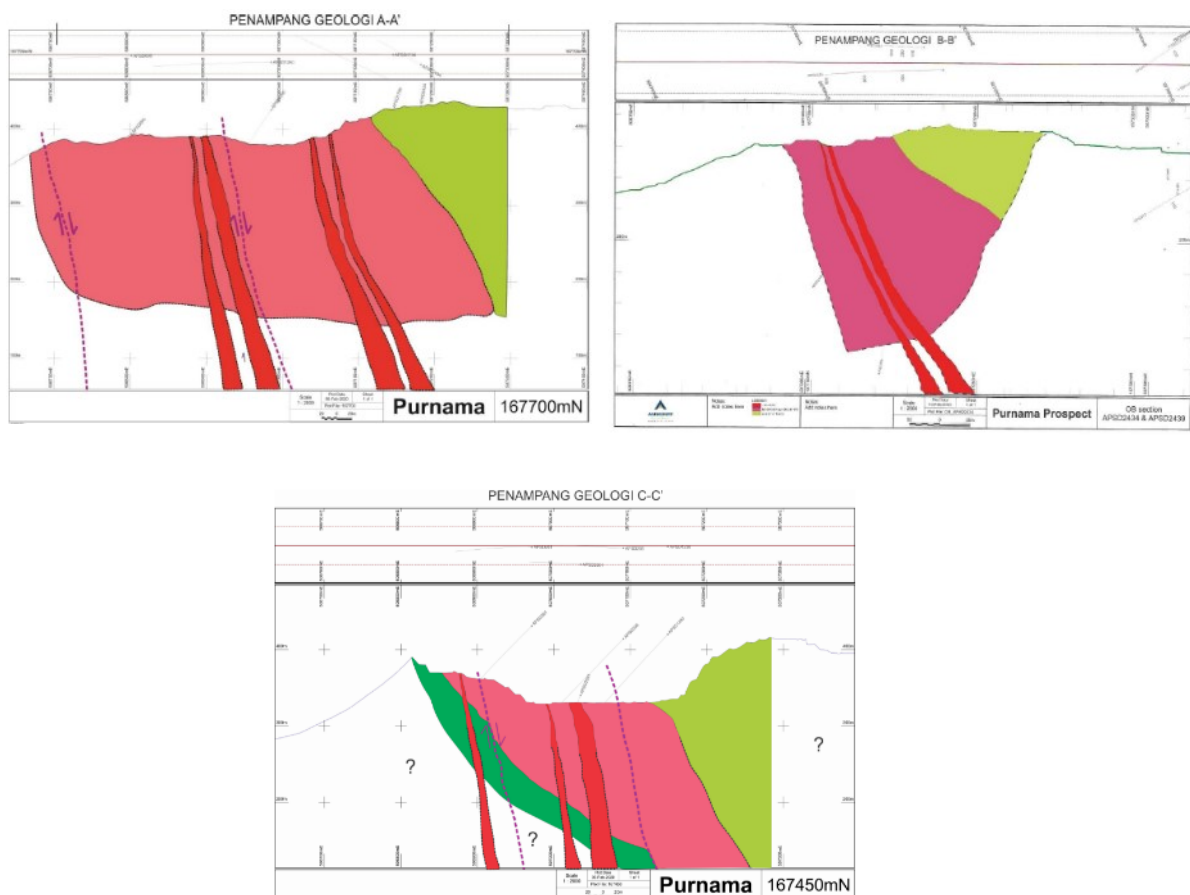
Satuan ini tersingkap di bagian timur daerah penelitian dengan persebaran sekitar 25% dari daerah penelitian dan melampar dengan arah selatan - utara. Batuan secara umum berwarna hijau pucat, granularitas porfiro afanitik, ukuran kristal fenokris 1-0,2 cm dengan massa dasar afanitik, hubungan antar kristal hipidiomorfik, massa dasar teralterasi menjadi smektit. Komposisi fenokris: kuarsa (3%), feldspar (10%), hornblenda (20%), biotit (10%), massa dasar (57%), pada beberapa titik juga terdapat mineral kalsit yang mengisi rekahan atau tersebar pada massa dasar. Fenokris hornblenda dan biotit terubah menjadi klorit, fenokris feldspar secara setempat terubah menjadi kalsit, rekahan terisi oleh kalsit. Batuan ini mengalami alterasi ilit+smektit, dan smektit+klorit.

Satuan breksi freatomagmatik polimiktik

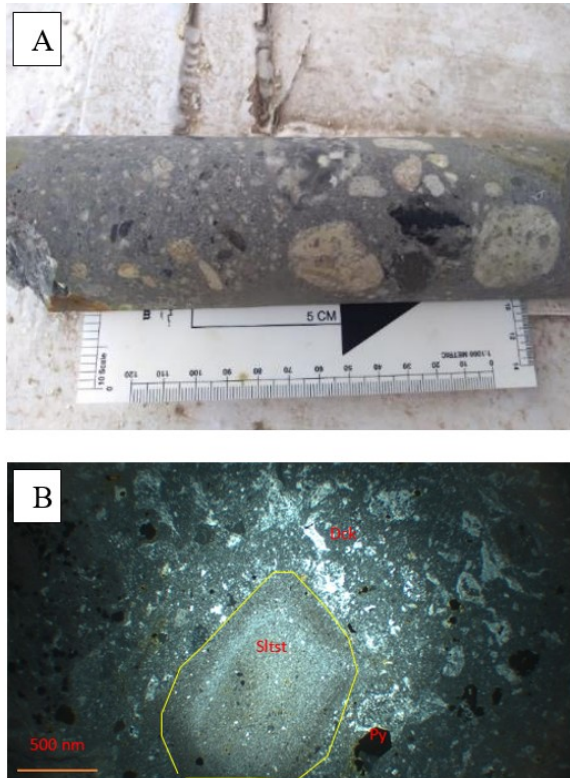
Satuan ini mengintrusi satuan lava andesit di bagian barat daya dan satuan kubah intrusi diorit di bagian timur, dengan penyebaran berarah relatif barat laut-tenggara. Batas antara satuan breksi freatomagmatik polimiktik dan satuan lava andesit diperkirakan merupakan batas struktur berupa Sesar Purnama dengan arah tenggara-barat laut yang sesuai dengan arah persebaran breksi freatomagmatik polimiktik, sedangkan batas dengan satuan kubah intrusi diorit merupakan batas intrusi. Satuan ini memiliki presentase persebaran sekitar 55% dari daerah penelitian dan secara megaskopis berwarna abu-abu kehitam-hitaman, sebagian besar *clast supported*, tetapi pada beberapa tempat *matrix supported*, matriks tersusun atas *rock flour* berukuran butir pasiran, secara tempat lempungan, batuan tersortasi sedang sampai buruk, memiliki tekstur khusus antara lain : *wispy texture*, *crackle breccia*, dan *accretionary ball*, fragmen berukuran 0,2 cm- 10 m dengan komposisi litik andesit terubah, litik batulanau-batupasir, litik diorit terubah, fragmen breksi polimiktik yang lebih tua, serta kuarsa. Batuan ini mengalami alterasi dengan tingkat sedang hingga kuat dengan jenis alterasi silika *vuggy-masif*, silika+dikit+alunit, dan ilit+smektit.



Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian



Gambar 4. Penampang A-A', B-B', dan C-C' geologi daerah penelitian



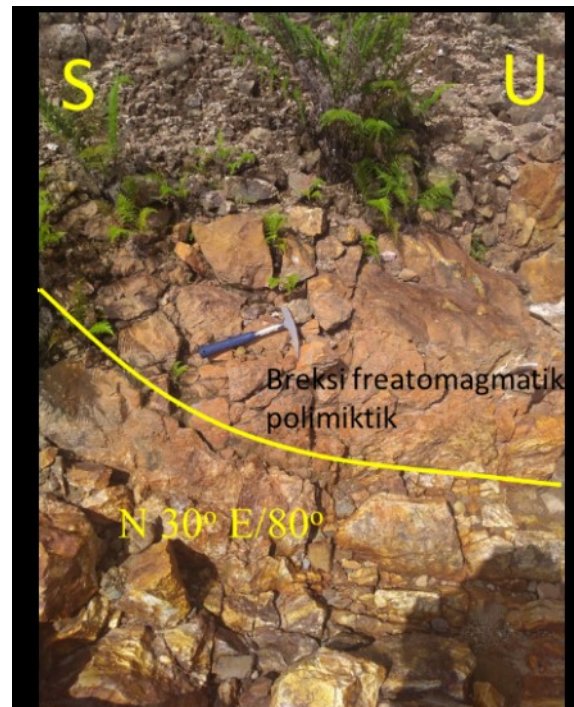
Gambar 5. (A) Kenampakan megaskopis sampel breksi freatomagmatik teralterasi silika+dikit±alunit, (B) Kenampakan XPL sampel breksi freatomagmatik polimiktik.

Struktur Geologi

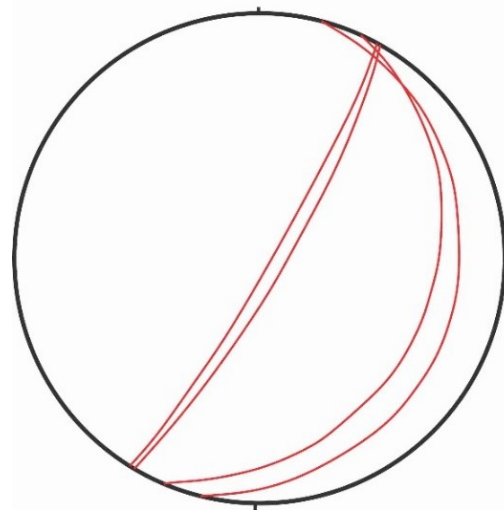
Struktur geologi di daerah penelitian dibagi ke dalam 2 jenis berdasarkan hubungannya dengan mineralisasi yaitu struktur *pre-syn* mineralisasi yang terbentuk sebelum atau bersamaan dengan mineralisasi, dan struktur *post* mineralisasi. Struktur yang termasuk ke dalam *pre-syn* mineralisasi meliputi kontak litologi antara satuan breksi freatomagmatik polimiktik dengan satuan kubah intrusi diorit dengan kedudukan N 210°E/50°, urat kuarsa (Gambar 6), dan urat dikit 1 dan 2 (Gambar 8). Urat kuarsa yang ditemukan di lapangan memiliki dimensi 20 cm -1 m dengan tekstur masif, *patchy vuggy*, dan *crustiform*. Urat ini cenderung mengikuti struktur berupa bukaan berarah relatif timur laut – barat daya (Gambar 7) dengan kedudukan yang diukur di lapangan pada STA 3 dan STA 5 dengan kedudukan N 30°E/85° dan N 30°E/80° serta memiliki lebar ±20 cm. Pengukuran pada STA 17 dan STA19 menunjukkan kedudukan urat N 15° E/20° dan N 25° E/40°. Urat dikit 1 dan 2 memiliki dimensi 15 - 35 cm dengan kedudukan N 30°E/75°.

Struktur *post* mineralisasi di daerah penelitian diidentifikasi hadir setelah mineralisasi karena keberadaannya yang tidak mengontrol arah dari mineralisasi yang ada di daerah penelitian dan meliputi *shear fracture* kubah intrusi diorit 1 dan 2,

serta sesar turun geser menganan diperkirakan yang kenampakannya di lapangan diidentifikasi berdasarkan proyeksi *gouge* yang ditemui pada intibor lalu diproyeksikan ke permukaan dan arahnya dikorelasikan dengan analisis kelurusan struktur pada citra DEM (Gambar 9).



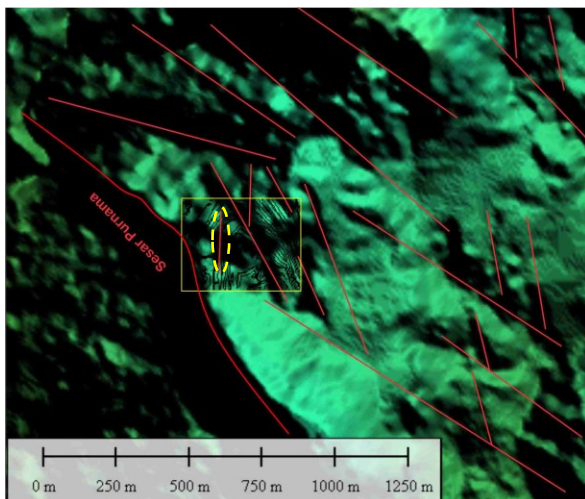
Gambar 6 Kenampakan urat kuarsa di lapangan.



Gambar 7. Analisis stereografis urat kuarsa menunjukkan arah relatif timur laut – barat daya.



Gambar 8. Kenampakan urat dikit di lapangan memotong breksi freatomagmatik polimiktik.

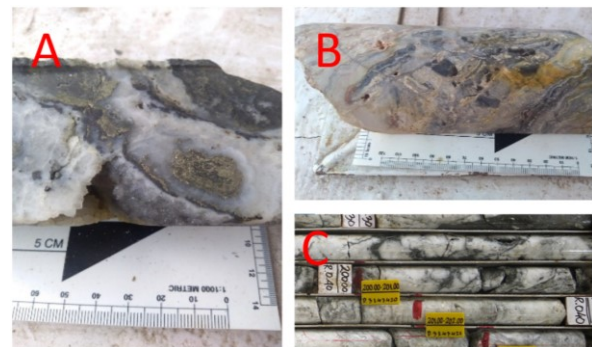


Gambar 9. Interpretasi sesar turun geser menggunakan diperkirakan (lingkaran kuning).

Alterasi dan Mineralisasi Bijih Daerah Penelitian

Alterasi di daerah penelitian meliputi silika *vuggy*-masif, silika+dikit±alunit, ilit+smektit, dan smektit+klorit. Alterasi silika *vuggy*-masif mengalami tumpang tindih dengan zona urat kuarsa yang diindikasikan sebagai urat epitermal sulfidasi rendah yang telah terbentuk sebelumnya (Gambar 10), dan juga mengalterasi satuan breksi freatomagmatik polimiktik dan satuan lava andesit di bagian selatan daerah penelitian. Menurut Sutopo (2013), kehadiran kondisi epitermal sulfidasi rendah ini berkaitan dengan pembentukan kubah intrusi diorit yang menghadirkan bidang lemah sehingga

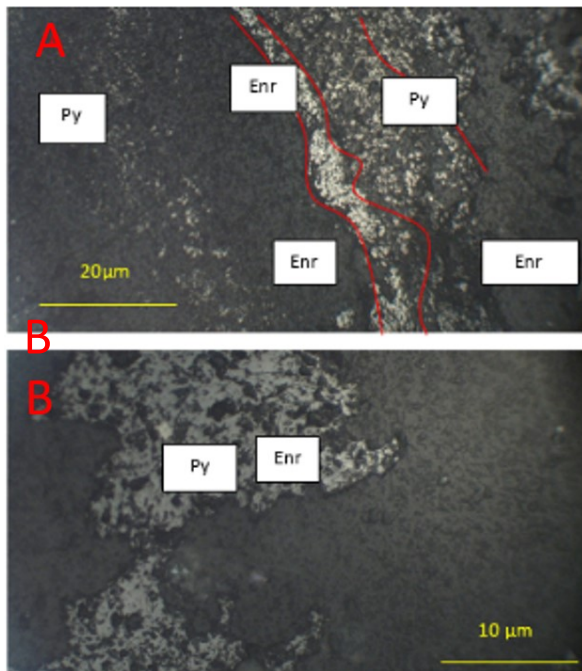
memungkinkan fluida magmatik untuk bercampur dengan fluida meteorik dan menghasilkan konveksi dalam kondisi sulfidasi yang rendah. Kondisi epitermal sulfidasi rendah ini juga menghasilkan alterasi smektit+klorit yang terbentuk pada pH mendekati netral dan mengalterasi satuan kubah intrusi diorit. Setelah fase epitermal sulfidasi rendah, hadir alterasi bersifat sulfidasi tinggi yang ditandai oleh kehadiran alterasi silika *vuggy* yang mengalterasi urat kuarsa, breksi freatomagmatik polimiktik, dan lava andesit, alterasi silika+dikit±alunit yang hadir mengelilingi zona alterasi silika *vuggy*-masif, dan alterasi ilit+smektit pada bagian paling luar dan mengalterasi seluruh satuan batuan.



Gambar 10. (A) Urat kuarsa yang terpotong oleh sulfida berupa pirit dan enargit, (B) urat kuarsa *crustiform* mengalami *overprint* dengan tekstur *vuggy* dan kemudian terisi oleh dikit, (C) urat kuarsa masif terpotong veinlet enargit.

Berdasarkan korelasi deskripsi data inti bor dan data sekunder berupa kadar Cu dan Au yang didapatkan dari hasil *fire assay* PT. Agincourt Resources, diketahui bahwa bijih berupa emas maupun tembaga di daerah penelitian diketahui hadir secara terikat pada mineral sulfida berupa enargit (Cu_3AsS_4). Hal ini diindikasikan oleh kadar Au dan Cu yang cenderung tinggi pada urat kuarsa maupun breksi freatomagmatik polimiktik yang terpotong oleh urat dan veinlet berisi enargit. Mineralisasi enargit dapat ditemukan secara dominan pada zona alterasi silika *vuggy*-masif dengan tekstur veinlet, urat, prisma mengisi rongga, dan secara setempat pada alterasi silika+dikit±alunit secara terdiseminasi. Berdasarkan hasil analisis mineral bijih, enargit diketahui terbentuk setelah pirit dan ditandai oleh munculnya mineral pirit yang menginklusi mineral enargit pada sampel M1/1706 (Gambar 11).

Mineralisasi lain yang ditemukan di daerah penelitian yaitu mineral pirit yang hadir secara terdiseminasi pada seluruh jenis litologi dan zona alterasi, serta membentuk veinlet dan urat, dan juga mineral oksida berupa hematit, goetit, dan jarosit yang terbentuk dalam kondisi supergen.



Gambar 11. (A) Veinlet pirit dan enargit pada urat kuarsa, (B) Pirit menginklusi mineral enargit.

Kontrol Geologi terhadap Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi Bijih

Kondisi geologi yang mengontrol daerah penelitian yaitu *host rock* berupa breksi freatomagmatik polimiktik yang kemudian dipotong oleh urat kuarsa berarah timur laut – barat daya serta mengalami alterasi silika *vuggy*-masif dan silika+dikit±alunit. Persebaran alterasi relatif berarah NNE-SSW dengan zona silika *vuggy*-masif berada di bagian tengah daerah penelitian, zona alterasi silika+dikit±alunit di sekelilingnya, zona ilit+smektit di bagian luar, dan di bagian terluar tepatnya bagian timur daerah penelitian terdapat zona alterasi smektit+klorit. Hasil interpretasi kelurusan pada citra DEM menunjukkan bahwa struktur – struktur di sekitar daerah penelitian memiliki arah yang sama dengan Sesar Sumatera, dan menghasilkan bukaan berarah timur laut - barat daya yang terisi oleh fluida hidrotermal yang membentuk urat kuarsa epitermal sulfidasi rendah dan mineralisasi sulfidasi tinggi, maupun pada litologi berupa breksi freatomagmatik polimiktik sehingga struktur dan litologi merupakan faktor yang mengontrol persebaran alterasi dan mineralisasi daerah penelitian. Kehadiran struktur ini umum dijumpai pada batas konvergen-oblique dan berkembang sebagai *en echelon* pada batuan bersifat brittle hingga semi brittle dan membentuk urat serta mineralisasi (Corbett dan Leach, 1997; Corbett, 2002; Corbett, 2013). Munculnya urat kuarsa epitermal menunjukkan bahwa ada zona lemah yang dapat menjadi celah bagi fluida

hidrotermal bersifat asam untuk naik ke permukaan. Fluida hidrotermal bersifat asam dihasilkan selama kondensasi volatil menuju reservoir dari air meteorik (Hedenquist dkk., 1994 dalam Sutopo, 2013; King dkk., 2014). Volatil ini dihasilkan karena proses menghilangnya gas dari magma di kedalaman dan memuat komponen berupa gas SO₂, HCl, CO₂, H₂S, dan HF yang relatif teroksidasi (Sutopo, 2013). Fluida ini yang kemudian melarutkan batuan di sekitarnya sehingga menghasilkan alterasi silika *vuggy* pada temperatur sekitar 250°C dan pH <2 (Sutopo, 2013). Kehadiran alterasi silika ini dapat menjadi akuifer subsekuen bagi fluida yang membawa bijih (Arribas, 1995; White, 1991 dalam Hedenquist dkk., 2000). Fluida pembawa bijih ini hadir dalam kondisi pH lebih tinggi, tidak terlalu teroksidasi, dan relatif memiliki salinitas lebih tinggi dan mengendapkan mineral bijih berupa sulfat dan pirit (Hedenquist dkk., 1998 dalam Hedenquist dkk., 2000; Pirajno, 2010). Mineralisasi yang dibawa oleh fluida ini terendapkan pada matriks breksi freatomagmatik polimiktik, rongga pada zona alterasi *vuggy*-masif, dan pada veinlet serta urat sulfida yang banyak memotong breksi maupun urat kuarsa yang ada. Kehadiran porositas yang baik pada breksi menyebabkan kadar Au dan Cu yang tinggi di daerah penelitian ditemukan pada satuan ini.

5. Kesimpulan

Tiga satuan litologi pada daerah penelitiandari tua ke muda yaitu satuan labva andesit, kubah intrusi diorit, dan breksi freatomagmatik polimiktik dengan struktur *pre-syn* mineralisasi berupa kontak litologi, urat kuarsa, serta urat dikit 1 dan 2. Struktur *post* mineralisasi terdiri atas *shear fracture* kubah intrusi diorit 1 dan 2 serta sesar turun geser menganan diperkirakan. Zona alterasi pada endapan epitermal sulfidasi tinggi terdiri dari silika *vuggy*-masif, zona alterasi silika+dikit±alunit, zona alterasi ilit+smektit, dan zona alterasi smektit+klorit. Mineralisasi berupa enargit, pirit terdiseminasi, serta oksida hematit, dan goetit. Alterasi pada epitermal sulfidasi rendah adalah smektit+klorit. Mineralisasi bijih dimulai dari pembentukan mineral pirit, kemudian enargit, emas dan terakhir mineral oksida. Secara umum mineralisasi yang ada dikontrol oleh kehadiran struktur berarah timur laut – barat daya, dan juga porositas batuan berupa breksi freatomagmatik polimiktik yang menjadi batuan induk (*host rock*).

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didukung penuh oleh manajemen PT. Agincourt Resources, termasuk ijin mengakses data permukaan dan lubang bor hingga pengiriman sampel. Para *geologist* khususnya di Departemen Eksplorasi dan MineGeo PT. Agincourt Resources beserta kru

lapangan yang membantu selama proses pekerjaan lapangan. Penulis menyampaikan penghargaan dan terimakasih yang sebesar-besarnya untuk pendanaan dan bantuan semua pihak di atas.

Daftar Pustaka

- Arribas Jr., A., 1995. Characteristics of high-sulphidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid. Mineralogical Association of Canada Short Course 23, 419-425
- Aspden, J.A., Kartawa, W., Aldis, D.T., Djunuddin, A., Whandoyo, R., Diatma, D., Clarke, M.C.G. dan Harahap, H., 1982. Geologi Lembar Padangsidempuran dan Sibolga, Sumatera. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Barber, A.J., Crow, M.J., dan Milsom, J.S., 2005. Sumatera: Geology, Resources and Tectonic Evolution, Geological Society of London, London, 86 pp.
- Belford, S., 2017. Final Report 2017 - Interpretation of the Geology of the Martabe Project Area, Laporan Intern PT. Agincourt Resources (tidak diterbitkan), 50 pp.
- Carlile, J.C., and Mitchell, A.H.G., 1994. Magmatic arcs and associated gold and copper mineralisation in Indonesia: in van Leeuwen, T.M., Hedenquist, J.W., James, L.P., and Dow, J.A.S., eds., Mineral Deposits of Indonesia, Discoveries of the Past 25 Years: Journal of Geochemical Exploration 50, 91-142.
- Corbett, G., dan Leach, T. M., 1997. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization, A workshop presented for the Society of Exploration Geochemists at Townville, 150 pp.
- Corbett, G., 2002. Epithermal Gold for Explorationists, AIG Journal-Applied Geoscientific Practice and Research in Australia, 60 pp.
- Corbett, G., 2013, *World gold Pacific Rim epithermal Au-Ag*, World Gold Conference, Brisbane: Australian Institute of Mining and Metallurgy Publication 9, 5-13.
- Davis, G. H., Bump, A. P., Garcia, P. E., dan Ahlgren, S. G., 1999. Conjugate Riedel Deformation Band Shear Zones, Elsevier Science Ltd., 170 pp.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., dan Gonzales-Urien, E., 2000. *Exploration for epithermal gold deposit*. Society of Economic Geologist Review 13, 245-277
- Hertijana, J.J., Jones, M.L., Hehuwat, P and Harlan, J.B., 2005. Martabe high sulphidation gold deposits, North Sumatra, Indonesia, IAGI Special Issues 2005, Indonesia Mineral and Discoveries, 59-73.
- King, J., Williams-Jones, A.E., van Hinsberg, V., dan Williams-Jones, G., 2014. High-sulfidation epithermal pyrite-hosted Au (Ag-Cu) ore formation by condensed magmatic vapors on Sangei Island, Indonesia, Economic Geology 109, 1705-1733.
- Manurung, S., 2019. Geologi, Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi Bijih Endapan Emas Epitermal Sulfidasi Tinggi Pit Ramba Joring, Desa Aek Pining, Kecamatan Batangtoru, Kabupaten Tapanuli Selatan, Provinsi Sumatera Utara. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, 150 p (tidak dipublikasikan)
- Pirajno, F., 2010. Hydrothermal Processes and Mineral Systems, Springer Science, Perth, 1273 pp
- Saing, S., Ryohei, T., dan Imai, A., 2016. Fluid inclusion and stable isotope study at the southeastern Martabe deposit: Purnama, Barani, and Horas Ore Bodies, Resources Geology 66, 1-22
- Sutopo, B., Jones, M.L., Levet, B.K., 2003. The Martabe gold discovery: A high sulphidation epithermal gold-silver deposit, North Sumatra, Indonesia, Proceedings of NewGenGold 2003 Conference, Perth, Australia, 147-158.
- Sutopo, B., 2013. The Martabe Au-Ag High-Sulfidation Epithermal Deposits, Sumatra, Indonesia: Implications for Ore Genesis and Exploration. Disertasi, University of Tasmania, Australia, 332 pp (tidak dipublikasikan).
- van Leeuwen, T., 2018. Twenty-Five More Years of Mineral Exploration and Discovery in Indonesia (1993-2017), Masyarakat Geologi Ekonomi Indonesia, 318 pp.