

**ALTERASI HIDROTHERMAL ENDAPAN SINABAR DAERAH BUKIT TEMBAGA,
IHA – LUHU, PULAU SERAM, MALUKU**
**HYDROTHERMAL ALTERATION OF CINNABAR DEPOSIT IN TEMBAGA HILL,
IHA – LUHU - SERAM ISLAND, MALUKU**

Herfien Samalehu¹, Arifudin Idrus², dan Nugroho Imam Setiawan²

¹Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, Pemerintah Daerah Provinsi Maluku

²Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
ferhin2001@yahoo.com

ABSTRAK

Daerah Iha – Luhu berlokasi di bagian barat Pulau Seram yaitu sekitar 59,2 km dari Kota Piru. Secara geografis terletak pada 128°0'35" s.d 128°2'42" BT dan 3°20'40" s.d 3°22'05" LS dan termasuk dalam wilayah Kecamatan Huamual Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku. Wilayah Iha – luhu tersusun atas litologi batuan metapelitik dan batuan malihan berderajat rendah yaitu satuan meta batupasir kuarsa – muskovit dan filit kuarsa – muskovit serta ditutupi secara tidak selaras oleh endapan aluvial di atasnya.

Daerah penelitian mempunyai tiga zona alterasi hidrotermal yaitu zona alterasi illit±kaolinit, zona alterasi illit±klorit dan zona alterasi illit±smektit±kaolinit. Zona alterasi illit±kaolinit dicirikan dengan himpunan mineral lempung yaitu illit dan kaolinit. Alterasi ini berasosiasi dengan meta-batulanau kuarsa-muskovit dan dominan pada meta-batupasir kuarsa-muskovit. Intensitas alterasi sedang – kuat (*moderate to strong altered*) dengan parameter presentase kehadiran mineral alterasi > 75 %. Berdasarkan kumpulan mineral alterasi kaolinit dan illit, maka zona alterasi illit±kaolinit terbentuk pada temperatur <220°-300°C. Zona Alterasi illit±klorit berasosiasi dengan pengayaan endapan bijih sinabar tipe urat (*fracture -related mineralization*) dan *disseminated* dimana pola alterasi merupakan pola alterasi *pervasive*. Zona ini dicirikan oleh kehadiran mineral lempung mika (illit) dengan kehadiran klorit dan kuarsa. Alterasi illit±klorit lebih dominan berasosiasi dengan filit kuarsa-muskovit dan meta-batulanau kuarsa-muskovit serta menyebar di bagian tengah Bukit Tembaga. Suhu pembentukan zona alterasi ini diperkirakan 250° - 300° C.

Zona alterasi illit±smektit±kaolinit menyebar secara luas di puncak Bukit Tembaga hingga pedataran rendah dengan luas area mencapai > 9,6 Km². Alterasi ini menyelubungi alterasi illit±klorit dan illit±kaolinit dengan pola alterasi *pervasive* dan intensitas alterasi tinggi/kuat (*strong altered*). Lempung pada zona ini merupakan alterasi mineral muskovit/serisit dan plagioklas. Kehadiran smektit pada zona alterasi ini mencerminkan kedalaman vertikal yang relatif jauh dari zona bijih (*ore*) atau pada bagian atas/top formasi dengan temperatur yang cenderung lebih rendah dibandingkan illit dan kaolinit. Suhu pembentukan zona alterasi ini diperkirakan pada temperatur 220°-300° C.

Kata kunci: Alterasi, hidrotermal, illit±kaolinit, illit±klorit, illit±smektit±kaolinit

ABSTRACT

Iha – Luhu area is located in the western part of Seram Island, which is about 59.2 km from city of Piru. Geographically, it is located at 128°0'35" to 128°2'42" East Longitude and 3°20'40" s.d 3°22'05" South Latitude and is included in Huamual sub-district, West Seram Regency, Maluku. Stratigraphy of Iha – Luhu is composed of metapelitic rock and low grade metamorphic lithologies, namely meta quartz – muscovite sandstone units and quartz – muscovite phyllite unit and is unconformably covered by alluvial deposits.

Research area consists of three hydrothermal alteration zones which are mentioned as illite±kaolinite alteration zone, illite±chlorite alteration zone and Illite±smectite±kaolinite alteration zone. Illite±kaolinite alteration zone is characterized by assemblage of clay minerals, presumably illite and kaolinite. This alteration is associated with quartz-muscovite meta-siltstone and dominant occurred to quartz-muscovite meta-sandstone. Intensity of alteration is moderate to strong altered which mainly describing percentage of alteration mineral presence more than 75%. Based on assemblage of kaolinite and illite alteration minerals thus illite±kaolinite alteration zone was formed at temperatures $220^{\circ}\text{--}300^{\circ}\text{C}$. Illite±chlorite alteration zone is associated with fracture-related mineralization and disseminated enrichment of cinnabar ore deposits where alteration pattern is a pervasive alteration show. This zone is characterized by presence of mica (illite) clay mineral and chlorite and quartz as well. Illite±chlorite alteration is more dominantly associated with quartz-muscovite phyllite and quartz-muscovite meta-siltstone and spread over in the middle of Bukit Tembaga. Formation Temperature of this alteration zone is estimated at $250^{\circ}\text{--}300^{\circ}\text{C}</math>.$

Illite±smectite±kaolinite alteration zone spread widely on top of Bukit Tembaga to lowlands and reaching area of $> 9.6\text{ Km}^2</math>. This alteration covers illite ± chlorite and illite ± kaolinite alterations with pervasive alteration pattern and strong altered alteration. Clay in this zone occurred due to alteration of muscovite/sericite and plagioclase minerals. Presence of smectite in this alteration zone reflects vertical depth that is relatively far from ore zone or at top of formation with temperature tend to be lower than illite and kaolinite minerals. Formation temperature of this alteration zone is estimated at $220^{\circ}\text{--}300^{\circ}\text{C}</math>.$$

Keywords: Alteration, hydrothermal, illite±kaolinite, illite±chlorite, illite±smectite±kaolinite

PENDAHULUAN

Alterasi hidrotermal merupakan pergantian mineralogi dan komposisi kimia ketika batuan berinteraksi dengan fluida hidrotermal (White, 1996). Himpunan mineral alterasi hidrotermal dan zonasinya berguna untuk mengetahui genesa dan tipe endapan bijih. Identifikasi kumpulan mineral alterasi hidrotermal dapat menentukan temperatur formasi dan pH oleh fluida hidrotermal. Proses alterasi hidrotermal melibatkan perubahan komposisi fluida hidrotermal dengan batuan sampling (*wall rock*) serta perubahan karakteristik kimia batuan induk (*host rock*) yang terdiri dari batuan tidak atau sedikit teralterasi (*least altered*) dan batuan teralterasi (*altered rock*).

Lokasi Iha – luhu terletak di bagian barat pulau Seram yang sebagian besar merupakan morfologi perbukitan Bukit Tembaga dan sisanya merupakan dataran rendah (Tjokosapoetro dan Budhitrisna, 1982; Tjokosapoetro dkk., 1993). Geologi wilayah penelitian tersusun oleh batuan metamorf kompleks Taunusa yang merupakan batuan metapelitik dan batuan

metamorf derajat rendah (Gambar 1 dan Gambar 2).

Studi alterasi hidrotermal di daerah penelitian bertujuan untuk menentukan kumpulan alterasi hidrotermal endapan sinabar di wilayah Iha - Luhu yang merupakan alterasi argilik.

Penentuan zona alterasi pada wilayah Iha - Luhu mengacu pada klasifikasi Lawless dan White, (1997) Kingston Morrison (1995), Corbett dan Leach (1996) dan Thompson dan Thompson (1996).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari pengambilan data lapangan, pemetaan alterasi hidrotermal, pengamatan petrologi dan mineralogi serta analisis XRD. Tujuan analisis XRD adalah untuk mengidentifikasi jenis mineral lempung, khususnya untuk mengidentifikasi alterasi argilik di Bukit Tembaga.

Metode pengambilan data terdiri dari pemetaan geologi permukaan (*surface*

mapping) serta pengamatan alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian. Metode Analisis yang digunakan antara lain analisis data terkait geologi dan alterasi serta analisis laboratorium yang terdiri dari petrografi dan mineragrafi serta analisis X-Ray Diffraction (XRD).

GEOLOGI

Morfologi

Morfologi daerah Iha – Luhu terdiri dari Satuan perbukitan berlereng curam – landai dan satuan dataran rendah (Samalehu, 1993). Satuan perbukitan berlereng curam – landai menempati sekitar 81,03% dari luas seluruh daerah penelitian dengan luas sekitar 9,67 km². Penyebarannya di bagian utara Bukit Tembaga yang merupakan wilayah perbukitan serta memanjang barat – timur. Satuan bentang alam ini dikontrol proses geologi muda berupa pelapukan, erosi dan gerakan tanah. Tingkat pelapukannya relatif tinggi dan tanah dijumpai pada lereng- Bukit Tembaga. Pemanfaatan satuan ini sebagai kawasan hutan heterogen, lahan pertanian dan perkebunan.

Satuan dataran rendah menyebar dengan luas sekitar 2,26 km² atau 18,97 % dari luas daerah penelitian yang memanjang timur - barat daerah penelitian dan umumnya merupakan morfologi pedataran pantai. Persentase kelerengan berkisar 0% - 2% yang meliputi daerah Bok-bok, Iha, Batukapal, Dusun Hujung serta sungai - sungai utama yaitu Wae Aeputi, Wai Hujung, Wae Airmati, Wae Samhutu dan Wae Tihua. Morfologi ini dominan dimanfaatkan sebagai permukiman penduduk. Satuan morfologi ini didominasi oleh bahan rombakan batuan dan sisa tumbuhan yang menyusun satuan endapan alluvial.

Stratigrafi

Stratigrafi daerah Iha – Luhu tersusun dari batuan metamorf berderajat rendah dan batuan metapeltik dari Kompleks Taunusa yaitu satuan meta batupasir kuarsa – muskovit dan satuan filit kuarsa muskovit yang berumur Miosen Tengah – Pliosen dan secara tidak selaras di atasnya diendapkan

endapan alluvial. Stratigrafi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Satuan filit kuarsa – muskovit. Merupakan litologi yang dominan di daerah penelitian, berwarna putih kelabu kehitaman, berbutir halus tersusun atas plagioklas, kuarsa, serisit, muskovit, opak, tekstur kristaloblastik - lepidoblastik serta dibeberapa tempat bersisipan dengan urat kuarsa. Di Dusun Hujung, perselingan filit kuarsa – muskovit dan Meta-batupasir kuarsa – muskovit memperlihatkan deformasi aliran lentur (*soft - ductile flow deformation*).

Satuan Meta-batupasir kuarsa – muskovit. Terdiri atas perselingan Meta-batupasir kuarsa – muskovit dan Meta-batulanau kuarsa – muskovit dan tersingkap baik di punggung Bukit Tembaga dan bagian selatan daerah penelitian. Jurus perlapisan (*strike*) berarah timur laut – barat daya dan kemiringan 17 – 41 derajat, umumnya tersusun oleh komposisi mineral muskovit, kuarsa, dan lempung. Di wilayah penelitian, meta-batupasir kuarsa – muskovit dan meta-batulanau kuarsa – muskovit telah teralterasi dengan pola *pervasive – Selectively pervasive*, intensitas alterasi tinggi (*strong altered*).

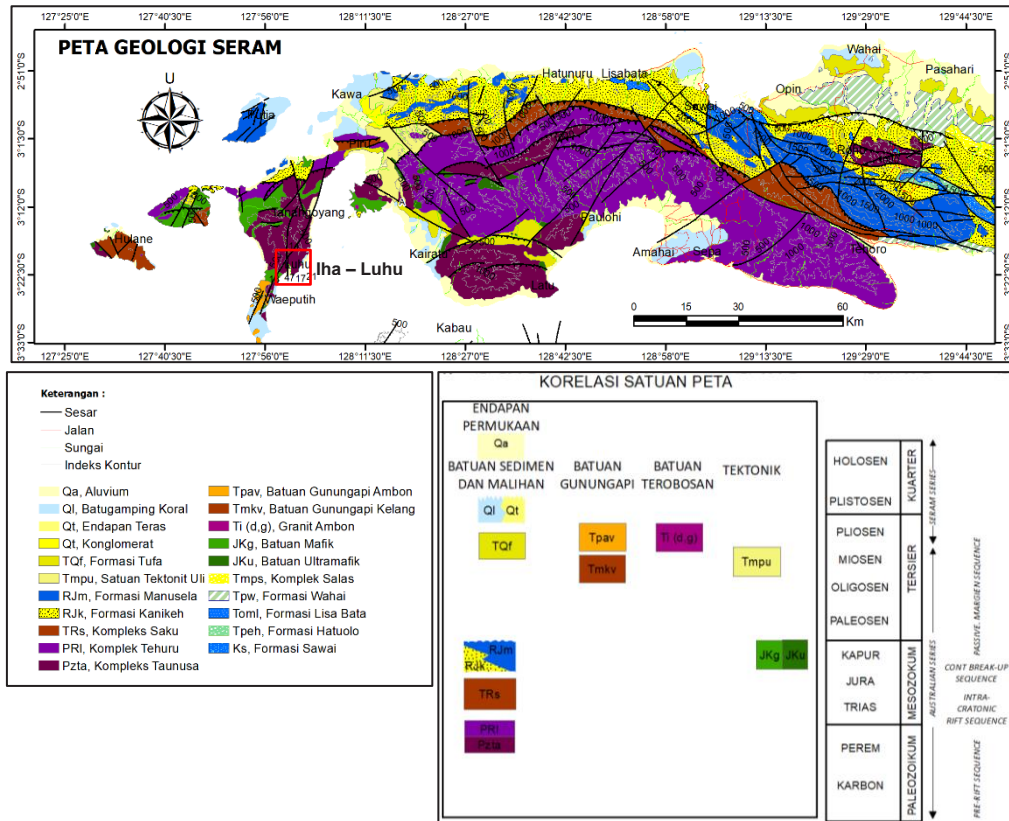
Endapan Alluvial. Penyusun satuan endapan aluvial ini merupakan material sedimen dengan ukuran lempung hingga kerakal dan mengandung sinabar. Warna endapan alluvial berwarna abu-abu kecoklatan hingga kemerahan terutama di Dusun Hujung. Karakteristik endapan alluvial bersifat lepas, terpilah buruk dan lunak yang sebagian besar merupakan material rombakan dengan intensitas pelapukan tinggi serta berkembangnya alterasi argilik.

Struktur geologi

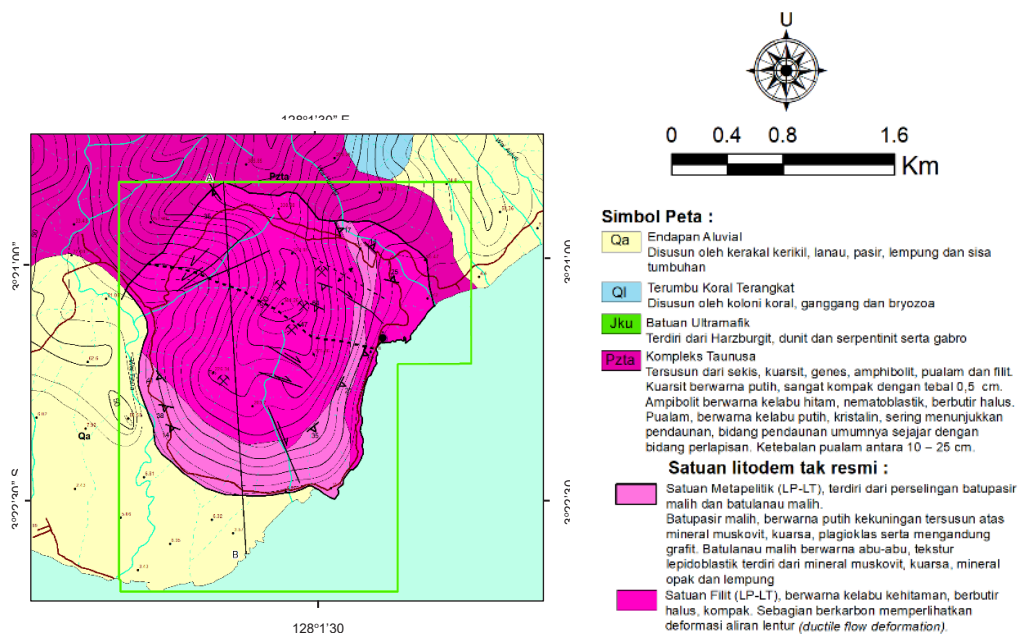
Pulau Seram dan Busur Banda dikenal sebagai zona interaksi antara Lempeng Australia dan Lempeng Eurasia yang merupakan batas konvergen Busur Banda berbentuk “U” (Patria dan Hall, 2018). Iha – Luhu merupakan daerah di bagian barat Pulau Seram dengan struktur yang berkembang berupa sesar geser dengan liniasi berarah timur laut – barat daya dan

tenggara – barat laut dan mengontrol pola mineralisasi sinabar di lokasi penelitian. Lipatan antiklin yang terbentuk pada punggung Bukit Tembaga dibagian utara timur laut ditunjukkan dengan kemiringan

(*dip*) foliasi batuan antara 25 – 64 derajat yang cenderung berarah timur laut – barat daya dengan sudut kemiringan landai – curam.



Gambar 1. Sebagian Peta geologi Seram (Tjokosapoetro dkk., 1993)



Gambar 2. Peta geologi Iha – Luhu (Samalehu, 2021)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembagian zona alterasi hidrotermal di Bukit Tembaga didasarkan atas pengamatan lapangan dan disesuaikan dengan tipe alterasi pada Tabel 1 dan Tabel 2. Selain itu,

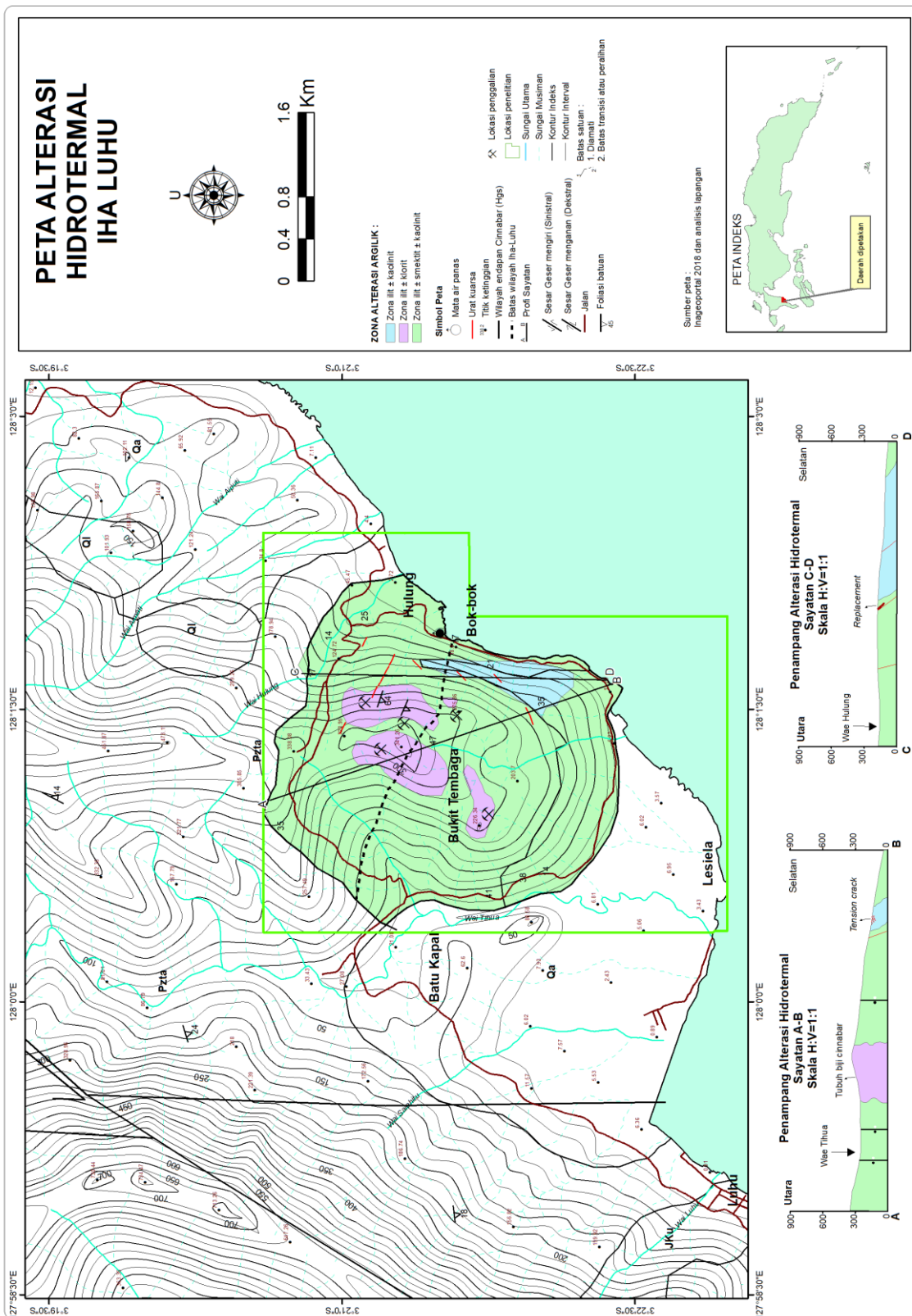
tingkat alterasi dan mineral alterasi yang terbentuk ditunjang dengan menggunakan pengamatan petrografi. Karakteristik mineral pada sampel batuan terutama jenis - jenis mineral lempung dianalisis dengan menggunakan XRD.

Tabel 1. Temperatur pembentukan beberapa mineral alterasi (Hedenquist, 1997; Lawless dan White, 1997; Corbett dan Leach, 1996)

Kumpulan mineral alterasi	Hedenquist, 1997	Lawless dan White, 1997	Corbett dan Leach, 1996
Kaolin	< 200°C	< 220°C	< 150 - 200°C
Dikit	150 - 250	200 - 250°C	150 - 250
Smektit	<220	< 150 jarang sampai 200°C	< 100 - 150°C
Illit – smektit	150 - 220°C	150 - 230°C	100 - 200°C
Illit	>200°C	230 - 300°C	200 - 250°C
Serisit	-	> 270°C	> 200 - 250°C
Klorit – smektit	100 - 180°C	< 230°C biasanya < 200°C	-
Klorit	> 120 - 300°C	< 300°C	-
Piropillit	>100 - 300°C	> 260°C	200 - 250°C
Paragonit	-	> 260°C	-
Epidot	> 200 - 300°C	> 240°C	180 - 300°C
Prehnit	-	210 - 300°C	250 - 300°
Kalsit	< 300°C	< 300°C	-
Ankerit	-	> 210°C	-
Phengit	-	-	> 250 - 300°

Tabel 2. Kisaran temperatur mineralisasi sulfida dan oksida (Kingston Morisson, 1995; Reyes, 1990)

Mineralisasi sulfida dan oksida	Kisaran temperatur (°C)			
	0°	100°	200°	300°
Pirit	_____	_____	_____	_____
Kalkopirit	_____	_____	_____	_____
Magnetit	_____	_____	_____	_____
Bornit	_____	_____	_____	_____
Kovelit	_____	_____	_____	_____
Sfalerit	_____	_____	_____	_____
Galena	_____	_____	_____	_____
Kalkosit	_____	_____	_____	_____
Limonit	_____	_____	_____	_____
Kalaverit	_____	_____	_____	_____
Emas	_____	_____	_____	_____



Gambar 3. Peta alterasi hidrotermal wilayah Iha – Luhu

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, jenis alterasi yang berkembang di wilayah Bukit Tembaga Iha – Luhu adalah alterasi argilik. Batuan yang teralterasi merupakan batuan metapelitik dan filit kuarsa-muskovit yang tersebar secara merata dan memiliki karakteristik fisik lunak hingga sedang dengan intensitas alterasi sedang-kuat (*moderate to strong altered*).

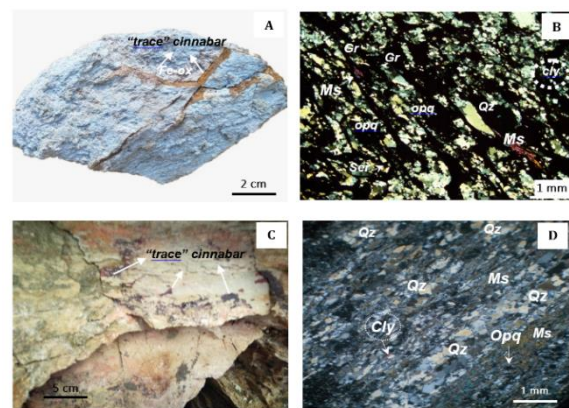
Meskipun alterasi cenderung intensif di Bukit Tembaga, namun beberapa sampel batuan masih memperlihatkan struktur sedimen asli. Dengan mengacu pada kehadiran himpunan mineral sekunder serta jenis lempung yang dijumpai di lapangan berdasarkan analisis XRD, maka zona alterasi argilik di daerah penelitian dibagi ke dalam 3 (tiga) kumpulan zona alterasi yaitu alterasi illit±kaolinit, alterasi illit±klorit dan alterasi illit±smektit±kaolinit. Penyebaran dan luasan alterasi argilik di wilayah Bukit Tembaga Iha - Luhu tersebut ditampilkan dalam peta alterasi hidrotermal, Iha – Luhu (Gambar 3).

Zona illit±kaolinit

Alterasi illit±kaolinit terletak di Bukit Tembaga, dicirikan dengan himpunan mineral lempung yaitu illit dan kaolinit, berasosiasi dengan batuan metapelitik yaitu meta-batuanau kuarsa-muskovit dan dominan pada meta-batupasir kuarsa-muskovit. Intensitas alterasi sedang – kuat (*moderate to strong altered*) dengan parameter presentase kehadiran mineral alterasi >75%. Jenis alterasi yang terbentuk menggantikan seluruh atau sebagian besar mineral primer, umumnya muskovit/serisit dan plagioklas meskipun dengan intensitasnya yang berbeda. Alterasi illit±kaolinit ini terbentuk pada kedalaman yang relatif jauh dari zona bijih serta adanya asosiasi grafit dan mineral opak. Alterasi ini terjadi di luar batas zona urat kuarsa dan endapan sinabar dengan asosiasi urat kuarsa masif. Kehadiran mineral Grafit terbentuk oleh metamorfisme regional di wilayah Bukit Tembaga.

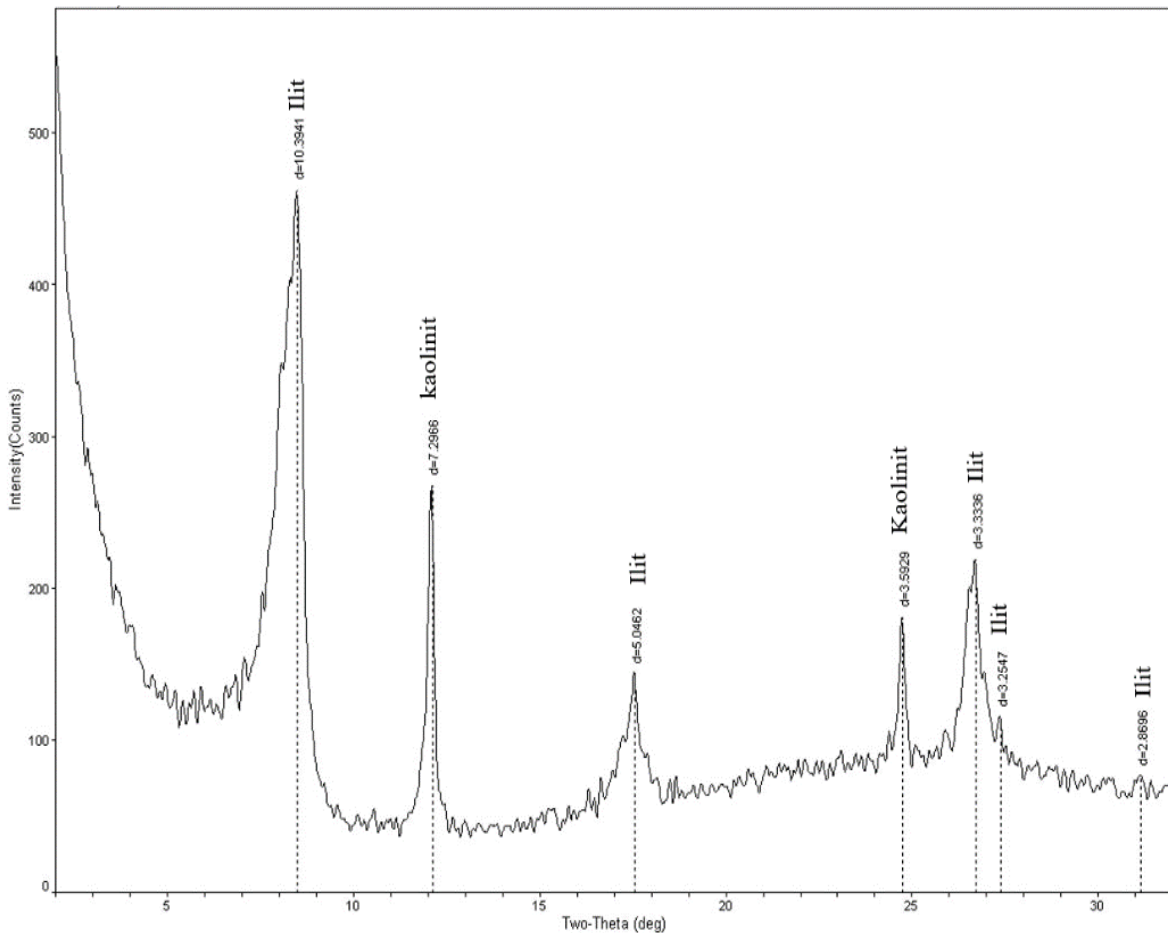
Pada pengamatan lapangan zona ini menunjukkan warna putih keabu-abuan, alterasi sebagian – menyeluruh (Gambar 4.A-C), sebagian besar komposisi penyusun batuan telah berubah ataupun hanya mineral

tertentu yang tergantikan seperti muskovit dan serisit yang berubah menjadi illit dan kaolinit. Di bawah pengamatan mikroskop (Gambar 4.B), zona ini ditandai dengan ubahan sebagian. Lempung menggantikan muskovit dan serisit serta tersusun sebagai massa dasar bersama kuarsa (Qz), opak (opq) dan grafit (gr). Alterasi illit±kaolinit memiliki penyebaran di bagian selatan Bukit Tembaga dan diselubungi oleh alterasi illit±smektit±kaolinit yang tersebar luas pada bagian utara dengan luasan mencapai 0,65 km².



Gambar 4. A. Sampel setangan yang diambil dari sampel alterasi illit±kaolinit (alterasi sebagian – menyeluruh) pada LH-02 dengan “trace” urat sinabar. B. Fotomikrograf polarisasi silang sampel meta-batupasir kuarsa-muskovit pada stasiun IHA-01 yang memperlihatkan mineral kuarsa (Qz), lempung (Cly), muskovit (Ms), serisit (ser) serta menunjukkan asosiasi mineral opak (opq) dan grafit (Gr). C. “Trace” sinabar pada meta-batupasir kuarsa-muskovit berubah, ubahan sebagian pada stasiun LH-03. D. Fotomikrograf polarisasi silang pada stasiun LH-03 yang menunjukkan mineral kuarsa (Qz), lempung (Cly), muskovit (Ms) dan mineral opak (opq).

Jenis lempung illit±kaolinit (Gambar 5) mendominasi sebagai alterasi pada komposisi utama filit kuarsa-muskovit dan batuan metapelitik yaitu muskovit/serisit serta plagioklas (potasium feldspar atau feldspar plagioklas). Berdasarkan kumpulan mineral alterasi kaolinit dan illit, maka zona alterasi illit±kaolinit terbentuk pada temperatur <220-300°C (Lawless dan White, 1997).



Gambar 5. Hasil analisis XRD (*Clay-Ar Dried*) pada sampel LH - 03

Zona illit±klorit

Alterasi ini dicirikan oleh kehadiran mineral lempung mika (illit), klorit dan kuarsa. Alterasi illit±klorit dominan berasosiasi dengan filit kuarsa-muskovit dan batulanau serta menyebar di bagian tengah Bukit Tembaga. Pada pengamatan di lapangan, alterasi ini berasosiasi dengan pengayaan endapan bijih sinabar tipe urat (*fracture-related mineralization*) dan *disseminated* dengan pola alterasinya menyeluruh, terbentuk menggantikan sebagian besar mineral pembentuk batuan.

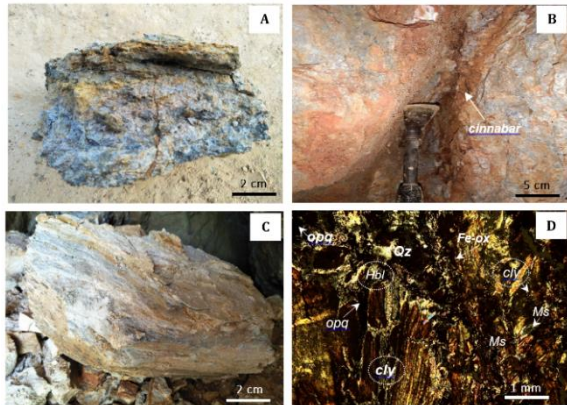
Illit menggantikan mika dan serisit sedangkan klorit merupakan alterasi dari hornblende dan plagioklas. Zona alterasi dicirikan dengan warna putih kehijau-hijauan, menunjukkan adanya dominasi ubahan dari *clay* dan klorit. Pada pengamatan mikroskop (Gambar 6.D) memperlihatkan adanya kehadiran mineral

hornblende (Hb), kuarsa (Qz), opak (opq), oksida besi (Fe-ox), dan lempung (*clay*).

Kehadiran mineral hornblende pada meta-batulanau kuarsa-muskovit di Bukit Tembaga merupakan proses metamorfisme yang berkaitan atau berasosiasi dengan metamorfisme basal (Pownall dkk., 2013). Hornblende kemudian teralterasi menjadi klorit dan umumnya terbentuk pada kondisi dengan temperatur rendah s.d. tinggi dengan asosiasi mineral ini hadir dan melimpah pada zona bijih (*ore*). Batuan induk (filit) yang mengalami ubahan alterasi intensif menjadi rapuh pada zona yang berasosiasi dengan zona bijih dan dipengaruhi oleh kontrol struktur yang berarah utara baratlaut - selatan tenggara dan utara timurlaut - selatan baratdaya.

Penyebaran alterasi illit±klorit berada pada bagian puncak Bukit Tembaga, berasosiasi atau dekat dengan bijih sinabar dengan zona

pelamparan alterasi pada 4 zona bijih utama di Bukit Tembaga yaitu 230 m, 500 m, 800 m dan < 1 km. Zona alterasi ini mengelilingi alterasi illit±smektit±kaolinit dengan arah penyebaran relatif utara–selatan dan sebagian barat – timur.

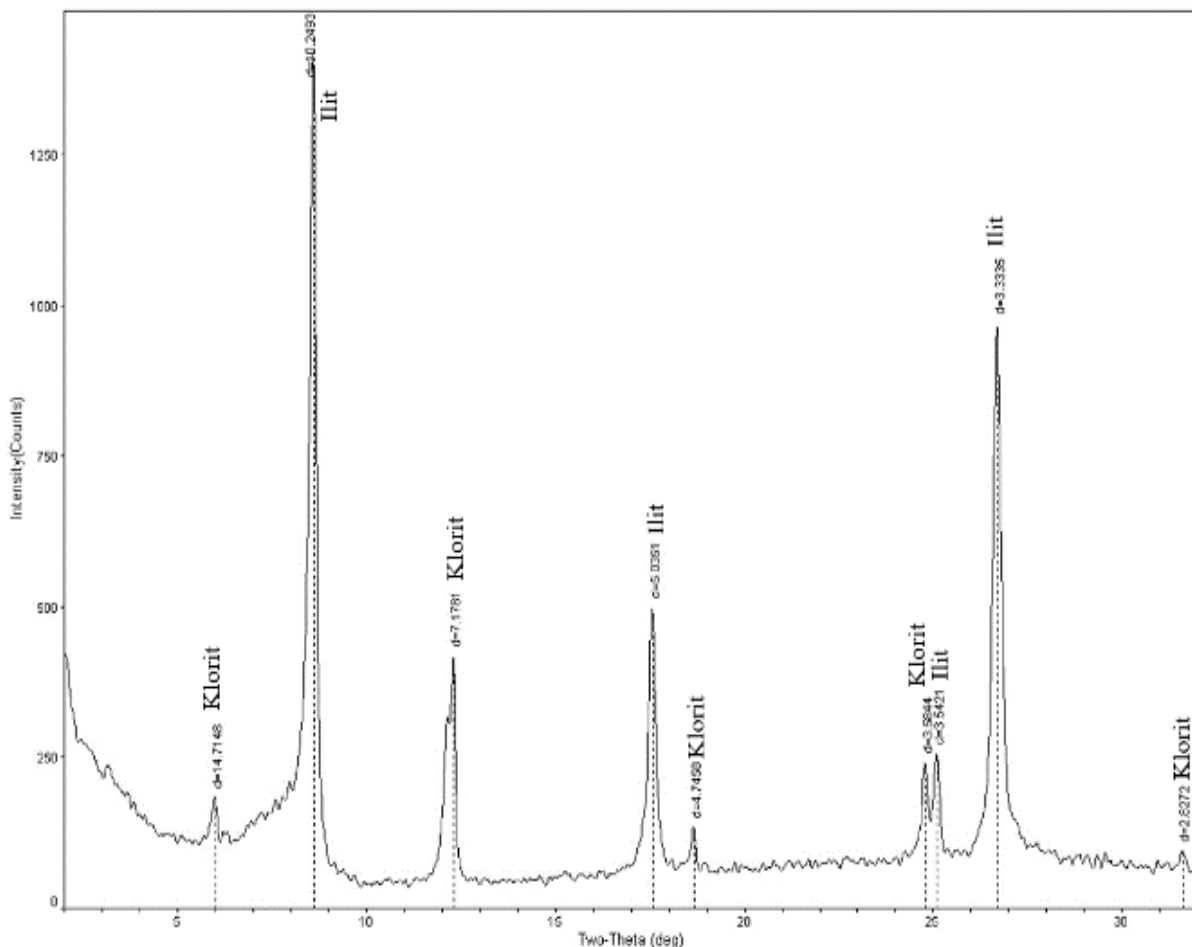


Gambar 6. Alterasi illit±klorit di Iha-Luhu: A. Sampel setangan sampel IHA-11. B. Zona

bijih (ore) urat sinabar yang berasosiasi dengan alterasi illit±klorit di Bukit Tembaga. C. *Close-up* filit kuarsa-muskovit teralterasi, *selectively - pervasively altered* pada stasiun IHA-12. D. Fotomikrograf polarisasi silang meta-batuanau kuarsa stasiun RMT-01 yang memperlihatkan mineral hornblende (Hbl), muskovit (Ms), kuarsa (Qz), mineral opak (opq), oksida besi (Fe-Ox) dan lempung (cly).

Berdasarkan kehadiran himpunan mineral klorit, illit dan kuarsa maka kisaran temperatur pembentukan dari alterasi ini adalah sekitar 250 - 300°C. (Hedenquist, 2000; Lawless dan White, 1997; Corbett dan Leach, 1996; Corbett dan Leach, 1997).

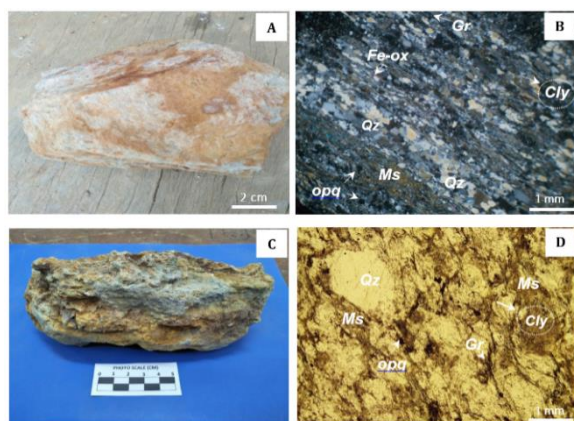
Data XRD alterasi illit±klorit pada sampel IHA - 11 ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil analisis XRD (*Clay-Ar Dried*) pada sampel IHA - 11

Zona illit±smektit±kaolinit

Zona alterasi illit±smektit±kaolinit menyebar secara luas di puncak Bukit tembaga hingga pedataran rendah mencapai luas area >9,6 Km². Karakteristik alterasi illit±smektit±kaolinit dicirikan dengan warna tanah putih abu-abu, lepas namun secara umumnya masih dijumpai foliasi batuan metamorf. Alterasi ini menyelubungi alterasi illit±klorit dan illit±kaolinit serta merupakan alterasi terluas di wilayah penelitian.



Gambar 8. A. Sampel setangan yang diambil dari sampel alterasi illit±smektit±kaolinit pada stasiun IHA-06 B. Fotomikrograf polarisasi silang (XPL) sampel meta-batupasir kuarsa-muskovit pada stasiun IHA-06 yang memperlihatkan mineral lempung (cly) yang menggantikan muskovit/serisit (Ms) atau *selectively pervasive alteration* serta berasosiasi dengan oksida besi (Fe-Ox), mineral kuarsa (Qz), opak (opq) dan grafit (Gr). C. Meta-batupasir kuarsa-muskovit yang diambil pada stasiun IHA-03. D. Fotomikrograf polarisasi sejajar sampel meta-batupasir kuarsa-muskovit stasiun IHA-03, *selectively pervasive alteration* yang memperlihatkan mineral lempung (cly) yang menggantikan muskovit/serisit (Ms), serta berasosiasi dengan mineral kuarsa (Qz), opak (opq) dan grafit (Gr).

Alterasi yang dijumpai di lapangan berpola *pervasive*, artinya seluruh atau sebagian besar tergantikan sebagai mineral sekunder dengan tingkat intensitas alterasi tinggi/kuat (*strong altered*). Lempung yang terbentuk pada zona ini umumnya merupakan alterasi

mineral muskovit/serisit dan plagioklas, tetapi pola intensitasnya berbeda (*pervasive*). Kehadiran smektit pada alterasi ini mencerminkan bahwa pada kedalaman vertikal dari tubuh bijih, smektit biasanya menunjukkan relatif jauh dari zona bijih (*ore*) atau pada bagian atas/*top* formasi dengan temperatur yang cenderung lebih rendah dibandingkan illit dan kaolinit.

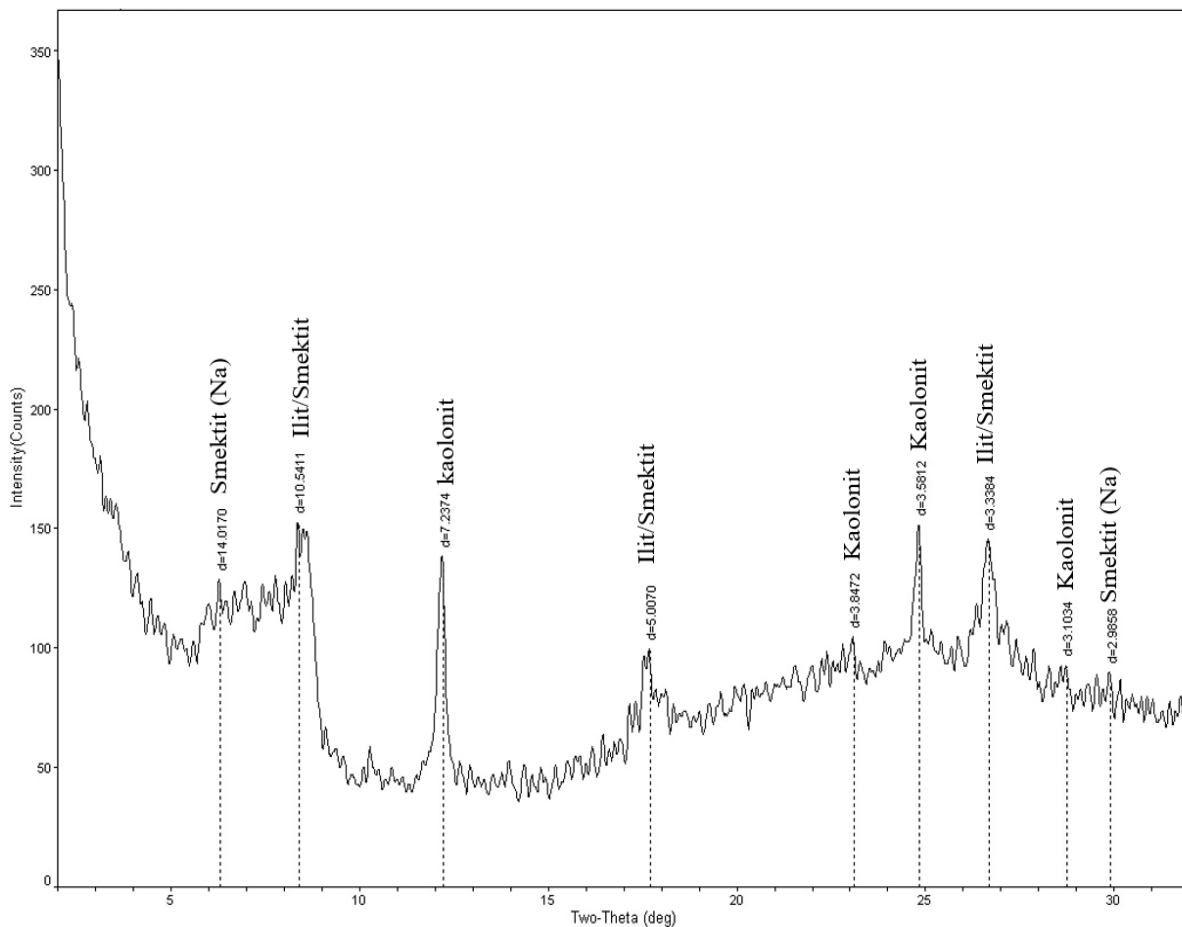
Di bawah pengamatan mikroskop (Gambar 8.B-D), pola alterasi *selectively pervasive alteration* ditandai dengan kehadiran lempung menggantikan muskovit/serisit dan menyusun massa dasar dengan asosiasi mineral kuarsa (Qz), opak (opq) dan grafit (Gr). Alterasi illit±smektit±kaolinit memiliki penyebaran yang relatif dekat – jauh dari zona mineralisasi bijih, berasosiasi dengan sesar – sesar geser (*strike slip*) dan zona antiklinal yang terbentuk di bagian timur Bukit Tembaga.

Alterasi illit±smektit±kaolinit terjadi di luar batas zona urat endapan sinabar dengan asosiasi urat kuarsa masif. Di Desa Bok-Bok, alterasi ini berasosiasi dengan logam sulfida pirit±pirhotit, meskipun korelasi hubungan antara sulfida dengan sinabar di lapangan tidak diketahui.

Di zona alterasi ini, kehadiran mineral grafit terbentuk sebagai proses metamorfisme regional pada batuan filit kuarsa-muskovit dan metapelitik di wilayah Bukit Tembaga.

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, lempung di zona alterasi ini didominasi oleh illit, kaolinit dan smektit. Dalam lingkungan stabilitas alterasi hidrotermal, smektit terbentuk pada suhu berkisar <220°C (Hedenquist, 2000) sedangkan kaolin dan illit masing-masing terbentuk pada temperatur 220°C dan 300°C (Hedenquist, 2000; Lawless dan White, 1997). Oleh karena itu, zona alterasi ini diperkirakan terbentuk pada temperatur 220-300°C (Hedenquist, 2000; Lawless dan White, 1997; Corbett dan Leach, 1996).

Data XRD alterasi illit±smektit±kaolinit pada sampel IHA - 06 ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil analisis XRD (*Clay-Ar Dried*) pada sampel IHA – 06

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan mengetahui zona alterasi di daerah Bukit Tembaga maka dapat diketahui genesa dan tipe endapan bijih sinabar yang terbentuk di daerah penelitian.
2. Zona alterasi illit±kaolinit, ditandai dengan mineral illit dan kaolinit yang berasosiasi dengan meta-batulanau kuarsa-muskovit dan dominan pada meta-batupasir kuarsa-muskovit. Intensitas alterasi sedang – kuat dengan parameter presentase kehadiran mineral alterasi > 75 % dan terbentuk pada temperatur <220°-300°C (Lawless dan White, 1997).
3. Zona Alterasi illit±klorit ditandai dengan kehadiran klorit dan kuarsa. Alterasi illit±klorit lebih dominan berasosiasi dengan filit kuarsa-muskovit. Alterasi ini berasosiasi dengan pengayaan endapan

4. Zona alterasi illit±smektit±kaolinit menyelubungi alterasi illit±klorit dan illit±kaolinit. Lempung pada zona ini merupakan alterasi mineral muskovit/serisit dan plagioklas. Kehadiran smektit pada zona alterasi ini mencerminkan kedalaman vertikal yang relatif jauh dari zona bijih (*ore*) atau pada bagian atas/top formasi dengan temperatur yang cenderung lebih rendah dibandingkan illit dan kaolinit.
5. Hubungan antara zona alterasi dan mineralisasi di Bukit tembaga menunjukkan bahwa alterasi illit±klorit lebih dekat zona bijih endapan sinabar dengan pelamparan secara lateral maupun vertikal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pemerintah Daerah Provinsi Maluku dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah membantu penelitian ini. Tak lupa kami ucapkan terimakasih kepada Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta dalam penggunaan fasilitas untuk pengamatan Laboratorium. Selain itu, terimakasih atas dukungan Tim teknis Bidang Geologi pada Dinas ESDM Maluku yang telah membantu selama kegiatan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Corbett, G.J. dan Leach, T.M., 1996. Southwest Pacific Rim Gold-Copper System: Structure, Alteration and Mineralization SEG Special Publication No.6.Auckland, New Zealand.
- Kemp, G., Mogg, W., 1992. A re-appraisal of the geology, tectonics and prospectivity of Seram Island, Eastern Indonesia. *Proceedings of Indonesian Petroleum Association 21st Annual Convention*, 521–552
- Kingston Morrison, K., 1995. Important Hydrothermal Minerals and Their Significance. Geothermal and Mineral Services Division, Kingston Morrison Limited.
- Lawless, J.V., White, P.J., 1997. Important Hydrothermal Minerals and Their Significance. Geothermal and Mineral Services Division, Kingston-Morrison Ltd., 7th edition.
- Patria, A., Hall, R. 2018. Oblique Intraplate Convergence of the Seram Trough, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*, 33, 41 - 58
- Pownall, J.M., Hall, R. and Watkinson, I.M. 2013. Extreme extension across Seram and Ambon, eastern Indonesia: evidence for Banda slab rollback. *Solid Earth*, 4: 277–314.
- Reyes, A.G., 1990. Petrology of philipine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of volcanology and geothermal research*, 43, 279-330.
- Samalehu, H., 2021. Geologi, karakteristik dan mineralisasi hidrotermal batuan metamorf kompleks Tehoru dan Taunusa di Pulau Seram, Indonesia. *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Thompson, A.J.B, dan Thompson, J.F.H. 1996. Atlas of Alteration A Field and Petrographic Guide to Hydrothermal Alteration Minerals. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Department Of Earth Sciences, 118p.
- Tjokrosoepoetro, S., Achdan, A., Suwitodirdjo, S., Rusmana, E., Abidin, H.Z., 1993. Pemetaan Geologi lembar Ambon skala 1 : 250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Tjokrosoepoetro, S., Budhitrisna, T., 1982. Geology and tectonics of the northern Banda Arc. *Bulletin of the Indonesian Geological Research and Development Centre*, 6, 1–17.
- White, T.L., 1996. Cryogenic Alteration of Clay and Silt Microstructure, Implication for Geotechnical Properties. Ottawa: Carleton University.

Diterima	: 12 Juli 2022
Direvisi	: 9 November 2022
Disetujui	: 30 November 2022