



## Studi Fluida Pembawa Bijih Endapan Sinabar di Bukit Tembaga, Iha Luhu, Pulau Seram- Maluku

### *Ore – Forming Fluid of Cinnabar Deposit at Tembaga Hill, Iha – luhu, Seram Island-Maluku*

Herfien Samalehu<sup>1</sup>, Arifudin Idrus<sup>2</sup>, Nugroho Imam Setiawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, Pemerintah Daerah Provinsi Maluku,

<sup>2</sup>Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

e-mail : [ferhin2001@yahoo.com](mailto:ferhin2001@yahoo.com)

Naskah diterima: 09 September 2022, Revisi terakhir: 19 September 2023, Disetujui: 19 September 2023 Online: 13 November 2023  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24i4.727>

**Abstrak**-Lokasi penyelidikan terletak dibagian barat Pulau Seram dan tersusun oleh batuan metapelitik dan batuan metamorf berderajat rendah. Latar belakang dilakukannya penyelidikan ini disebabkan oleh masih minimnya studi mengenai karakteristik sifat kimia-fisik fluida hidrotermal pembentuk bijih endapan sinabar yang berasosiasi dengan batuan metamorf di Pulau Seram. Sejarah tekanan - temperatur selama proses mineralisasi oleh inklusi fluida menyiratkan asal fluida sumber bijih serta evolusinya selama mineralisasi. Metode penyelidikan menggunakan pemetaan geologi (*field-work*) yang dipadukan dengan mikrotermometri inklusi fluida. Lebih dari 61 inklusi fluida diukur untuk mendapatkan data mikrotermometrik menggunakan alat Linkam THMSG 600 *freezing and heating stages*. Inklusi fluida primer dari 2 tipe endapan sinabar yang berbeda di Iha – Luhu mengkristal pada temperatur homogenisasi (Th) 261 s.d 336°C dengan salinitas fluida dari 0,70 s.d 4.65% berat NaCl.ek serta temperatur leleh (Tm) sebesar -0,4 s.d -2,4°C. Fluida pembentuk bijih terdiri dari inklusi dua fase (VCO<sub>2</sub> + LH<sub>2</sub>O) yang kaya akan cairan ditandai dengan kandungan CO<sub>2</sub> yang rendah hingga tinggi serta bersalinitas rendah dan temperatur sedang. Terdapat 3 jenis urat kuarsa yang mewakili 2 tipe endapan sinabar di Iha – Luhu. Urat kuarsa tipe 1 (V<sub>1</sub>), konkordan dan merupakan endapan sinabar *disseminated* yang terbentuk pada suhu 264 s.d 307°C dengan salinitas 1,22 s.d 2,57 wt.% NaCl ek. Urat kuarsa tipe 2 (V<sub>2</sub>), diskordan, berasosiasi dengan endapan metasinabar serta terbentuk pada temperatur berkisar 293 s.d 331°C dan salinitas menunjukkan nilai 2.67 s.d 4.65 wt.% NaCl ek. Sedangkan urat tipe 3 adalah urat kuarsa (V<sub>3</sub>) yang berasosiasi dengan sinabar yang memotong foliasi batuan yang terbentuk pada temperatur 261-336°C dan salinitas 0,70 s.d 2,90 wt.% NaCl ek.

**Kata kunci:** Sinabar, inklusi fluida, mikrotermometri, *Ore-forming fluid*, temperatur.

**Abstract**-Research location is located in the western part of Seram Island and is composed of metapelitic rocks and low grade metamorphic rocks. The background of this research is due to lack of studies on chemical-physical characteristics of hydrothermal fluids that forming cinnabar ore deposits associated with metamorphic rocks in Seram Island. P-T history of the mineralization was revealed by fluid inclusions and this study will imply ore-fluids source and its evolution during mineralization. This research apply geological mapping which is combined with microthermometry of fluid inclusion. More than 61 fluid inclusions were measured to get the microthermometric data using Linkam THMSG 600 *freezing and heating stage*. The primary fluid inclusions from 2 different type of sinabar deposits at Iha – luhu crystallized at the homogenization temperature (Th) of 261 s.d 336°C with a fluid salinity from 0.70 to 4.65 wt% NaCl equivalent and melting temperature (Tm) of -0.4 to -2.4 °C. The ore-forming fluids consist of mainly two phases (VCO<sub>2</sub> + LH<sub>2</sub>O) liquid-rich aqueous inclusions, characterized by low to rich CO<sub>2</sub>, low salinity and moderate temperature. There are 3 veins type as ore-bearing fluids as representative of 2 deposit type of cinnabar: Quartz type 1- veins (V<sub>1</sub>); Concordant veins, formed at a temperature of 264 to 307 °C with an average salinity of 1.22 to 2.57 wt.% NaCl equivalent. Quartz type 2- veins (V<sub>2</sub>), tend to cut the rock foliation which are formed at temperature ranging from 293-331°C with average salinity shows a value of 2.67 to 4.65 wt.% NaCl equivalent. Meanwhile, Quartz type 23- veins (V<sub>3</sub>) which are formed in temperature range of 261 to 336°C and average salinity is 0.70 – 2.90 wt.% NaCl equivalent.

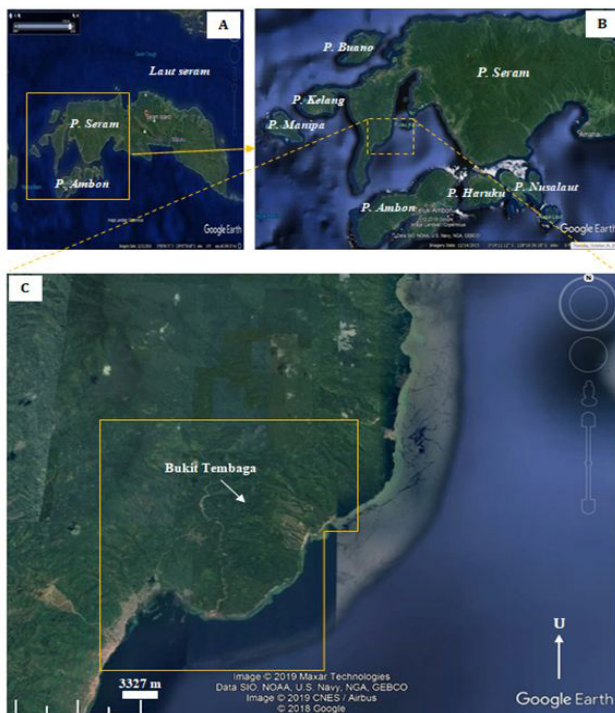
**Keywords:** Cinnabar, fluid inclusion, microthermometry, *ore-forming fluid*, temperature.

© JGSM. This is an open access article under the CC-BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

## PENDAHULUAN

Penyelidikan lapangan untuk studi endapan sinabar di bukit Tembaga desa Iha Luhu, Seram Barat Provinsi Maluku pada tahun 2019 bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan mineralisasi sinabar yang terbentuk pada *host* batuan metapelitik - metamorf berderajat rendah (Gambar 1). Salah satu metoda dasar dalam pendekatan eksplorasi dikenal dengan analisa inklusi fluida (*fluid inclusion*) yang digunakan untuk memahami model mineralisasi di daerah penyelidikan. Inklusi fluida merupakan fluida (cairan dan uap) yang terperangkap di tubuh mineral dimana terkadang juga mengandung kristal (padatan) pada suhu permukaan. Ukurannya halus berukuran mikron ( $\mu$ ) dimana secara genetik dibedakan menjadi primer, sekunder dan pseudo-sekunder (Roeder, 1984).

Inklusi fluida terbentuk bersamaan dengan pengendapan mineral dimana mineral tersebut terperangkap sehingga karakteristik fisik maupun kimia fluida hidrotermal yang membentuk mineral akan menyerupai karakteristik dari inklusi fluida yang terperangkap dalam mineral tersebut. Petrografi inklusi fluida sangat penting untuk mengetahui kondisi fluida hidrotermal dan asal-usulnya. Analisis ini berguna untuk mengetahui Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ), Temperatur leleh ( $T_m$ ), salinitas, tekanan dan kedalaman formasi pembentukan mineralisasi.



Gambar 1. Peta lokasi penyelidikan di Bukit Tembaga, Iha - Luhu Kabupaten Seram Bagian Barat

Gelembung gas di dalam inklusi fluida disebabkan oleh adanya perbedaan koefisien penyusutan pada cairan dan mineral yang terbentuk selama masa pendinginan dari temperatur tinggi saat terjadinya inklusi dan temperatur saat dilakukannya pengamatan. Pada teknik pemanasan, gelembung gas akan hilang jika mencapai temperatur tertentu. Inilah yang disebut sebagai Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) dan dianggap sebagai temperatur pembentukan mineralisasi. Suatu teknik pendinginan terhadap inklusi cair sampai terjadinya fasa padat (es) disebut Temperatur pembekuan ( $T_f$ ). Kemudian dengan pemanasan secara perlahan-lahan maka es kemudian mencair dan inilah disebut sebagai Temperatur leleh ( $T_m$ ).

Samalehu (2021) dan Samalehu dkk. (2022) menyatakan bahwa karakteristik endapan sinabar di Bukit Tembaga, Iha - Luhu merupakan endapan diseminasi (*disseminated*) dan tipe urat (*fracture-related mineralization*) dengan *host* merupakan batuan metapelitik dan filit kuarsa-muskovit. Endapan ini dikontrol oleh sesar - sesar berarah utara barat laut - selatan tenggara dan timur laut - barat daya. Kandungan mineralisasi terdiri dari sinabar, ( $\pm$ metasinabar), arsenopirit, stibnit, sfalerit, hematit, minor pirit $\pm$ pirhotit dengan *gangue* terdiri dari kuarsa, illit, smektit dan kaolinit. Unsur merkuri (Hg) pada bijih sinabar mencapai 72,4% serta menunjukkan kehadiran logam mulia (Au). Dalam artikel ini akan dibahas mengenai karakteristik inklusi fluida endapan sinabar di Bukit tembaga Iha - Luhu serta menentukan fluida pembentuk bijih dan proses evolusinya.

Tujuan dari studi inklusi fluida pada penyelidikan ini adalah untuk mengukur temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) dan Temperatur peleburan/leleh ( $T_m$ ) dari inklusi fluida yang terperangkap di wilayah penyelidikan.

## Tatanan Geologi Regional

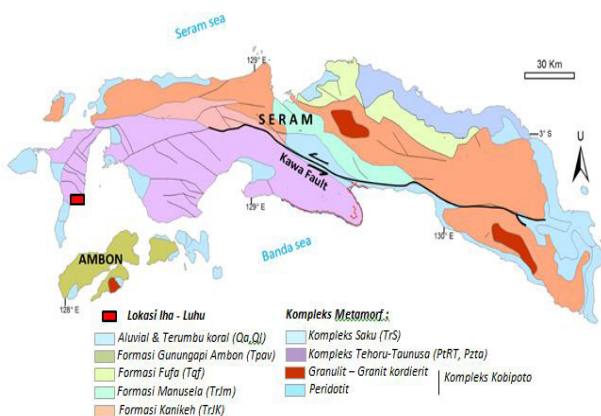
Pulau Seram terletak di bagian utara Busur banda bagian luar Indonesia bagian timur. Pada awal pembentukan, Seram diprediksi berada pada zona kolisi antara kontinen Australia dan zona subduksi Banda dimana tepian tepian kontinen Australia bergerak menuju zona subduksi Banda. Paparan kontinen Australia bagian utara barat laut terbentuk oleh adanya *break - up* Gondwana yang terjadi pada kurun masa Jura (Powell, 1976; Veevers, 1982). Proses deformasi dan metamorfisme di Pulau Seram serta vulkanisme di Pulau Ambon masih sulit untuk dijelaskan dengan model subduksi yang sederhana (Patria dan Hall, 2018).

Susunan stratigrafi Pulau Seram tersusun oleh jenis batuan metamorf, sedimen serta batuan

terobosan (Tjokrosapoetro dan Budhitrisna, 1982 ; Tjokrosapoetro dkk., 1993 ; Pownall dkk., 2013). Selain itu, Kemp dan Mogg (1992) menguraikan secara rinci mengenai tatanan stratigrafi Pulau Seram yang dibagi menjadi batuan Seri Australia (*Australian Series*) dan batuan Seri Seram (*Seram Series*). Seri batuan tertua di Pulau ini tersusun oleh batuan metamorf Kompleks Taunusa dan Kompleks Tehoru yang berumur Perm hingga endapan Alluvial (Gambar 2). Meskipun tatanan tektonik pulau Seram masih menjadi perdebatan hingga saat ini namun setidaknya telah terjadi dua kali tektomik kompresi dan pemisahan kontinen (*continental break-up*) yang berhubungan dengan Pulau Seram. Pemisahan kontinen (*continental break-up*) yang pertama terjadi di zaman Paleozoik yang menempatkan batuan metamorf berderajat tinggi seperti granulit ke dekat permukaan dan mantel atas di angkat kepermukaan membentuk batuan ultrabasa. Pemisahan kontinen (*continental break-up*) kedua dan pemekaran lantai samudera terjadi di masa Jura tengah yang terhubung dengan tidak adanya fase sedimentasi pada seri Australia. Kompresi orogenesis terakhir dan deformasi terjadi pada Miosen Akhir - Pliosen dan fase ini merupakan fase sangat kritis untuk evolusi geologi Seram (Audley - Charles dkk., 1979; Kemp dan Mogg, 1992; Tjokosapoetro dkk., 1993; Setyawan dkk., 2000).

**METODOLOGI**

Penyelidikan ini menggunakan metode kerja lapangan dan pemetaan geologi yang dikombinasikan dengan mikrotermometri inklusi fluida. Pemetaan geologi dan mineralisasi dilakukan selama 1 bulan untuk mengumpulkan sampel batuan, prospeksi geologi, alterasi dan mineralisasi di Iha – Luhu.



Gambar 2. Peta geologi regional Seram di adaptasi dari Pownall dkk., 2013

Terdapat 4 conto sampel yang telah dikumpulkan dari lapangan untuk pengamatan inklusi fluida di laboratorium. Analisis dilakukan dengan preparat poles *double polished* di Laboratorium Geomin-Aneka Tambang Jakarta dan tahap pemanasan dan pembekuan dilakukan dengan mikroskop Linkam THMSG 600. Urat secara umum, mengandung setidaknya 3 jenis kuarsa ( $V_1 - V_3$ ) untuk mewakili jenis mineralisasi bijih sinabar di Iha – Luhu. Jenis urat pertama ( $V_1$ ) diwakili oleh sampel LH-10, jenis urat kedua ( $V_2$ ) diwakili oleh IHA 05, dan yang terakhir adalah jenis urat ketiga ( $V_3$ ) diakumulasikan menjadi 2 sampel yaitu LH-15 DAN ARK-02.

Preparasi sampel untuk pengamatan dilakukan pada irisan tipis *double polished* dengan ketebalan rata-rata berkisar antara 50 s.d 100 Micron. Dalam studi petrografi inklusi cairan dan mikrotermometri; bentuk, ukuran, fase inklusi fluida, temperatur homogenisasi ( $T_h$ ), temperatur leleh ( $T_m$ ) didasarkan pada standar Roedder (1984) dan Shepherd dkk. (1985). Penentuan salinitas inklusi fluida (persamaan 1) dihitung dengan menggunakan persamaan Bodnar (1993) dan Bodnar dan Vityk (1994) dari temperatur leleh es ( $T_m$ ) sebagai berikut :

**HASIL PENELITIAN**

**Hasil**

Inklusi fluida merupakan inklusi yang terjebak pada tubuh mineral dalam bentuk cairan (liquid dan uap) serta mengandung kristal atau padatan pada temperatur permukaan (Shepherd dkk., 1985). Inklusi fluida terbentuk bersamaan dengan pengendapan mineral dimana mineral tersebut terjebak sehingga karakteristik kimia fisika dari fluida hidrotermal yang membentuk mineral menyerupai fluida yang terjebak dalam tubuh mineral tersebut.

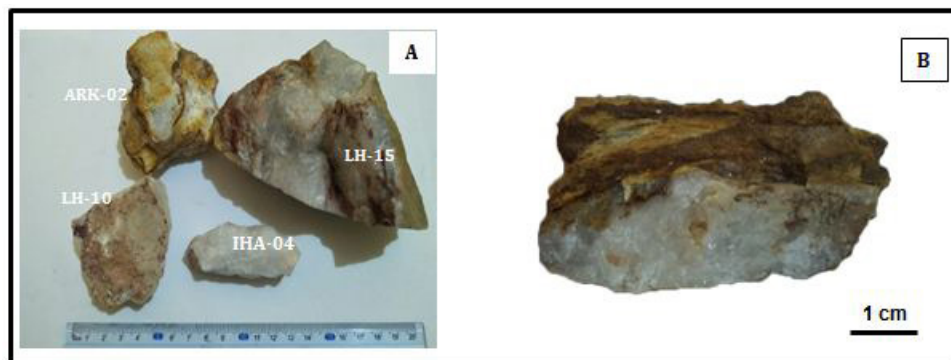
Pengukuran nilai temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) digunakan untuk menentukan suhu pemerangkapan atau pembentukan urat, sedangkan nilai temperatur peleburan/leleh ( $T_m$ ) digunakan untuk menentukan salinitas fluida hidrotermal dengan menggunakan perhitungan pada persamaan 1 (Bodnar, 1993). Selanjutnya, temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) dan nilai salinitas digunakan untuk mengevaluasi karakteristik kimia fisika selama pembentukan urat yang meliputi kedalaman dan tekanan formasi, evolusi fluida (sumber fluida dan mekanisme presipitasi) serta tipe endapan. Analisis inklusi fluida pada daerah penyelidikan hanya dilakukan pada inklusi fluida primer meskipun terdapat inklusi sekunder yang dicirikan oleh keterdapatannya yang memotong zona pertumbuhan kristal pada inklusi primer dan paralel pada bidang retakan. Inklusi fluida primer dicirikan

dengan keterdapatannya yang tersebar secara acak, terisolasi dan paralel terhadap zona pertumbuhan kristal.

Studi inklusi fluida di wilayah penyelidikan dilakukan pada 4 urat kuarsa dari 2 tipe endapan sinabar di Iha-Luhu (Gambar 3). Sampel urat kuarsa di daerah Iha-Luhu diambil pada sampel sampel ARK-02, IHA-04, LH-10 dan LH-15 yang diambil pada wilayah Bukit Tembaga. Sampel urat kuarsa disiapkan dalam 100 $\mu$ m wafer poles ganda untuk di analisis. Identifikasi inklusi fluida dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya yang ditransmisikan sedangkan analisis mikrotermometri dilakukan dengan menggunakan *heating-freezing* Linkam THMS600.

Pengamatan inklusi fluida di wilayah Iha – Luhu

dilakukan dengan melakukan pengamatan *bubble* inklusi primer 15-16 kali pengukuran. Secara umum, ukuran inklusi fluida pada pengamatan mikroskop dalam urat kuarsa di wilayah Iha – Luhu berkisar antara 5,31 hingga 35,81 mikrometer dengan temperatur homogenisasi bervariasi 261-336 $^{\circ}$ C, Temperatur peleburan/leleh ( $T_m$ ) -0,4 hingga -2,4 $^{\circ}$ C dan salinitas terukur 0,70-4,65 wt% NaCl eq. Untuk wilayah Tamilouw – Haya, ukuran inklusi fluida berkisar antara 4,52-56,18 mikrometer, Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) 240-346 $^{\circ}$ C, Temperatur peleburan/leleh ( $T_m$ ) -0,4 hingga -2,3 $^{\circ}$ C dan salinitas 0,54-3,79 wt% NaCl.eq. Nilai Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ), Temperatur leleh ( $T_m$ ) dan salinitas fluida di wilayah penyelidikan disajikan pada Tabel 1.



Gambar 3. A).Beberapa “chips” urat kuarsa yang merupakan *ore-forming fluids* di wilayah Iha – Luhu yang digunakan untuk studi inklusi fluida. B) Urat kuarsa cerah - *milky*, berasosiasi dengan urat sinabar yang memotong (*cross-cutting*) foliasi.

Tabel 1. Nilai perhitungan  $T_h$ ,  $T_m$ , dan salinitas inklusi fluida di wilayah Iha - Luhu

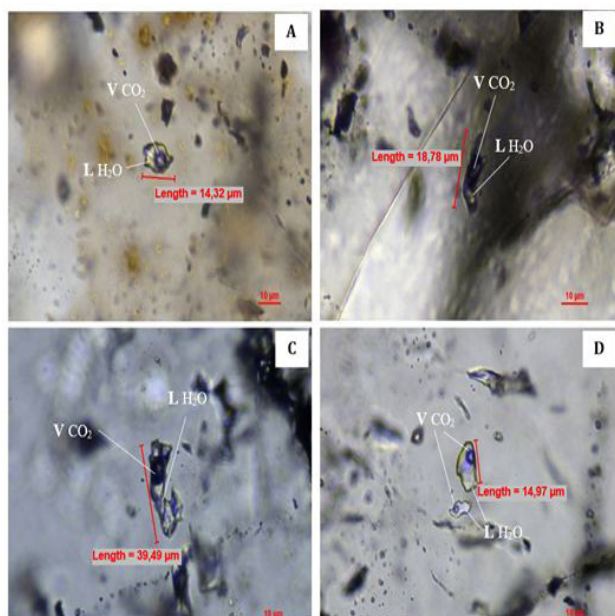
No	KODE SAMPEL	DESKRIPSI	Nilai $T_h$ , $T_m$ dan salinitas
1	LH-10	Urat kuarsa, masif, mikrokristalin, fine-medium grain <2mm.	$T_h = 264 \sim 307 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $T_m = -0,7 \sim -1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Salinitas = 1,22 – 2,57 wt% NaCl eq.
2	LH-15	Urat kuarsa, masif, kristalin, medium grain <2-3mm.	$T_h = 261 \sim 331 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $T_m = -0,7 \sim -1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Salinitas= 1,22 – 2,90 wt% NaCl eq.
3	IHA-04	Urat kuarsa, masif, mikrokristalin-kriptokristalin, very fine – fine grained 1-2mm.	$T_h = 293 \sim 331 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $T_m = -1,2 \sim -2,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Salinitas= 2,07 – 4,65 wt% NaCl eq.
4	ARK-02	Urat kuarsa, masif, kriptokristalin, fine grained 1-2mm.	$T_h = 264 \sim 336 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $T_m = -0,4 \sim -1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Salinitas = 0,70 – 2,90 wt% NaCl eq.

## KARAKTERISTIK FLUIDA HIDROTHERMAL DI IHA – LUHU

### Petrografi Inklusi Fluida

Secara umum, inklusi fluida di wilayah Iha-Luhu bervariasi bentuknya sebagian berbentuk *elongated*, tabular dan oval (Gambar 4). Pada suhu kamar, semua inklusi fluida yang diamati menunjukkan tipe inklusi dua fase (V+L) yang kaya akan cairan ( $H_2O$ ) atau *liquid rich* dengan kisaran *liquid* teramati 50-65% atau lebih dari 50% (Shepherd dkk.,1985). Inklusi menyebar paralel dan acak dan parallel terhadap zona pertumbuhan kristal sehingga diinterpretasikan sebagai inklusi primer. Temperatur Homogenisasi ( $T_h$ ) dan Temperatur leleh ( $T_m$ ) hanya diukur pada inklusi primer. Ukuran inklusi fluida pada pengamatan mikroskop dalam urat kuarsa berkisar antara 5.31 hingga 35.81 mikronmeter, tetapi dominan ukurannya antara 9 – 12 mikronmeter. Dalam inklusi fluida terlihat komposisi *vapour/gas* ( $CO_2$ ) yang teranalisa pada 4 sayatan poles ganda mempunyai sebaran yang cukup merata meskipun jumlahnya tidak melimpah hingga relatif sedikit. Dalam pengamatan inklusi fluida di wilayah Iha – Luhu, tidak menunjukkan adanya kondisi *boiling* yang ditandai dengan *separating phase* antara fase *liquid* dan *vapour*.

Fotomikrograf inklusi fluida menunjukkan adanya kontribusi fluida metamorfik dan fluida meteorik yang membentuk urat kuarsa yang ditunjukkan dengan oleh kehadiran  $H_2O-CO_2$ .



Gambar 4. Fotomikrograf berbagai variasi morfologi inklusi fluida dua fase (*two phase inclusion*) yang kaya akan cairan di Iha-Luhu. A). Bentuk oval (*circle*) B-C. Inklusi berbentuk *elongated* dan tabular. D. Inklusi fluida 2 fase (L+V) yang kaya cairan dengan bentuk *elongated* dengan V- $CO_2$  *uncentered*.

### Mikrotermometri inklusi fluida

Berdasarkan pengukuran mikrotermometri inklusi fluida di wilayah Iha – Luhu maka diperoleh nilai Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) dan salinitas inklusi fluida urat kuarsa pada 2 tipe endapan sinabar (*fracture-related mineralization* dan *disseminated mineralization*). Urat kuarsa yang pertama ( $V_1$ ) merupakan urat kuarsa yang sejajar dengan foliasi filit muskovit-kuarsa dan bersosiasi dengan endapan sinabar *disseminated* dengan Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) bervariasi yakni 264-307°C, temperatur rata – rata (*mean*) 292,3°C dan salinitas fluida 1,22-2,57 wt. % NaCl equivalen. Urat kuarsa kedua ( $V_2$ ) merupakan urat kuarsa yang berasosiasi dengan endapan metasinabar (memotong bidang foliasi) dengan Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) berkisar 293-331°C, nilai  $T_h$  rata rata (*mean*) 313,4°C dan salinitas 2,67-4,65 wt. % NaCl equivalen.

Urat kuarsa ketiga ( $V_3$ ) merupakan urat kuarsa yang berasosiasi dengan endapan sinabar (memotong bidang foliasi) dengan Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) mencapai 261-336°C, nilai rata – rata Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) 296,7°C dan salinitas fluida 0,7-2,90 wt.% NaCl.ek (Tabel 2).

Analisis inklusi fluida pada urat kuarsa untuk 2 tipe endapan di wilayah Iha - Luhu menunjukkan trend nilai  $T_m$ ,  $T_h$  dan salinitas antara ketiga tipe urat tersebut tidak menunjukkan perbedaan secara signifikan dimana pembentukan endapan biji berada pada temperatur menengah dan bersalinitas rendah.

### Temperatur formasi, salinitas dan evolusi fluida hidrothermal

Pada jenis endapan sabuk metamorfik, nilai mikrotermometri inklusi fluida dapat digunakan untuk menghitung temperatur formasi (*trapping*) dan salinitas fluida hidrothermal yang berperan dalam pembentukan formasi endapan biji. Temperatur formasi (*trapping*) dihitung berdasarkan *peak* grafik/kurva histogram (modus) dari temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) sedangkan salinitas formasi ditentukan berdasarkan grafik/kurva histogram (*peak*) dari salinitas fluida (Hasria, 2018). Nilai temperatur dan salinitas antara ketiga tipe urat ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 5 – 8.

Dari Tabel 3 dan grafik histogram (Gambar 5-8) menunjukkan bahwa nilai Temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) dan salinitas dengan nilai kemunculan *peak* frekuensi tertinggi (modus) pada urat kuarsa yang sejajar dengan foliasi filit muskovit-kuarsa dan berasosiasi dengan endapan sinabar *disseminated* adalah 300-310° C dengan salinitas 1.4-1.6 wt.% NaCl equivalen, urat kuarsa yang berasosiasi dengan

endapan metasinabar (memotong bidang foliasi) sebesar 320-330° C, salinitas fluida 2.4-2.6 wt.% NaCl equivalen serta urat kuarsa yang berasosiasi

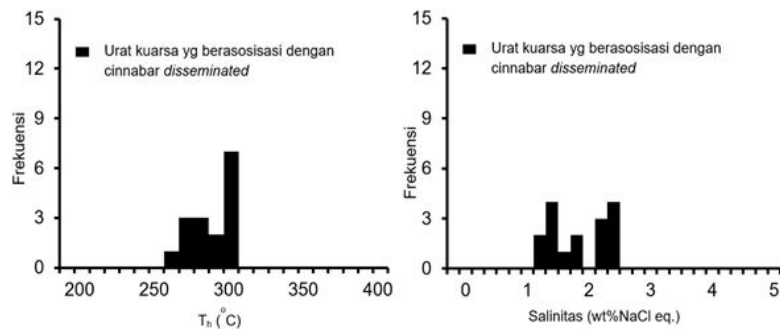
dengan endapan sinabar (memotong bidang foliasi) menunjukkan nilai 280-290° C dengan salinitas 2.4-2.6 wt.% NaCl equivalen.

Tabel 2. Hasil analisis Temperatur Homogenisasi (Th), Temperatur leleh (Tm) dan salinitas inklusi fluida pada wilayah Iha – Luhu.

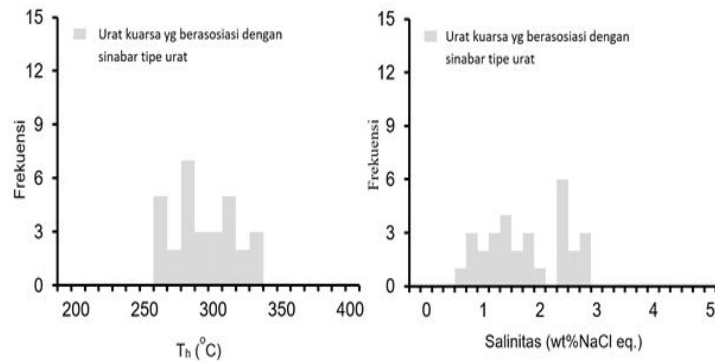
Sampel urat	Jenis urat/endapan	N	Th (°C)	rerata	Tm (°C)	rerata	Salinitas	rerata
			Rentang		rentang		rentang	
ARK-02	Fracture-related min.	15	264-336	295,6	-0,4 - -1,7	- 0,98	0,70-2,90	1,71
IHA-04 (metacinabar)	Fracture-related min.	15	293-331	313,4	-2,8 - -1,2	-1,86	2,67-4,65	3,15
LH-10	Disseminated	16	264-307	292,3	-1,5 - -0,7	-1,12	1,22-2,57	1,97
LH-15	Fracture-related min.	15	261-331	297,8	-1,7- -0,7	-1,18	1,22-2,90	2,04

Tabel 3. Perhitungan temperatur formasi (trapping) dan salinitas fluida hidrotermal dari urat kuarsa yang berasosiasi dengan endapan sinabar di Iha – Luhu.

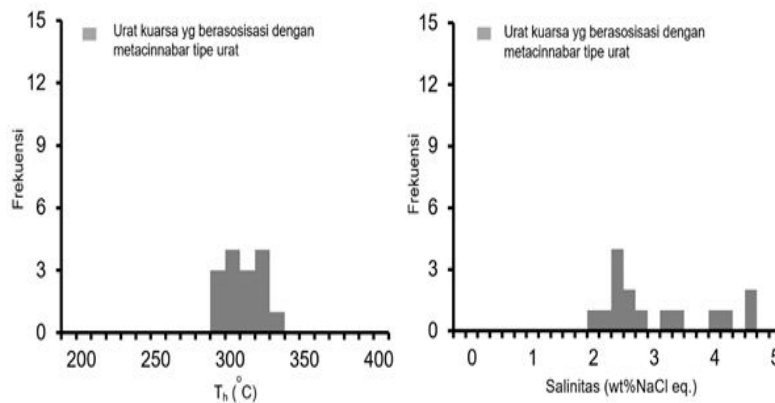
Sampel urat	Jenis urat/endapan	Peak temperatur homogenisasi (°C) berdasarkan kurva histogram	Peak salinitas (wt.% NaCl eq.) berdasarkan kurva histogram
ARK-02, LH-15	Fracture-related min.	280-290° C	2.4-2,6
IHA-04 (metacinabar)	Fracture-related min.	320-330° C	2.4-2,6
LH-10	Disseminated	300-310° C	1.4-1,6



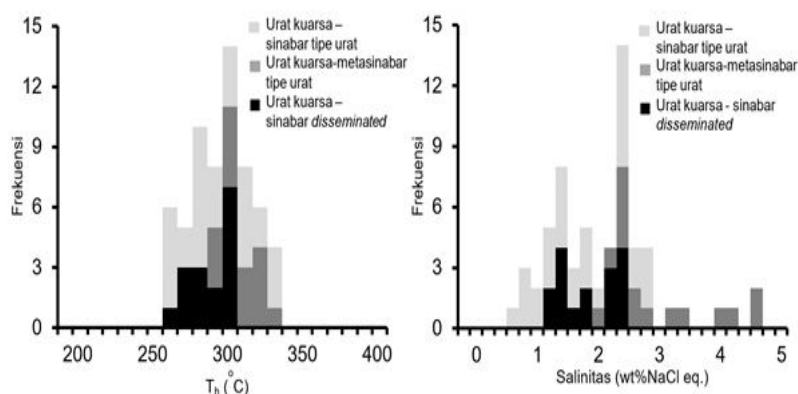
Gambar 5. Histogram temperatur homogenisasi (Th) dan salinitas pada sampel urat kuarsa yang berasosiasi dengan endapan sinabar disseminated, n=15.



Gambar 6. Histogram temperatur homogenisasi (Th) dan salinitas pada sampel urat kuarsa yang berasosiasi dengan sinabar tipe urat, n=15.



Gambar 7. Histogram temperatur homogenisasi (Th) dan salinitas pada sampel urat kuarsa yang berasosiasi dengan metasinabar tipe urat, n=15.



Gambar 8. Histogram temperatur homogenisasi (Th) dan salinitas dari jenis – jenis urat kuarsa yang digunakan untuk analisis inklusi fluida di Iha – luhu.

Berdasarkan analisis kurva histogram, urat kuarsa yang berasosiasi dengan endapan metasinabar tipe urat yang memiliki nilai temperatur ( $T_h$ ) yang lebih tinggi dari tipe urat lainnya.

Selanjutnya, analisis evolusi fluida hidrotermal di wilayah Iha – Luhu dilakukan dengan cara pengeplotan nilai salinitas terhadap temperatur homogenisasi ( $T_h$ ) yang kemudian dikorelasikan terhadap diagram kecenderungan salinitas  $T_h$  (Gambar 9) yang terkait proses evolusi fluida endapan berdasarkan Shepherd dkk. (1985)

Pada gambar tersebut terlihat bahwa temperatur pembentukan dan salinitas fluida endapan sinabar di lokasi penyelidikan menunjukkan adanya *trend* penurunan secara perlahan (*gradual*) akibat perbedaan suhu dengan salinitas rendah. Evolusi fluida endapan sinabar yang ada di daerah penyelidikan lebih cenderung ke *mixing with cooler, less saline fluids* (Shepherd dkk.,1985) dimana sumber fluida endapan ini diperkirakan merupakan campuran fluida metamorfik dan fluida meteorik yang memiliki temperatur menengah dan bersalinitas rendah.

Pada endapan orogenik, kedalaman dan tekanan formasi (*trapping*) ditentukan berdasarkan kondisi pemaian (*boiling*) atau *immiscible* (Brown & Hagemann, 1995). Namun demikian, indikasi *boiling* di lokasi penyelidikan tidak ditemukan sehingga penentuan kedalaman dan tekanan formasi dilakukan dengan cara mengkorelasikan nilai temperatur ( $T_h$ ) yang diperoleh dengan nilai temperatur pembentukan (*trapping*) menurut Groves, 1993 ; Gebre - Mariam dkk.,1995 yang ditunjukkan pada Gambar 10.

Pada gambar tersebut menunjukkan kedalaman pembentukan formasi (*trapping*) endapan sinabar Iha – Luhu berada pada kedalaman sekitar 6-8,5 kilometer dengan tekanan 1,8 – 2,3 kbar pada temperatur pembentukan antara 261-336° C dan salinitas 0,70-4,65 wt% eq.

Waktu pembentukan endapan sinabar Iha-Luhu dimungkinkan bersamaan dengan proses orogenesis/metamorfime atau setelah puncak (*peak*) metamorfime yang terjadi pada Miosen tengah – Pliosen. Endapan Sinabar di Bukit Tembaga berada pada zona epizonal dan mesozonal dengan *host* fasies *subgreenschist* pada kedalaman sekitar 6-8,5

kilometer muka tanah purba atau *paleosurface* (Groves, 1993 ; Gebre-Mariam dkk., 1995).

## PEMBAHASAN

Secara umum inklusi fluida di Iha-luhu yang teramati merupakan inklusi dua fase (L+V) yang kaya akan fluida atau *liquid rich* (H<sub>2</sub>O) dan merupakan inklusi primer. Bentuk yang teramati terdiri dari oval, *elongated* dan tabular. Indikasi *vapor rich* dan *liquid rich* tidak teramati dalam pengamatan inklusi fluida yang mengindikasikan tidak terjadinya boiling selama mineralisasi berlangsung (Bodnar dkk., 1985)

Analisis inklusi fluida pada urat kuarsa di Iha-Luhu menunjukkan bahwa Temperatur homogenisasi pembentukan sinabar di Bukit Tembaga antara 261-336° C dengan salinitas berkisar 0,70-4,65 wt.% NaCl.eq yang ekuivalen dengan kedalaman 6-8,5 km (Gambar 10).

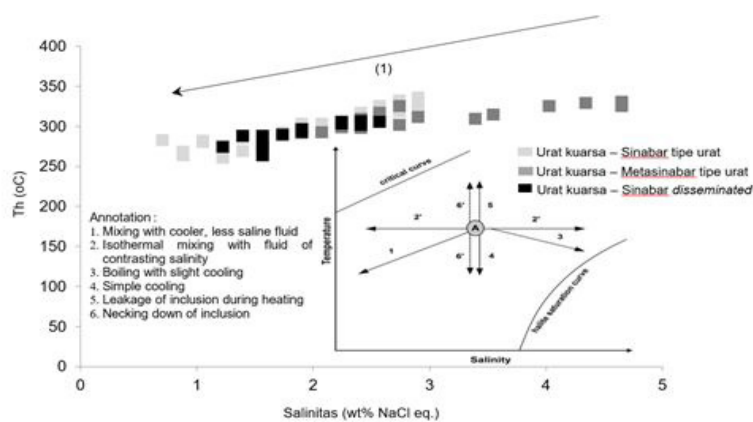
ebagai perbandingan inklusi fluida endapan sinabar di Iha – Luhu dengan endapan lainnya dalam *host* batuan metamorf antara lain endapan sinabar di Almaden-Spanyol yang menunjukkan Temperatur homogenisasi (T<sub>h</sub>) berkisar anantara 85-375° C dengan salinitas 1,4-6,6 wt% NaCl.eq (Hernandez dkk., 1999). Untuk endapan sinabar Levigliani dan Ripa di Italia dan endapan Horni Luby di Ceko masing - masing menunjukkan Temperatur homogenisasi (T<sub>h</sub>) 226-288° C dan 150-300° C serta salinitas 1,4-6,6 wt% NaCl.eq dan 0,7-5,7 wt% NaCl.eq (Veľbil & Zacharias, 2013; Dini dkk., 2001). Secara keseluruhan endapan sinabar ini menunjukkan proses pembentukannya berada pada zona epizonal yang berasosiasi dengan sabuk metamorfik.

Pada endapan di Iha- Luhu, evolusi fluidanya hanya

terdiri dari 1 fase yaitu *mixing with cooler, less saline fluids* dimana asal sumber fluida endapan diperkirakan dominan berasal dari campuran air metamorfik dan meteorik dimana salinitas yang cenderung rendah (Gambar 9). Berdasarkan klasifikasi Wilkinson (2001) yang membandingkan antara salinitas dan temperatur homogenisasi menunjukkan bahwa tipe endapan di Iha-Luhu merupakan endapan orogenik.

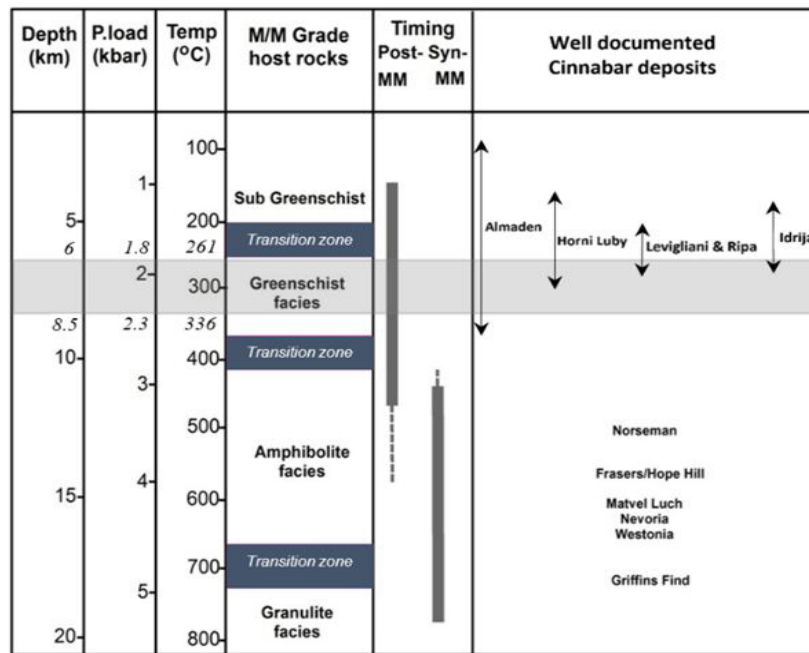
Hal ini juga didukung oleh karakteristik mineralisasi merkuri (Hg) yang berasosiasi dengan Sb pada zona epizonal, tatanan tektoniknya merupakan *Active Continental Margin* (ACM) serta kehadiran CO<sub>2</sub> pada inklusi fluida yang merupakan penciri endapan orogenik (Samalehu, 2021). Beberapa contoh endapan sinabar yang berasosiasi dengan *host* batuan metamorf dalam zona orogenesis dan merupakan endapan tipe orogenik pada zona epizonal adalah endapan Horni Luby di Ceko (Veľbil dan Zacharias, 2013), endapan Almaden di Spanyol (Hernandez dkk., 1999) dan endapan Levigliani dan Ripa di Italia (Dini dkk., 2001).

Selain uraian yang telah disampaikan diatas, mekanisme pengendapan endapan sinabar di Iha-Luhu dimungkinkan pada sistem kompleks bisulfida (HS<sup>-</sup>). Palinkas dkk. (2004) mengemukakan bahwa sinabar dapat dibentuk melalui mekanisme kompleks bisulfida (HS<sup>-</sup>) pada suhu rendah dimana pengendapan sinabar melalui kehilangan sebagian sulfur oleh boiling/oksidasi atau dengan mekanisme *dilution* (penurunan temperatur). Berdasarkan temperatur homogenisasi endapan sinabar di Iha – Luhu yang terbentuk pada 261-336° C maka kompleks bisulfida (HS<sup>-</sup>) dianggap sebagai ligan utama pengendapan sinabar di Kompleks Taunusa.



Gambar 9. Diagram salinitas vs Temperatur homogenisasi (Th) yang berkaitan dengan proses evolusi fluida endapan sinabar berdasarkan Shepherd dkk. (1985).





sumber: Dimodifikasi dari Groves, 1993 ; Gebre-Mariam dkk.,1995)

Gambar 10. Plot korelasi nilai temperatur (Th) endapan sinabar di Iha – Luhu yang berasosiasi dengan sabuk metamorfisme

**KESIMPULAN**

1. Terdapat 3 jenis urat kuarsa yang mewakili 2 tipe endapan sinabar di Iha – Luhu. Urat kuarsa tipe 1 (V<sub>1</sub>), yang mewakili endapan sinabar *disseminated*, Urat kuarsa tipe 2 (V<sub>2</sub>) yang berasosiasi dengan endapan metasinabar sedangkan urat tipe 3 adalah urat kuarsa (V<sub>3</sub>) berasosiasi dengan endapan sinabar yang memotong foliasi batuan.
2. Fluida pembentuk bijih terdiri dari inklusi dua fase (VCO<sub>2</sub> + LH<sub>2</sub>O) yang kaya akan cairan ditandai dengan kandungan CO<sub>2</sub> yang rendah - tinggi serta bersalinitas rendah dan temperatur sedang.
3. Analisis inklusi fluida pada urat kuarsa di Iha-Luhu menunjukkan bahwa Temperatur homogenisasi

pembentukan sinabar di Bukit Tembaga antara 261-336° C dengan salinitas berkisar 0,70-4,65 wt.% NaCl<sub>eq</sub> yang equivalen dengan kedalaman 6-8.5 km.

**UCAPAN TERIMAKASIH**

Kami mengucapkan terima kasih sebesar besarnya kepada Lembaga Pengelola Pendidikan (LPDP) serta Pemerintah Daerah Provinsi Maluku untuk pembiayaan selama penyelidikan ini dilakukan. Selain itu, tak lupa kami ucapkan terima kasih kepada Manajer Geomin – Aneka Tambang di Jakarta yang telah memberikan kesempatan untuk preparasi dan pengamatan laboratorium sampel inklusi fluida. Saran dan komentar konstruktif sangat diharapkan untuk perbaikan jurnal ini.

**ACUAN**

Audley-Charles, M.G., Carter, D.J., Barber, A.J., Norvick, M.S., Tjokrosapoetro, S., 1979. Re-interpretation of the Geology of Seram : Implications for the Banda Arcs and Northern Australia. *J. geol. Soc.London*,136, 547-568.

Bodnar, R.J., Vityk, M.O., 1994. Interpretation of Microthermometric Data for H<sub>2</sub>O-NaCl Fluid Inclusions. In. De Vivo, B. and Frezzotti, M.L. (Eds.). *Fluid Inclusions in Mineral, Methods and Applications*, Published by Virginia Tech, Blacksburg, VA.

Bodnar, R.J., 1993. Revised Equation and Table for Determining the Freezing Point Depression of H<sub>2</sub>O-NaCl Solution. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 57, 683-684.

Brown, P.E., Hagemann, S.G., 1995. MacFlincon and its application to fluids in Archean lode gold Deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 3943-3952.

Dini, A., Benvenuti, M., Lattanzi, P., Tanelli, G., 2001. Mercury deposits in metamorphic settings; the example of Levigliani and Ripa mines, Apuane alps (Tuscany, Italy). *Ore geology review*, 18, 149-167.

- Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Groves, D.I., 1995. A classification scheme for epigenetic Archean lode-gold deposits. *Miner Deposita*, 30, 408–410.
- Groves, D.I., 1993. The crustal continuum model for late-Archean lode gold deposits of the Yilgarn block, Western Australia. *Mineral Deposits*, 28, 366–374.
- Hasria., 2018. Karakteristik mineralisasi emas hidrotermal yang berasosiasi dengan batuan metamorf di pegunungan mendoke dan rumbia pada lengan tenggara pulau sulawesi, Indonesia. *PhD thesis*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hernandez, A., Jebrek, M., Higuera, P., Oyarzun, R., Morata, D., Munha, J., 1999. The Almaden mercury mining district-Spain. *Miner depos*, 34, 539-548
- 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.
- Palinkas, L., Strimic, S., Spangenberg, J., Prochaska, W., Herlec, U., 2004. Oreforming fluids in the Grubler orebody, Idrija mercury deposit, Slovenia. *Schweizerische mineralogische und petrographische mitteilungen*, 84, 173-188
- Patria, A., Hall, R. 2018. Oblique Intraplate Convergence of the Seram Trough, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*, 33, 41 – 58
- Powell, D.E., 1976. The geological evolution of the continental margin of Northwest Australia. *Journal of Australian Petroleum Exploration Association*, 10, 13-23.
- Pownall, J.M., Hall, R., Watkinson, I.M., 2013. Extreme extension across Seram and Ambon, eastern Indonesia: evidence for Banda slab rollback. *Solid Earth*, 4, 277–314
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions, Mineralogical Society of America, Review in Mineralogy 12, 646p.
- Samalehu, H., 2021. Geologi, Karakteristik dan Mineralisasi hidrotermal batuan metamorf kompleks Tehoru dan Taunusa di Pulau Seram, Indonesia. *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Samalehu, H., Idrus, A., Setiyawan, N.I., 2022. Mineralisasi endapan sinabar daerah Bukit Tembaga Kecamatan Huammual, Kabupaten Seram Bagian Barat, Maluku. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 17 (1), 41 - 50.
- Setyawan, B.W., Wijaya, B., Guntoro, A., 2000. Mengurai Perkembangan Tektonik Pulau Seram dan Ambon. *Prosiding IAGI 29th Annual Convention*, 4,33-45.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*: Blackie and Son Ltd., Glasgow, 239p.
- 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.
- Tjokrosoepoetro, S., Rusmana, E., Achdan, A., 1993. *Geological Map of Ambon Quadrangle, Maluku, scale 1:250.000*. Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Veevers, J.J., 1982. Western and northwestern margins of Australia. In: Nairn, A.E.M., Stehli, F., *Oceanic Basin*, 513-544.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits. *Lithos*, 55, 229-272.
- Velebil, D., Zacharias, J., 2013. Fluid inclusion study of the Horny Luby sinabar deposit, saxothuringian Zone, Bohemian Massif : clues for the metamorphic remobilization of mercury. *Journal of geoscience*, 58, 283-298