

## STUDI KIMIA FISIKA FLUIDA HIDROTERMAL ENDAPAN EMAS ORGENIK DAERAH WUMBUBANGKA, KABUPATEN BOMBANA, SULAWESI TENGGARA

CHEMICAL AND PHYSICAL STUDY OF HYDROTHERMAL FLUID OROGENIC GOLD  
DEPOSIT AT WUMBUBANGKA REGION, DISTRICT BOMBANA, SOUTHEAST SULAWESI

Fadlin\*<sup>1</sup>, Arifudin Idrus<sup>2</sup>, I Wayan Warmada<sup>2</sup>

\*Email : fadlin.unsoed@yahoo.com

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Geologi, Universitas Jenderal Soedirman, Purbalingga

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

---

**Abstrak** – Penelitian ini di latar belakang oleh karena masih sangat minimnya studi mengenai sifat kimia-fisik fluida hidrotermal pembentuk bijih pada endapan emas yang berasosiasi dengan batuan metamorf khususnya endapan emas orogenik yang ada di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui bagaimana suhu dan tekanan pembentukan endapan, serta karakteristik fluida pembentuk endapan emas pada batuan metamorf tersebut. Penelitian ini menggunakan metoda pemetaan geologi dan dikombinasikan dengan hasil analisis kimia-fisik fluida hidrotermal (inklusi fluida). Ada 3 generasi urat yang ditemukan yaitu generasi pertama, urat yang sejajar foliasi, urat tipe ini terbentuk pada 221,9 °C, dengan nilai salinitas rata-rata 7,17 wt.% NaCl ek. Urat generasi kedua adalah urat kuarsa yang memotong foliasi, urat ini terbentuk pada temperatur 188,4 °C, salinitas rata-rata 3,87 wt.% NaCl ek. Sedangkan urat generasi ke tiga yaitu urat kalsit-kuarsa, merupakan fase akhir dari endapan emas tersebut, terbentuk pada temperatur 138,2 °C dan salinitas rata-rata 1,91 wt.% NaCl ek. Secara umum evolusi fluida hidrotermal pada endapan emas orogenik yang ada dilokasi penelitian ada 2 (dua) fase yaitu fase *isothermal mixing with fluids of constricting salinity*, kemudian fase kedua menunjukkan evolusi fluidanya lebih kearah *mixing with cooler, less saline fluids*.

Kata kunci : Emas orogenik, tekstur urat, inklusi fluida, Bombana, Sulawesi Tenggara.

---

**Abstract** – This research is motivated by it is still very lack of studies on physical-chemical properties of the ore-forming hydrothermal fluid on gold deposits associated with metamorphic rocks especially orogenic gold deposits in Indonesia. The aim of this study was to determine how the temperature and pressure of the formation of sludge, as well as the characteristics of the hydrothermal fluid forming of gold deposits in the metamorphic rocks. The method of this study is a geological mapping and combined with the results of the chemical-physical analysis of hydrothermal fluid (fluid inclusions). There are three generations of veins found that first generation, parallel foliation veins, it is formed at 221.9 °C, with an average salinity of 7.17 wt.% NaCl eq. The second generation veins are quartz veins that cross foliation, this vein is formed at a temperature of 188.4 °C, the average salinity of 3.87 wt.% NaCl eq. While the third generation that vein calcite-quartz veins, is the last phase of the gold deposits, formed at a temperature of 138.2 °C and an average salinity of 1.91 wt.% NaCl eq. In general, the hydrothermal fluid evolution of existing orogenic gold deposits location research there are two (2) phases which isothermal mixing with fluids of constricting salinity, then the second phase shows the evolution of the fluid is more towards mixing with cooler, less saline fluids.

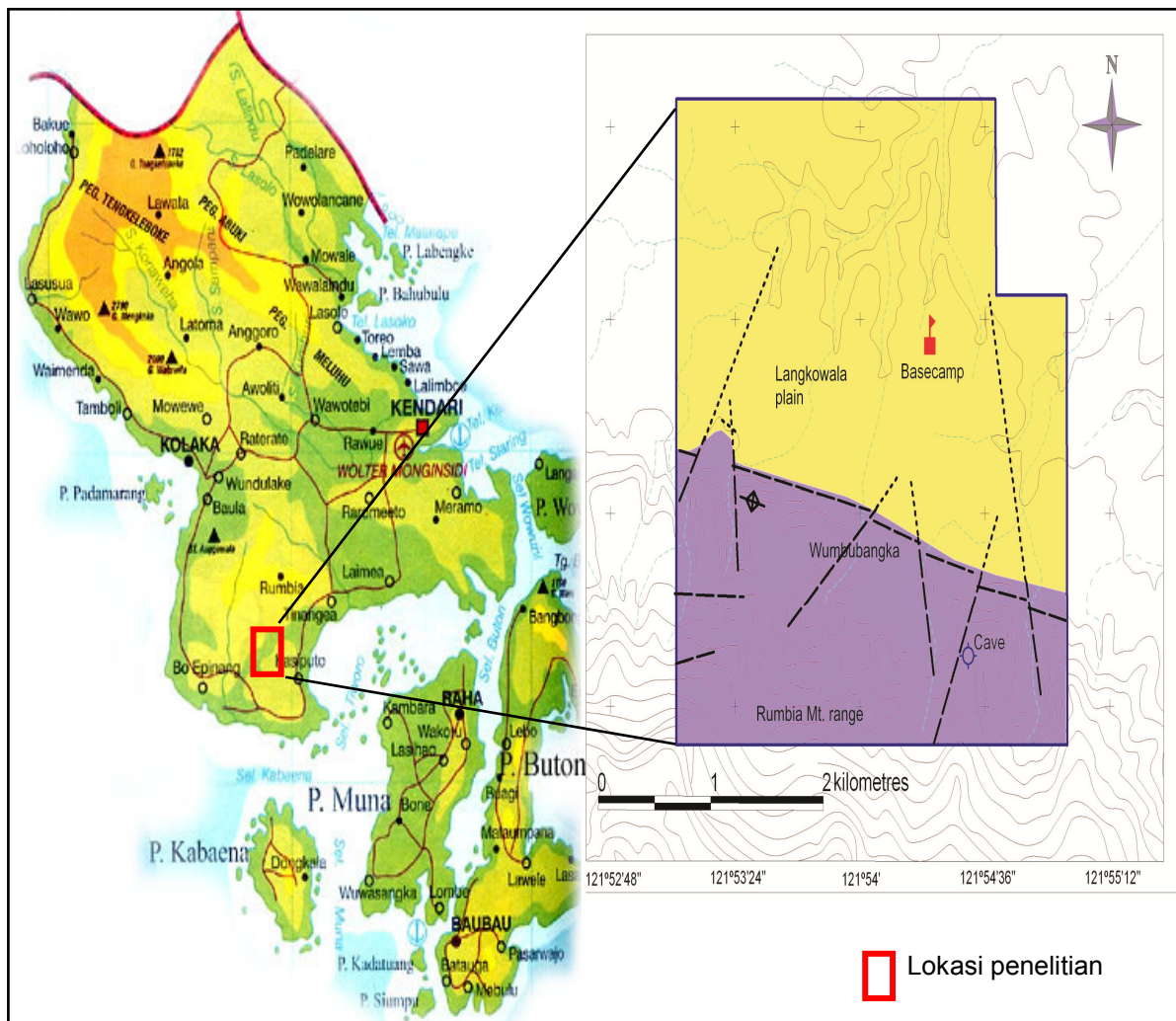
Key words : Orogenic gold, vein textures, fluid inclusions, Bombana, Southeast of Sulawesi.

---

### I. PENDAHULUAN

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh masih sangat minimnya studi mengenai sifat kimia-fisik fluida pembentuk bijih pada endapan emas yang berasosiasi dengan batuan metamorf khususnya endapan emas orogenik yang ada di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suhu pembentukan endapan, serta karakteristik fluida pembentuk endapan emas orogenik. Lokasi penelitian berada pada daerah Tahi ite, Kecamatan Kase pute, Kabupaten Bombana, Propinsi Sulawesi Tenggara pada konsesi PT. Panca Logam Makmur, dengan luas sekitar ± 1.210 Ha (Gambar-1).



Gambar-1. Peta lokasi daerah penelitian.

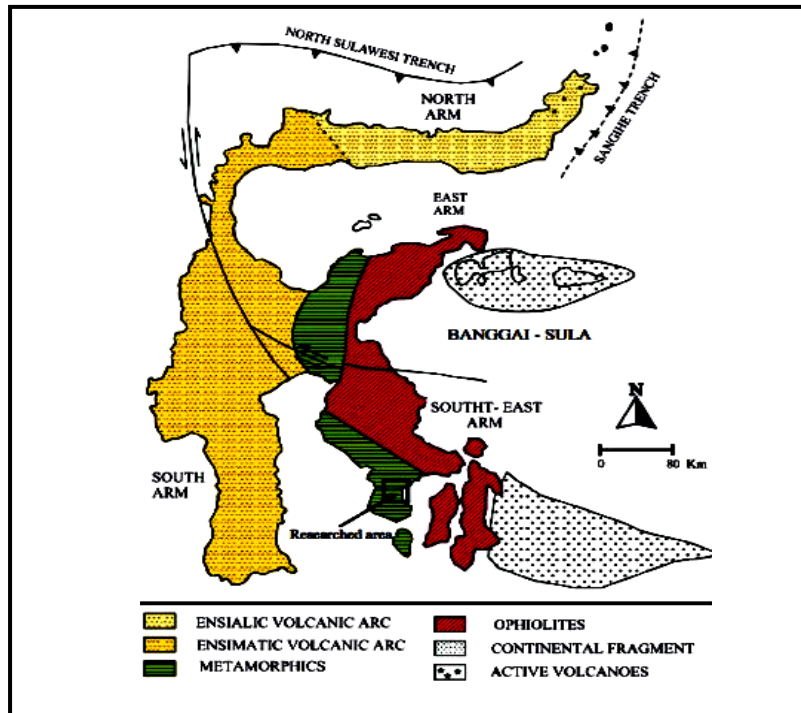
Pulau Sulawesi merupakan pulau yang dihasilkan dari hasil tektonik yang cukup kompleks, dimana lempeng Eurasia-Australia dan Pasifik bertabrakan untuk membentuk struktur subduksi (Gambar-2). Pulau ini terbentuk akibat akresi, mélange, ofiolit dan fragmen-fragmen mikro-kontinen serta unsur-unsur tektonik lainnya yang sangat kompleks, sehingga sampai saat ini masih mengalami proses fragmentasi dan pembentukan kembali di sepanjang sesar utama geser dan naik. Terdapat tiga sabuk litotektonik yang membentuk Pulau Sulawesi menurut Hamilton [1], terdiri atas busur magmatik bagian barat, sabuk metamorfik bagian tengah dan di bagian timur disusun oleh melange, ofiolit batuan sedimen terimbrikasi. Berdasarkan kondisi stratigrafi dan perkembangan tektoniknya [2], Sulawesi dibagi menjadi empat mendala geologi, yaitu Lajur Gunung Api Sulawesi Barat, Lajur Malihan Sulawesi Tengah, Lajur Ofiolit Sulawesi Timur, dan Kepingan

Renik Benua. Berdasarkan hasil analisis geokimia terhadap beberapa per-contoh batuan basal yang diambil dari kompleks ofiolit tersebut menginterpretasinya sebagai batuan asal punggung tengah samudra [3].

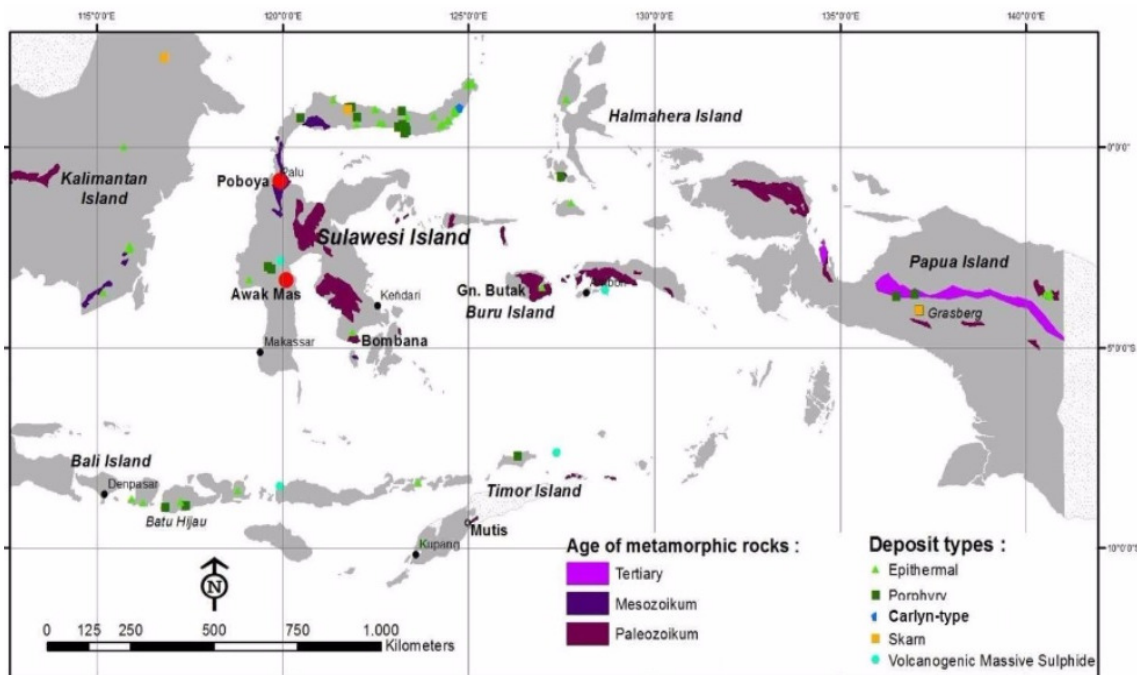
Van leeuwen dan Taylor [4] berpendapat bahwa busur magmatik yang terbentuk terdiri atas dua unsur berbeda yang dinamakan Sulawesi bagian utara dan Sulawesi bagian barat. Sulawesi bagian utara merupakan busur vulkanik dasitik-riodasit berumur Miosen- Resen, yang tumpang-tindih secara spatial dan terbentuk diatas batuan dasar basaltik marin berumur Eosen-Oligosen, serta kemungkinan ditumpangi oleh kerak samudera. Busur Sulawesi bagian barat memperlihatkan ciri lebih bersifat kontinen. Daerah penyelidikan termasuk ke dalam zona dari busur magmatik Sulawesi bagian barat, yang disusun oleh batuan metamorfik dan telah diterobos oleh batuan granodiorit hingga granitik.

Secara umum endapan mineral khususnya emas yang berada pada batuan metamorf yang ada di Indonesia dan khususnya di pulau Sulawesi hampir seluruhnya berasosiasi dengan batuan metamorf pada

jalur atau kompleks zona akresi (Gambar-3), sehingga penting mendelineasi distribusi keberadaan batuan *metamorf* di Indonesia seperti yang telah dilakukan Sukamto [5].



Gambar-2. Tatanan tektonik P. Sulawesi menurut, Hamilton [1].



Gambar-3. Distribusi batuan metamorf terhadap tipe jebakan endapan emas (Au) di Indonesia [5].

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode dengan tahap penelitian secara garis besar terbagi atas dua tahap yaitu pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium.

### A. Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan yaitu pemetaan serta pengambilan data singkapan batuan dan urat kuarsa, serta dilakukan pengambilan conto yang representatif pada urat kuarsa untuk dianalisis di laboratorium.

### B. Pekerjaan Laboratorium

Pekerjaan Laboratorium yaitu Analisis petrografi inklusi fluida dan mikrotermometri yang meliputi pengukuran temperatur pelelehan dan temperatur homogenisasi ada 7 (tujuh) contoh urat kuarsa maupun kalsit dengan menggunakan alat Linkam TMS600 *freezing and heating stage*, analisis dilakukan di Laboratorium FI, Department of Mineralogy and Economic Geology, RWTH Aachen University, Germany. Analisis petrografi inklusi dilakukan untuk mengidentifikasi tipe inklusi (primer, pseudosekunder dan sekunder) serta fase inklusi (*monofase atau bifase*). Penentuan nilai  $T_m$  dilakukan dengan cara membekukan inklusi fluida sampai  $-60^{\circ}\text{C}$ , kemudian temperatur dinaikan secara perlahan sampai mengalami pelelehan (*melting*) maka akan didapat nilai  $T_m$  (*temperature of melting*).

Nilai  $T_h$  (*temperature of homogenization*) ditentukan dengan cara melakukan pemanasan pada inklusi fluida secara perlahan sampai semua gas

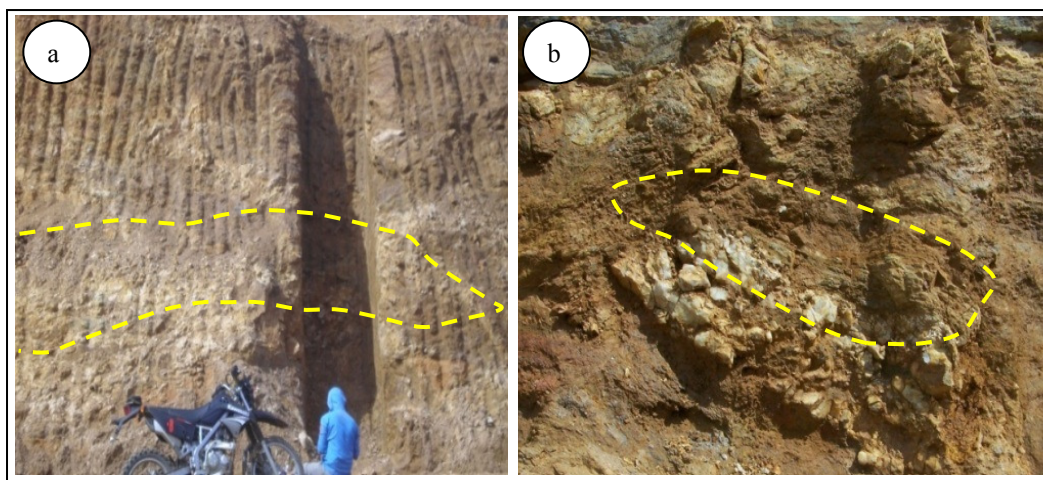
menghilang. Kemudian temperatur diukur sehingga didapat nilai  $T_h$  (*temperature of homogenization*) dari inklusi fluida tersebut. Salinitas fluida dapat dihitung dengan menggunakan *software* BULK versi 01/03 [6].

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Tekstur Urat

Hasil penelitian lapangan menunjukkan bahwa urat kuarsa berasosiasi dengan batuan malihan terutama sekis mika dan meta-batupasir, satuan ini berumur *paleozoikum* [7]. Urat kuarsa pada endapan bertekstur *masive, laminated* dan *sigmoidal, brittle-dustile* secara umum sudah terdeformasi kuat (Gambar-3a).

Orientasi umum dari urat kuarsa yang ada dilokasi penelitian yaitu relatif berarah  $N 300^{\circ} E$ . Urat kuarsa yang sejajar foliasi, berwarna putih transparan sampai putih susu memiliki geometri yang relatif lebih besar dibanding dengan urat kuarsa yang memotong foliasi, memiliki kandungan mineral sulfida yang rendah. Sedangkan urat memotong foliasi berukuran lebih tipis dari urat yang sejajar foliasi (2-10cm), warna putih sampai abu-abu buram, kandungan mineral sulfida yang lebih dominan dibanding urat kuarsa sejajar foliasi (Gambar-3b). Urat kuarsa-kalsit (*quartz-calcite vein*) diperkirakan merupakan fase terakhir endapan emas orogenik daerah penelitian, dengan ciri khas yaitu bertekstur laminasi (*laminated*) serta mengandung mineral sulfida yang relatif lebih besar dibanding urat yang sejajar foliasi (Gambar-4).



**Gambar-3.** (a) Urat kuarsa terdeformasi (*brecciated*) tebal  $\pm 1,5$  meter, dan (b) urat kuarsa sejajar foliasi tersegmentasi (*sigmoidal vein*), tebal  $\pm 35$  cm.



Gambar-4. Urat kuarsa laminasi dalam Goa Valentino (a) Foto megaskopis (b) contoh *laminated quartz±calcite vein*.

Endapan emas orogenik di daerah penelitian berasosiasi dengan batuan metamorf sekis (*facies green schist*), tekstur *vein* relatif *brittle-ductile*, berdasarkan asosiasi tersebut, kemungkinan endapan emas orogenik di daerah penelitian berada pada level transisi epizonal-mesozonal [7].

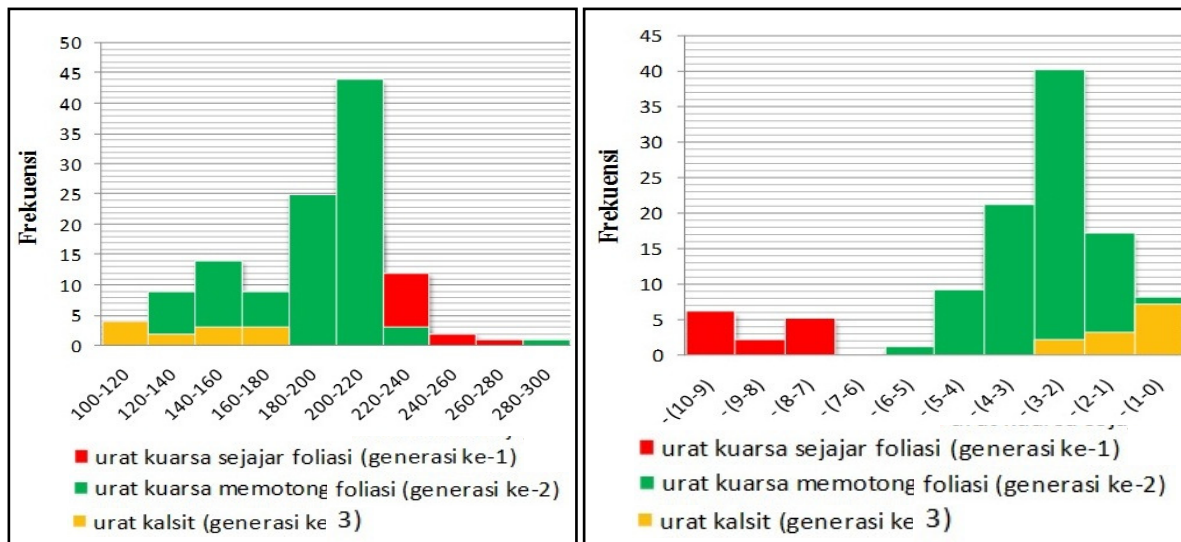
### B. Sifat Fisik-Kimia Fluida Pembentuk Endapan

Dari hasil analisis contoh urat yang sejajar foliasi, urat kuarsa yang memotong foliasi maupun urat kuarsa-kalsit menunjukkan adanya perbedaan nilai yang cukup signifikan serta menunjukkan karakteristik yang berbeda antara ketiga tipe urat tersebut (Tabel-1).

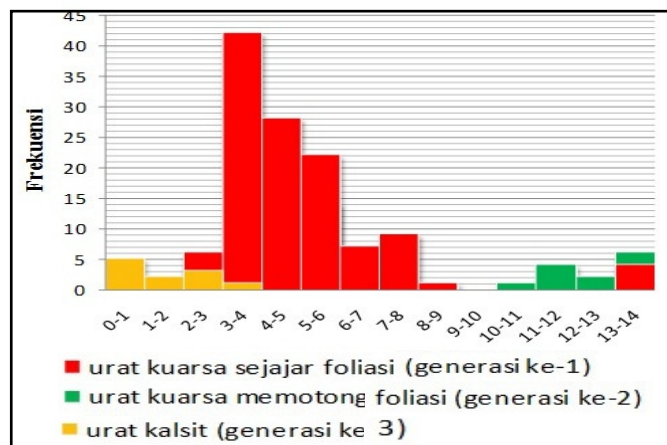
Hasil evaluasi dengan grafik histogram, dapat disimpulkan bahwa urat kuarsa sejajar foliasi (urat generasi ke-1), memiliki nilai ( $T_h$ ), ( $T_m$ ) serta salinitas yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tipe urat kuarsa yang memotong foliasi maupun dengan urat kalsit-kuarsa. Urat kuarsa memotong foliasi (urat generasi ke-2) memiliki nilai temperatur ( $T_h$ ), ( $T_m$ ) serta salinitas yang relatif lebih rendah dibanding urat kuarsa sejajar foliasi. Sedangkan pada urat kalsit memiliki nilai ( $T_h$ ), ( $T_m$ ) serta salinitas relatif paling kecil dari semua tipe urat yang ditemukan di lokasi penelitian (urat generasi ke-3), merupakan fase akhir dari pembentukan endapan emas tipe orogenik yang terdapat di lokasi penelitian (Gambar-5 dan 6).

Tabel-1. Rangkuman data hasil analisis inklusi fluida.

No	Sample code	Inclusion size	Generation vein	$T_m$ °C (Average)	$T_h$ °C (Average)	$T_m$ °C (Abundant)	$T_h$ °C (Abundant)	Salinity (Average) (% Wt NaCl)	Sample
1	1262 WB-01-A	95 $\mu$ m	memotong foliasi	-2.1	201.0	-1.3 - -2.7	190.1 - 215.0	3.548236	Urat kuarsa
2	1263 WB-06-B	100 $\mu$ m	sejajar foliasi	-5.9	216.2	-2.8 - -10.0	184.7 - 270.0	9.077794	Urat kuarsa
3	1264 WB-08	90 $\mu$ m	sejajar foliasi	-3.2	227.5	-2.3 - -4.0	201.6 - 245.3	5.261644	Urat kuarsa
4	1265 WB-11-C	65 $\mu$ m	memotong foliasi	-1.1	138.2	-0.2 - -2.4	114.0 - 176.0	1.905259	Urat kalsit
5	1265 WB-11-C	65 $\mu$ m	memotong foliasi	-2.4	186.1	-1.6 - -3.5	173.4 - 200.1	4.025108	Urat kuarsa
6	1266 WB-02-C	80 $\mu$ m	memotong foliasi	-2.4	157.8	-0.7 - -3.4	132.1 - 283.4	4.025108	Urat kuarsa
7	1271 WB-02-B	90 $\mu$ m	memotong foliasi	-3.6	208.7	-1.9 - -5.1	190.5 - 231.4	5.861155	Urat kuarsa



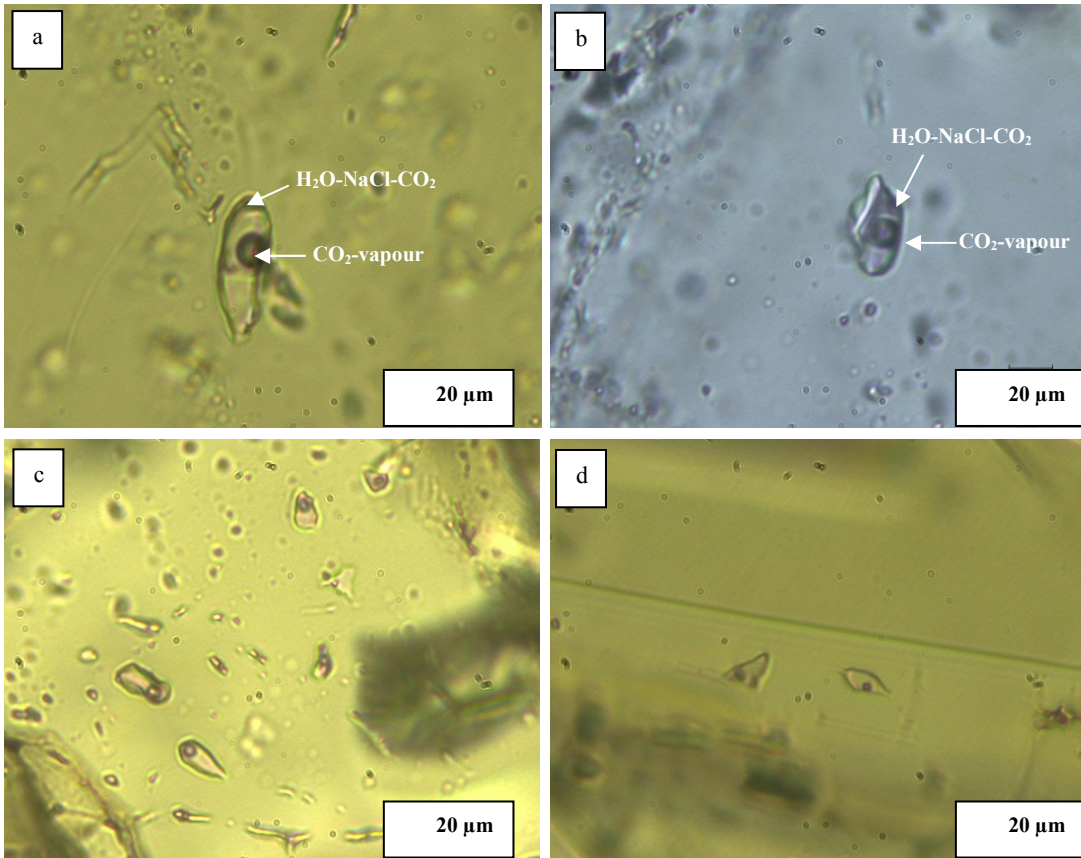
**Gambar-5.** (a) Grafik distribusi nilai rata-rata Temperatur Homogenesis ( $T_h$  °C) dan (b) nilai rata-rata Temperatur of Melting ( $T_m$  °C) dari 3 tipe urat.



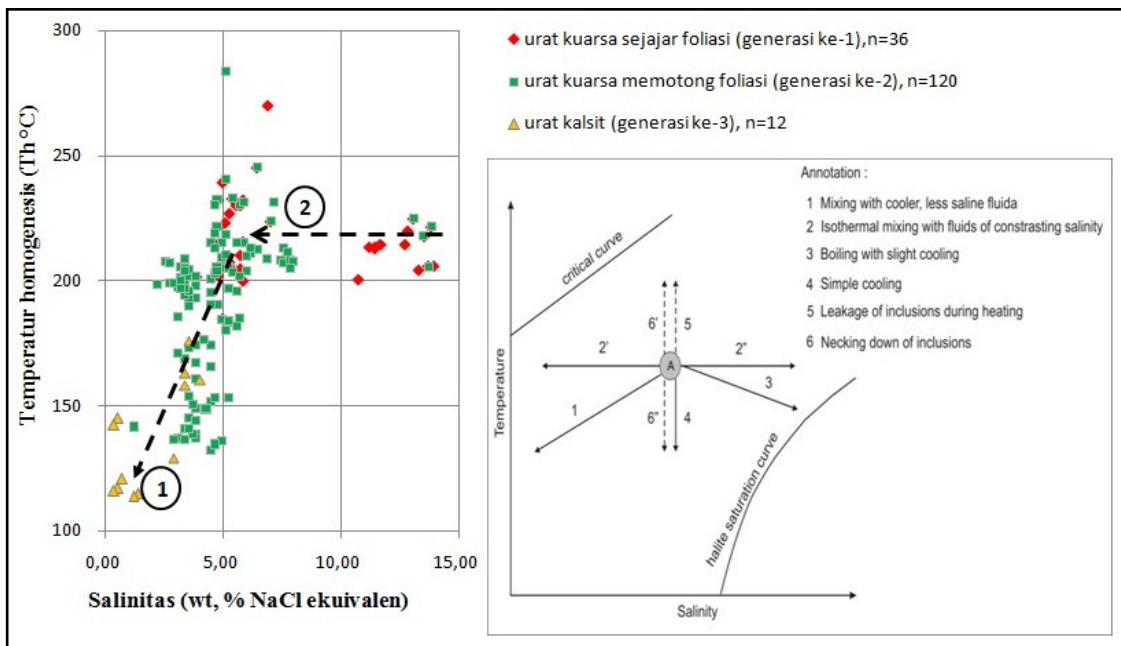
**Gambar-6.** Grafik distribusi nilai rata-rata Salinitas (wt, %NaCl ekuivalen) dari 3 tipe urat.

Pada hasil pengamatan petrografi inklusi fluida memperlihatkan bukti kontribusi cairan meteorik, magmatik maupun cairan metamorfik yang membentuk urat kuarsa yang diwakili oleh  $H_2O-NaCl \pm (CO_2)$  pada *photomicrograph* inklusi fluida (Gambar-7). Komposisi gas ( $CO_2$ ) yang teranalisa dalam inklusi fluida tersebut terekam pada urat generasi pertama dan dalam jumlah yang relatif sedikit, hal tersebut diperkirakan karena posisi endapan emas tipe orogenik ini berada pada *level epizonal* atau dekat dengan permukaan (konseptual model endapan emas orogenik [8]) sehingga gas  $CO_2$  cenderung menghilang (Gambar-7). Temperatur pembentukan dari endapan ini berkisar antara  $114\text{ }^\circ\text{C}$  - $285\text{ }^\circ\text{C}$  dengan salinitas berkisar 0-15 wt, % NaCl ekuivalen. Secara umum evolusi fluida endapan emas orogenik yang ada dilokasi penelitian terbagi

menjadi 2 (dua) fase yaitu pertama fase *isothermal mixing with fluids of constricting salinity*, kemudian fase kedua menunjukkan evolusi fluidanya lebih kearah *mixing with cooler, less saline fluids*. Fluida endapan diperkirakan berasal dari campuran cairan metamorfik dan meteorik. Temperatur pembentukan dan salinitas fluida endapan emas orogenik dilokasi penelitian, menunjukkan adanya *trend* penurunan secara perlahan dari fase pertama hingga fase kedua. (Gambar-8). Dalam hal ini Peneliti, hanya sampai pada tahap interpretatif mengenai sumber fluida endapan emas orogenik dilokasi penelitian, karena secara umum, data yang ditemukan mengenai inklusi fluida, geokimia dan isotropik tidak dapat dibedakan secara jelas antara sumber metamorfik dan magmatik dalam untuk fluida bijih pada sistem emas orogenic [9].



Gambar-7. Studi inklusi fluida : (a) & (b) L-V (bifase), inklusi mengandung CO<sub>2</sub> pada urat kuarsa, (c) H<sub>2</sub>O-NaCl±(CO<sub>2</sub>) L-V pada urat kuarsa, (d) H<sub>2</sub>O-NaCl±(CO<sub>2</sub>) L-V pada urat kalsit.



Gambar-8. Hubungan antara temperatur homogenisasi (Th °C) dan salinitas dari tiga contoh tipe urat (modifikasi dari [10]).

## IV. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Dari pembahasan-pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan seperti di bawah ini.

1. Terdapat 3 generasi urat yang ada di lokasi penelitian yaitu generasi ke-1 adalah urat sejajar foliasi, generasi ke-2 adalah urat yang memotong foliasi, sedangkan generasi ke-3 yaitu urat kalsit-kuarsa, merupakan fase akhir dari endapan emas orogenik di lokasi penelitian.
2. Evolusi fluida endapan emas orogenik yang ada di lokasi penelitian terbagi 2 (dua) fase yaitu fase isothermal mixing with fluids of constricting salinity, dan mixing with cooler, less saline fluids.
3. Berdasarkan analisis inklusi fluida, maka temperatur pembentukan endapan berkisar antara 114 °C-285 °C dengan salinitas berkisar 0-15 wt % NaCl ekuivalen, sedangkan fluida endapan diperkirakan berasal dari cairan metamorfik serta sedikit bercampur dengan cairan magmatik maupun cairan meteorik.

### B. Saran

Perlu dilakukan analisis *Raman Spectrometry* untuk mengetahui komposisi kimia secara detail dari inklusi fluida.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada management PT. Panca Logam yang telah bersedia membantu untuk kelancaran studi ini.

## DAFTAR PUSTAKA.

- [1] Hamilton, W., 1988. Plate Tectonics and Island Arcs. *Geological Society of America Bulletin*, 100, h.1503-1527.
- [2] Surono dan Sukarna, D., 1995. The Eastern Sulawesi Ophiolite Belt, Eastern Indonesia. A review of its origin with special reference to the Kendari area. *Journal of Geology and Mineral Resources*, 46, h.8 - 16.
- [3] Surono, 2011. Tektono-Stratigrafi bagian timur Sulawesi. *Abstract Joint Convention IAGI ke 40 dan HAGI ke 36*, Makasar.
- [4] Van Leeuwen, T.M., Taylor, R., Coote, A., dan Longstaffe, F.J. Porphyry Molybdenum Mineralization in a Continental Collision Setting at Malala, Northwest Sulawesi, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*. 1994; 50: 279-315.
- [5] Sukanto, R., and Simanjuntak R. O. Tectonic Relationship Between Geologic Provinces of Western Sulawesi, Eastern Sulawesi and Banggai - Sula in the Light of Sedimentological Aspect. *Bull. Geol. Res and Dev. Centre*. No. 7. 1983.
- [6] Baker, J.R. Package FLUIDS 1 Computer Programs for Analysis of Fluid Inclusion Data and For Modelling Bulk Fluid Properties. *Chemical Geology*. 2003; 194: 3-23.
- [7] Idrus A., I Wayan W., Nur I., Sufradin., Imai A, Widasaputra S., Siska I.M., Fadlin, Kamrullah. *Metamorphic Rock-Hosted Orogenic Gold Deposit Type as A Source Of Langkowala Placer Gold, Bombana, Southeast Sulawesi, Indonesia*. The 39th IAGI Annual Convention and Exhibition. Senggigi Lombok. 2010.
- [8] Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G., and Groves, D. I. A classification scheme for epigenetic Archaean lode-gold deposits. *Mineralium Deposita*. 1995; 30: 408-410.
- [9] Groves, D. I., Goldfarb, R. J., and Robert, F. Gold deposit in metamorphic belts: Overview or current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology*. 2003; 98: 1-29.
- [10] Shepherd, T.J. Rankinn, A.H. and Alderton, D.H.M. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. New York: Chapman and Hall. 1985.