

KARAKTERISTIK INKLUSI FLUIDA DALAM MINERALISASI EMAS DI DAERAH LUMBAN JULU, TOBASA, SUMATRA UTARA

B.H. Harahap dan H.Z. Abidin

Pusat Survei Geologi
Jl. Diponegoro 57 Bandung 40122

Abstrak

Studi inklusi fluida telah dilakukan di daerah Lumban Julu, Kabupaten Tobasa, Provinsi Sumatra Utara dalam rangka program penelitian metalogeni zone Bukit Barisan segmen Sumatra Utara. Contoh yang dianalisa berupa urat kuarsa yang berasosiasi dengan mineralisasi emas. Kandungan logam pada urat kuarsa adalah 12 -131 ppm Cu, 13 - 495 ppm Pb, 8-183 ppm Zn, 2-407 ppm Ag dan 0,01-1,85 ppm Au. Urat kuarsa berwarna putih susu sampai bening (transparan), berbentuk prismatic dan bertekstur crustiform banding, colloform mengandung mineral klorit, lempung, epidot dan mineral opak. Inklusi fluida yang terbentuk dalam kuarsa induk berupa kristal negatif yang mempunyai dua komponen (bi-phase) berupa fase cair (liquid) dan fase gas (bubble). Inklusi cair terdiri dari inklusi primer dan inklusi sekunder yang masing-masing terdapat dalam zona kristal dan zona rekahan. Temperatur homogenisasi inklusi cair dapat dibedakan menjadi T-tinggi (326 - >400°C) dan T-rendah (135-262°C). Larutan hidrotermal ini kaya akan air dengan kegaraman (salinity) rendah (-0.28 - (-1.36)) % berat NaCl equivalent). Data kimiawi tersebut membuktikan bahwa telah terjadi pendidihan (boiling) sewaktu pengendapan mineral. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses mineralisasi yang terjadi di daerah ini terdiri atas dua sistim pengendapan mineral, yaitu pertama berkaitan dengan T-tinggi dengan sistim mesothermal, pada kedalaman ± 1600 m dan kedua adalah T-rendah yang berkaitan dengan lingkungan sistim epitermal, pada kedalaman ± 550 m.

Kata kunci: inklusi fluida, kuarsa, epitermal, Tobasa

Abstract

Fluid inclusions study have been conducted in the Lumban Julu area, Tobasa Residence, North Sumatra Province, in the frame work research of programs on metallogeny in the Bukit Barisan zone, North Sumatra segment. Samples analyzed are derived from quartz veins associated with gold mineralization. Metal content of the veins are 12 -131 ppm Cu, 13 - 495 ppm Pb, 8- 183 ppm Zn, 2-407 ppm Ag and 0,01-1,85 ppm Au. These quartz veins are milky-white to transparent, prismatic shape and crustiform banding, colloform in texture, containing quartz and several other minerals such as chlorite, clay, epidote and opaque. Fluid inclusions within the quartz host form negative crystals, made up of two components (bi-phase) consisted of liquid and vapor. The liquid phases consist of primary and secondary inclusions and occur within quartz crystal and fractured zone. Liquid Fluid inclusion measurement shows that homogenization temperature can be divided into high-T (326 to >400°C) and low-T (135-262)°C. This hydrothermal fluid is rich in water with low salinity (- 0.28 – (- 1.36) % NaCl equivalent). The data confirm that boiling processes took place when mineral was deposited. Therefore, it is concluded that mineralization processes in the area comprise two systems of mineral depositions, firstly associated with high-T with mesothermal system at ± 1600 m depth and the second one associated with ephythermal system at ± 550 m depth.

Key word: fluid inclusion, quartz, epithermal, Tobasa

Pendahuluan

Kegiatan lapangan untuk studi magmatisme dan kaitannya dengan metalogeni di segmen utara zone Bukit Barisan, Sumatera Utara (Gambar 1) pada tahun 2007, telah dapat mengidentifikasi

keberadaan mineralisasi emas di daerah Sungai (Aek) Jangga, Kecamatan Lumban Julu, Kabupaten Tobasa, Provinsi Sumatra Utara (Gambar 1). Adapun titik lokasi pengambilan percontohan sekitar 5 km sebelum tenggara Danau Toba dengan koordinat S 99° 04' 57.0", U 02° 33' 34.1". Untuk memahami lebih lanjut model mineralisasi di daerah ini telah

Naskah diterima : 24 Desember 2011
Revisi terakhir : 23 Agustus 2012



Gambar 1. Peta geografi Sumatra bagian utara yang menunjukkan lokasi daerah penelitian (kotak merah)

dirancang salah satu metoda dasar dalam eksplorasi, yang lazim dikenal dengan analisa inklusi fluida (fluid inclusion).

Inklusi fluida, yang didefinisikan sebagai material halus berukuran mikron (μ) terdapat di dalam suatu mineral dan dapat hadir dalam bentuk 3 fasa, yaitu fasa padat, cair maupun gas. Material halus yang berupa gelembung ini dapat bergerak-gerak di dalam mineral kuarsa atau mineral lainnya (kalsit, pirit dll.) (Roedder, 1984). Gelembung-gelembung gas di dalam inklusi fluida umumnya terbentuk akibat perbedaan koefisien penyusutan dari cairan dan mineral yang mengelilinginya selama masa pendinginan dari suhu yang lebih tinggi pada saat terjadinya inklusi (T_t , *temperature of trapping*) dan temperatur pada saat dilakukan pengamatan. Dengan tehnik pemanasan, gelembung gas tersebut akan hilang apabila mencapai suhu tertentu, yang dikenal sebagai suhu homogenisasi (T_h :

temperature of homogenization), dan dapat dianggap sebagai mendekati atau identik dengan T_t . Suatu teknik pendinginan terhadap inklusi cair sampai terjadinya fasa padat (es) disebut suhu pembekuan (T_f : *temperature of freezing*). Selanjutnya dengan pemanasan secara perlahan-lahan, es ini akan mencair, temperatur pada saat seluruh es mencair, disebut dengan suhu peleburan (T_m : *temperature of melting*). Dengan diketahuinya T_h , T_f dan T_m maka akan diketahui banyak informasi dari lingkungan fisik maupun kimiawi di dalam kristal induknya. Ini adalah salah satu prinsip dasar dalam melakukan pengukuran inklusi cair.

Secara genetik, inklusi fluida dapat dibedakan menjadi primer, sekunder dan pseudo-sekunder (Roeder, 1984). Selama proses kristalisasi dari suatu mineral, ada kemungkinan bahwa sebagian cairan / larutan akan terperangkap di dalam kristal tersebut dan ini termasuk inklusi primer. Selanjutnya akibat terjadi peristiwa

Tabel 1. Deskripsi ringkas dan hasil pengukuran percontoh batuan

No	Percontoh	Deskripsi
1	07HZ20P1	Kuarsa berwarna putih susu dan transparan, bertekstur <i>crustiform banding</i> dan prismatik, memiliki noktah-noktah mineral lempung dan klorit yang berwarna kecoklat-coklatan dan kehijauan. Inklusi fluida terdapat dalam mineral induk kuarsa, berbentuk kristal negatif, disusun oleh komponen air dan uap (<i>bifase</i>), terbentuk secara primer, berkelompok (<i>cluster</i>). Data pengukuran mikrotermometer inklusi fluida primer memiliki suhu pencairan es berkisar antara (-0.1 - -0.4)°C dan suhu homogenisasi antara (170->375)°C.
2	07HZ20P2	Kuarsa berwarna putih susu dan transparan, bertekstur <i>crustiform banding</i> , berasosiasi dengan klorit berwarna kehijau-hijauan. Inklusi fluida terdapat di dalam mineral induk kuarsa bagian transparan, disusun oleh komponen air dan uap (<i>bifase</i>), berbentuk kristal negative, dan terbentuk secara primer. Data pengukuran mikrotermometer suhu pencairan es berkisar antara (-1.5 - -2.2)°C dan suhu homogenisasi > 375°C.
3	07HZP3	Kuarsa berwarna putih susu, berasosiasi dengan epidot berwarna hijau sampai kekuning-kuningan dan oksida besi berwarna coklat kemerahan, dan berhubungan dengan penyebaran retakan mikro. Inklusi fluida terbentuk secara primer di dalam zona pertumbuhan kuarsa, berbentuk kristal negatif, dan <i>bifase</i> (air dan uap). Inklusi fluida lainnya banyak dijumpai dalam kondisi telah hancur. Data pengukuran mikrotermometer suhu pencairan es berkisar antara (-0.1 - -0.5)°C dan suhu homogenisasi antara (261->375)°C.
4	FI07HZ	Kuarsa berwarna abu-abu dan putih susu, mengandung noktah-noktah oksida besi berwarna kecoklat-coklatan. Inklusi fluida terdapat di dalam mineral induk kuarsa, <i>bifase</i> (air dan uap), terbentuk secara primer, berbentuk kristal negatif. Data pengukuran mikrotermometer suhu pencairan es berkisar antara (-0.1 - -0.5)°C dan suhu homogenisasi antara (141-390)°C.
5	07HZ 20Pg	Kuarsa berwarna abu-abu gelap - putih susu dan transparan, berasosiasi dengan klorit, dan mengandung retakan-retakan mikro. Data pengukuran mikrotermometer suhu pencairan es berkisar antara (-0.1 - -0.2)°C dan suhu homogenisasi antara (135-262)°C.
6	07HZ20P10	Kuarsa berwarna putih susu sampai abu-abu gelap, bertekstur <i>crustiform banding</i> , prismatik, berasosiasi dengan oksida besi, klorit, dan memiliki retakan-retakan mikro. Inklusi fluida terdapat di dalam mineral induk kuarsa bagian transparan, berbentuk kristal negatif, bifase (air dan uap), terbentuk secara primer, <i>isolated</i> , dan sekunder dalam zona retakan. Inklusi fluida kebanyakan dijumpai pada kondisi telah rusak. Data pengukuran mikrotermometer suhu pencairan es (-0.5)°C dan suhu homogenisasi > 375°C.
7	07HZ 08K	Kuarsa berwarna putih susu dan transparan, berasosiasi dengan klorit dan mineral lempung, <i>crustiform banding</i> dan <i>prismatic</i> . Inklusi fluida terdapat di dalam zona pertumbuhan kristal induk, berbentuk kristal negative, <i>bifase</i> (air dan uap). Data pengukuran mikrotermometer suhu pencairan es berkisar antara (-0.2 - -0.5)°C dan suhu homogenisasi > 400°C.
8	07HZ 20P5	Kuarsa berwarna abu-abu kecoklatan sampai putih susu dan transparan, berasosiasi dengan oksida besi berwarna kecoklat-coklatan. Inklusi fluida terdapat dalam mineral induk kuarsa, berbentuk kristal negative, bifase (air dan uap), terbentuk secara primer pada zona pertumbuhan kristal induk dan secara sekunder pada zona retakan mikro. Data pengukuran mikrotermometer inklusi fluida primer, suhu pencairan es berkisar antara (-0.2 - -1.2)°C dan suhu homogenisasi antara (326->400)°C.
9	07HZ20P8	Kuarsa berwarna abu-abu dengan noktah-noktah berwarna kehijau-hijauan, dan masif. Inklusi fluida terdapat dalam mineral induk kuarsa, bagian transparan, berbentuk kristal <i>negative</i> , <i>bifase</i> (air dan uap), terbentuk secara primer di dalam zona pertumbuhan kristal induk. Data pengukuran mikrotermometer suhu pencairan es berkisar antara (-0.1 - -0.8)°C dan suhu homogenisasi antara (146-400)°C.

geologi yang menghasilkan retakan dan kemudian diisi oleh larutan hidrotermal dan terbentuk inklusi fluida setelah terjadi proses *healing*. Inklusi fluida yang terbentuk kemudian ini disebut sebagai inklusi sekunder. Sedangkan transisi di antara keduanya disebut sebagai inklusi fluida pseudo-sekunder.

Makalah ini membahas sifat-sifat umum dari inklusi fluida, terutama temperatur pembentukan mineral di daerah Toba yang diharapkan dapat dipakai sebagai informasi pendahuluan dalam melakukan eksplorasi mineral.

Preparasi percontoh

Pemercontohan dilakukan terhadap bongkah-bongkah yang terdapat di sungai dengan cara memecahkannya, dengan menggunakan palu

geologi dan pahat sehingga kecil. Percontoh-percontoh terpilih berupa batuan terubah, batuan termineralisasi dan urat kuarsa.

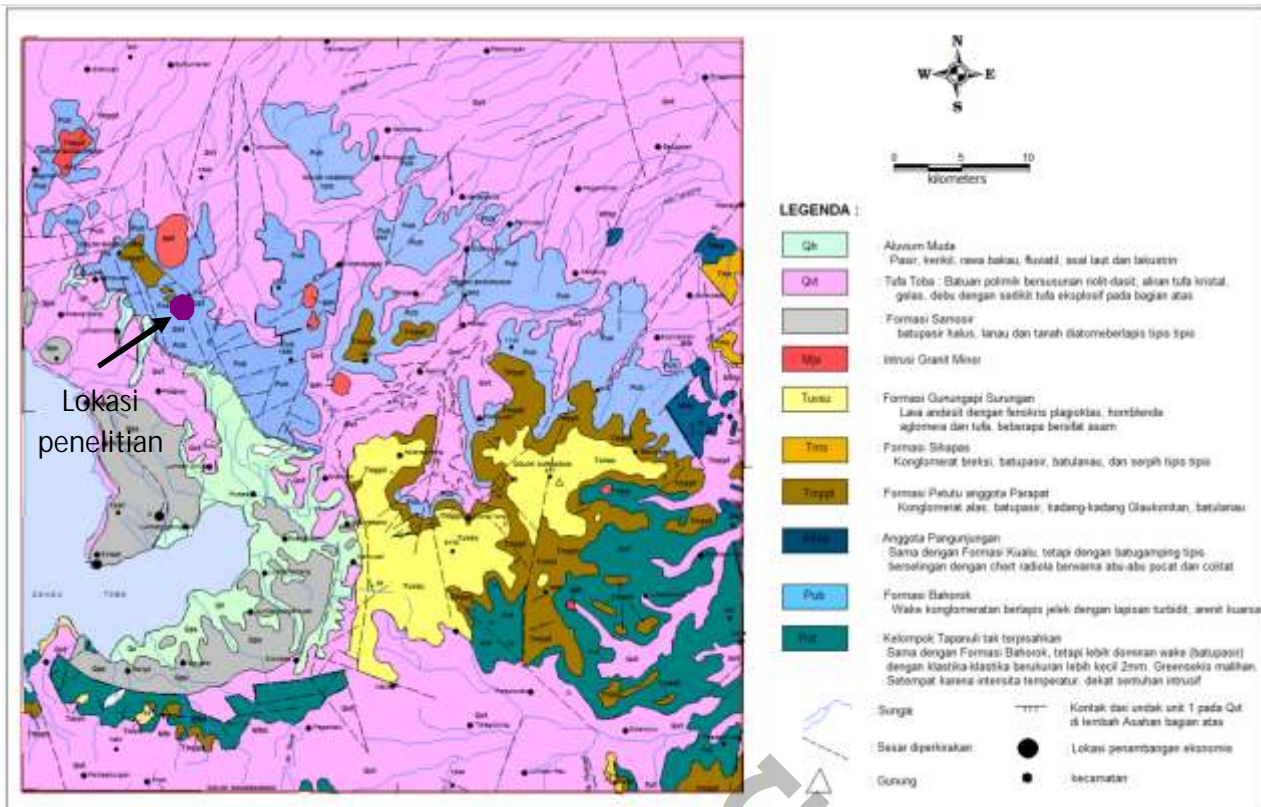
Urat kuarsa yang transparan dipilih untuk dianalisis mikrotermometri. Urat yang diduga kaya inklusi fluida dibuat sayatan pipih dengan ketebalan 0,3 mm. Sayatan demikian disebut sayatan pipih ganda (*double polished section*) di mana kedua sisinya (atas / bawah) dilakukan pemolesan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan "Linkam microthermometry, system THMSG 600 yang dihubungkan dengan sebuah transmited microscope di Laboratorium Fisika Mineral, Pusat Penelitian Geotek, LIPI, Bandung. Dari jumlah sembilan buah contoh yang berupa sayatan polis ganda telah dihasilkan sebanyak 72 inklusi cair primer (Tabel 1).

Tabel 2. Data hasil pengukuran suhu pencairan es (Tm) dan suhu homogenisasi (Th) (% wt NaCl eq. dihitung dari Tm rata-rata)

No.	Percontoh	Jenis inklusi	Nomor inklusi	Pengukuran		Salinitas %berat NaCl (Roedder, 1984)
				Tm	Th	
1	07/HZ/20/PI	primer	1-11	-0,1-(-0,4)	170 -> 375	0,28
2	07/HZ/ 20P2	primer	1-5	-1,5 -2,2)	>375	0,7
3	07/HZ/ 20P3	primer	1-5	-0,1- (-0,5)	261->375	0,5
4	FI/07/HZ	primer	1-15	-0,2- (-0,5)	141-390	0,35
5	07/HZ/ 20Pg	primer	1-15	-0,1-0,2	134-262	0,3
6	07/HZ/ 20P10	primer	1-2	-0,5	>375	0,9
7	07/HZ/ 08K	primer	1-3	-0,2-(-0,5)	>400	0,52
8	07/HZ/ 20P5	primer	1-5	-0,2 -(+0,2)	326->400	1,36
9	07/HZ/ 20P8	primer	1-17	-0,1-(-0,6)	146->400	0,51

Tabel 3. Hasil analisis AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) (ppm)

Percontoh	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
07/HZ/20 P3	12.2	12.8	8	12.6	0.025
07/HZ/20 P4	67.1	164.1	182.6	31.6	0.273
07/HZ/20 P5	39.8	92.6	14.7	11.7	0.171
07/HZ/20 P6	40.4	112.7	38.5	39	0.383
07/HZ/20 P7	12.5	43.5	14.9	91.9	1.852
07/HZ/20 P8	40.6	21.5	30.2	19.4	0.014
07/HZ/20 P9	130.9	31.9	107.4	405.6	0.206
07/HZ/20 P 10	25.6	27.3	28.8	2.1	0.008
07/HZ/20 P11	49.1	93.2	20.2	17.4	0.144
07/HZ/20 P12	172	303.8	122	109.3	0.36
07/HZ/20 P16	23.4	47.7	11.8	39.3	0.011
07/HZ/20 P17	120.9	494.8	108.9	81.8	0.265
07/HZ/20 P18	19.8	25	9	75.3	0.049



Gambar 2. Peta Geologi daerah Lumban Julu (Sumber: Clarke drr, 1982)

Hasil pengukuran inklusi cair yang berupa Th, Tf, Tt, Tm dan kegaraman terlihat dalam Tabel 2.

Selain analisis inklusi fluida, telah di analisis juga secara kimiawi sebanyak 13 contoh batuan termineralisasi di Laboratorium Pusat Survei Geologi untuk mengetahui kandungan mineral, menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) (Tabel 3).

Geologi

Daerah Lumban Julu yang merupakan bagian dari Peta Geologi Lembar Pematang Siantar skala 1:250 000 (Clarke dkk., 1982) ditempati oleh beberapa tipe litologi dan umur (Gambar 2). Batuan tertua di daerah ini adalah Kelompok Tapanuli takterpisahkan (Put) dan Formasi Bahorok (Pub) dengan intrusi granit minor (Mpi). Kelompok Tapanuli takterpisahkan terdiri atas batupasir *wake* dengan klastika kasar, sementara Formasi Bahorok tersusun oleh batupasir *wake* konglomeratan dan arenit. Kedua unit di atas ditutup secara tidak selaras oleh Anggota Pangunjunan dari Formasi Kualu berumur

Perem akhir sampai Trias akhir yang terdiri atas batugamping dengan perselingan rijang. Seluruh unit yang berumur Karbon akhir sampai Trias tersebut ditindih secara tidak selaras oleh Formasi Peutu dan Formasi Sihapas berumur Miosen, terdiri atas konglomerat, batupasir dan batulanau. Kedua unit ini dibedakan berdasarkan kehadiran serpih dan breksi dalam Formasi Sihapas.

Kegiatan vulkanik di daerah ini bersumber dari Dolok Surungan dikenal dengan Formasi Gunungapi Surungan (Tuvsu) berumur Mio-Pliosen, menghasilkan lava andesit dan tuf asam, tersebar hanya disekitar daerah Lumban Julu. Di Sungai Jangga batuan ini telah mengalami ubahan / alterasi dan mineralisasi.

Tuf Toba (QvT) yang berumur Plistosen Tengah terhampar secara luas dan menindih secara tidak selaras unit-unit batuan yang lebih tua, terdiri atas tuf berkomposisi riolit dan dasit.

Batuan termuda di daerah ini adalah sedimen klastik halus dan tanah diatomea (Formasi Samosir). Alluvium terdapat di pinggiran danau Toba dan berupa endapan sungai.

Hasil Penelitian

Litologi yang menempati daerah penelitian pada umumnya dikuasai oleh Tuf Toba yang terdiri atas tuf riolit, dan batuan diorit hadir sebagai bongkah di Sungai Jangga. Mineralisasi emas di Sungai Jangga ditandai dengan keberadaan singkapan batuan teralterasi kuat dan bongkah batuan yang termineralisasi kuat (Gambar 3 dan 4). Batuan ini berkaitan dengan kegiatan magma berumur Mio-Pliosen yang dipetakan sebagai Formasi Gunungapi Surungan (Clarke dkk., 1982). Bongkah-bongkah batuan tersebut mengandung urat kuarsa yang berlimpah dengan mineral sulfida besi (pirit) dan tembaga (kalkopirit). Bongkah lainnya adalah batuan beku (diorit) teralterasi kuat dan kaya akan klorit dan sedikit epidot, yang diinterpretasikan sebagai Diorit Tinjoan berumur Mio-Pliosen (Clarke dkk., 1982), tidak tercantum dalam Gambar 2. Hasil pendulangan pasir beserta kerikil lepas pada Sungai Jangga menunjukkan keberadaan butiran emas berukuran sangat halus (*very fine color*).

Berdasarkan data litologi yang sebagian besar berasal dari *float* sungai, secara umum alterasi hidrotermal yang berkembang di daerah penelitian terdiri atas zona alterasi propilitik (klorit-epidot-kalsit) dan zona silisifikasi (kuarsa-mineral lempung). Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa mineralisasi bijih (urat kuarsa) umumnya berasosiasi dengan zona silisifikasi. Urat-urat kuarsa tersebut berstruktur pejal, *banded colloform*, *crustiform* dan *cockade breccia*, sehingga masih dikategorikan sebagai urat epitermal. Analisis kimia terhadap beberapa urat kuarsa pada bongkah batuan di Sungai Jangga menunjukkan kadar logam yang sangat bervariasi. Kadar logam pada urat kuarsa adalah 12 -131 ppm Cu, 13 - 495 ppm Pb, 8-183 ppm Zn, 2-407 ppm Ag dan 0,01-1,85 ppm Au (Table 3). Dari data di atas terlihat bahwa kandungan Au cukup tinggi, yaitu mencapai 1, 85 ppm (kadar 0,8 ppm sudah dianggap ekonomis), demikian juga Pb dan Ag yang mencapai masing-masing 495 dan 406 ppm.

Contoh batuan untuk studi inklusi fluida di daerah ini dilakukan terhadap bongkah batuan yang termineralisasi kuat dengan urat kuarsa yang masih bagus dan tidak pecah-pecah. Kondisi fisika-kimia pembentukan endapan logam dasar diinterpretasi berdasarkan studi mikrotermometri pada inklusi fluida dalam urat kuarsa. Secara umum ada dua tipe inklusi fluida yang teramati yaitu inklusi primer

(Gambar 5a,b) dan sekunder (Gambar 5c,d). Inklusi fluida yang terdapat di dalam mineral kuarsa transparan, berbentuk kristal negatif serta disusun oleh dua komponen (*bifase*) yang terdiri dari air dan uap (*liquid* dan *vapour*), yang terbentuk secara primer di dalam zona pertumbuhan kristal induk, dan inklusi sekunder pada zona retakan mikro. Hasil pengukuran suhu homogenisasi (T_h) dan suhu pencairan es (T_m) berturut-turut disajikan dalam Tabel 1 dan 2 sedangkan diagram histogram masing-masing kelompok sampel dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

Diskusi

Aplikasi studi inklusi fluida dalam bidang eksplorasi mineral bijih memberikan manfaat yang besar, misalnya untuk membedakan antara lingkungan mineralisasi yang relatif dekat permukaan dan suhu rendah (contoh klasik: lingkungan epitermal) dan lingkungan mineralisasi lebih dalam dengan suhu tinggi (lingkungan mesotermal), seperti yang dibahas oleh Bodnar (1985). Inklusi fluida yang terbentuk pada lingkungan epitermal dicirikan oleh kehadiran hanya dua fasa saja, yaitu fase cair dengan salinitas rendah dan fase gelembung uap (pada suhu kamar). Pada lingkungan epitermal, fase padat yang berupa kristal anakan (*daughter crystal*) dari halit dan silvit tidak pernah dijumpai di dalam inklusi fluida. Selain hal yang sangat umum yang mencirikan lingkungan epitermal tersebut, adalah inklusi cair yang terbentuk pada zona didih (*boiling zone*). Zona didih ini sangat potensial terjadinya pengendapan mineral bijih (Drummond and Ohmoto, 1985). Oleh karena itu bukti-bukti yang ditunjukkan oleh inklusi fluida yang mencirikan zona didih dapat digunakan sebagai suatu alat eksplorasi yang baik untuk mendeteksi endapan bijih berharga epitermal (Kamili dan Ohmoto, 1977).

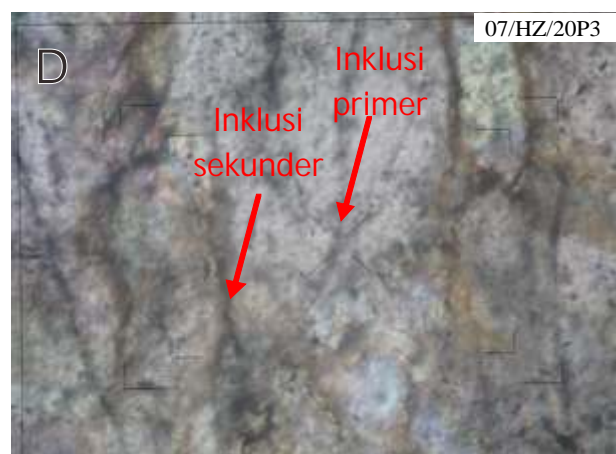
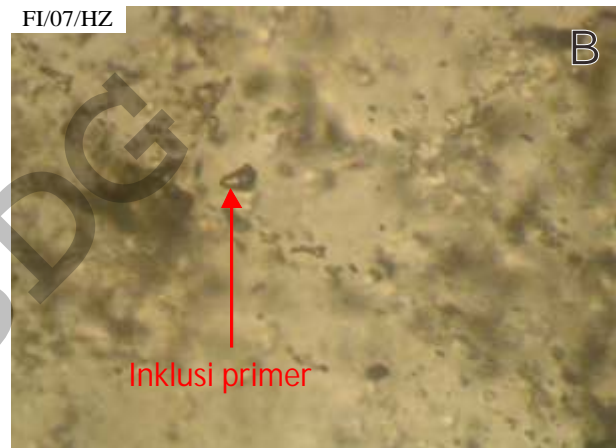
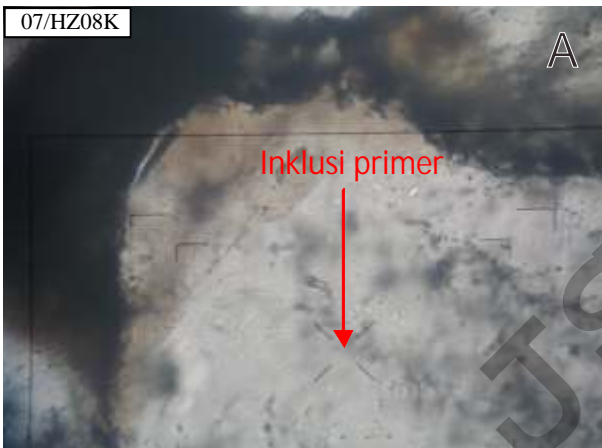
Hasil pengukuran mikrotermometri contoh urat kuarsa di daerah Toba menunjukkan bahwa semua inklusi fluida memperlihatkan dua fase (fluida dan gas). Artinya, selama proses hidrotermal telah terjadi pemisahan antara fluida dan gas. Proses pemisahan ini dikenal dengan istilah pendidihan (*boiling*) (Shepherd, 1985). Hal ini ditunjang adanya tekstur urat kuarsa berupa *colloform* dan *crustiform* banding yang mencirikan adanya *boiling*. Adanya pendidihan dalam suatu proses hidrotermal merupakan waktu yang sangat efektif / aktif untuk pengendapan mineral terutama emas (Henley, 1985). Walaupun hasil analisa di daerah ini tidak ditemukan kandungan



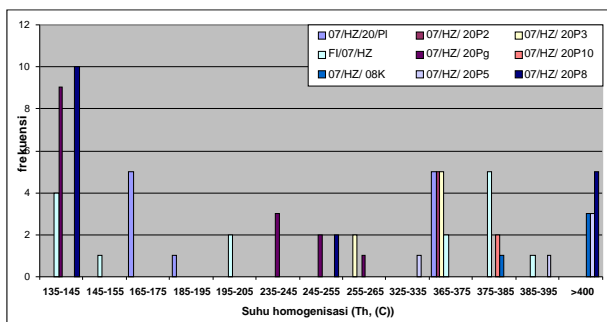
Gambar 3. Singkapan batuan gunungapi terubah kuat berupa lempung (putih) dan pirit (tidak nampak) di Sungai (Aek) Jangga, Lumban Julu.



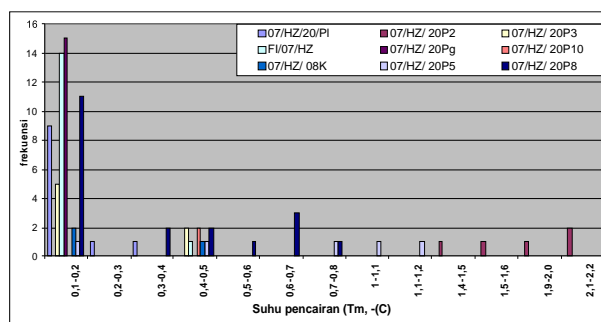
Gambar 4. Bongkah urat karsa dengan comb structure mengandung pirit di Sungai Jangga, Lumban Julu.



Gambar 5. Foto mikro (tanpa skala) tipe inklusi fluida dalam urat karsa dari Sungai Jangga (contoh 07HZ08 K (a), FL/07HZ (b), 07/HZ/20P8 (c) dan 07/HZ/20P3 (d)). Foto (a) sebaran inklusi cair primer, foto (b) inklusi primer berbentuk *negative*, foto (c) mikroinklusi fluida primer dan sekunder, dan foto (d) mikroinklusi fluida primer dan sekunder. Catatan: inklusi fluida sekunder tidak dapat di analisis karena tidak memenuhi syarat.



Gambar 6. Histogram distribusi suhu homogenisasi (Th).



Gambar 7. Histogram distribusi suhu pencairan es (Tm).

emas yang cukup tinggi, namun bukan berarti wilayah ini tidak prospek untuk cebakan emas. Beberapa daerah pada zone yang sama (Zone Bukit Barisan) antara lain Punama Gold Deposit, Batang Toru (Kabupaten Tapanuli Selatan) berkaitan dengan kegiatan magma berumur Miosen Atas (Formasi Angkola) (Aspden dkk, 1982) , posisinya berada sekitar 125 km ke arah selatan terdapat cebakan emas yang cukup ekonomis / prospek (Brian et al., 2004). Daerah lainnya adalah Sungai Mailil, Rantau Perapat (Kabupaten Labuhan Batu), posisinya berada 75 km ke arah tenggara terdapat emas plaser (Harahap 2012, komunikasi lisan), yang ditafsirkan berkaitan dengan intrusi diorit berumur Mio-Pliosen (Diorit Tinjoan).

Lebih lanjut, dua jenis temperatur homogenisasi yang berbeda dapat dijumpai dalam inklusi fluida yaitu 135-262°C dan 326->400°C. Hasil perhitungan kegraman menunjukkan bahwa inklusi fluida yang mempunyai temperatur homogenisasi tinggi cenderung memiliki salinitas tinggi. Sebaliknya, inklusi fluida yang mempunyai Th rendah berasosiasi dengan salinitas rendah. Dengan demikian, dua sistem hidrotermal dijumpai di daerah penelitian, yaitu Th tinggi ada keterlibatan dengan sistem air magmatik sedangkan Th yang bertemperatur rendah nampaknya banyak dipengaruhi oleh air meteorik (meteoric water). Dengan kata lain bahwa inklusi fluida yang mempunyai Th rendah dan salinitas rendah (- 0,1 s/d - 0,2 % berat Na Cl) serta berkaitan dengan air meteorik dapat digolongkan ke dalam sistem hidrotermal sedangkan inklusi fluida dengan Th tinggi, salinitas agak tinggi (0,28 s/d 1,3 % berat Na Cl) dan berhubungan dengan air magmatik dapat digolongkan ke dalam sistem mesotermal.

Untuk menunjang pernyataan di atas, data salinitas,

suhu dan kedalaman pembentukan bijih diplot pada diagram Hass (1971) (Gambar 8). Ternyata proses mineralisasi di daerah ini ada dua jenis yaitu (1) mineralisasi yang terbentuk pada kedalaman ± 1600 m yang dicirikan oleh suhu 326 - >400°C dengan salinitas tinggi, dan (2) pada kedalaman ± 550 m yang dicirikan oleh suhu 262°C dengan salinitasnya rendah.

Implikasi terhadap zonasi metalogeni dan eksplorasi dapat dijelaskan sebagai berikut: Dari studi inklusi fluida di daerah Lumban Julu ini, secara jelas dapat mengklasifikasikan 2 tipe mineralisasi, yaitu : epitermal dan mesotermal. Kedua tipe ini dibedakan atas perbedaan temperatur yang mencolok di mana temperatur (Th) untuk tipe epitermal lebih rendah dibandingkan dengan temperatur (Th) tipe mesotermal. Selain itu, dari segi pembentukannya, kedua tipe ini juga sangat berbeda. Tipe epitermal terbentuk pada kondisi dangkal (*shallow level*) dengan kedalaman 550m sedangkan mesotermal terbentuk pada kondisi yang agak dalam (*deeper level*) dengan kedalaman 1600m. Bahkan, sumber air dalam proses mineralisasi kedua tipe ini juga sangat berbeda yaitu masing-masing dipengaruhi oleh air tanah untuk tipe epitermal sedangkan tipe mesotermal dipengaruhi lebih banyak oleh air magmatik. Dengan demikian, studi inklusi fluida di samping dapat membedakan jenis mineralisasi juga sekaligus dapat mendelineasi zonasi yang terdapat di sepanjang Bukit Barisan, Sumatra. Dengan ditemukan dua zonasi mineralisasi ini, maka metoda eksplorasi juga akan berbeda. Untuk tipe epitermal, konsentrasi pencarian logam difokuskan kepada logam mulia (emas) sedangkan pada tipe mesotermal pencarian logam bisa untuk logam dasar ataupun logam mulia.

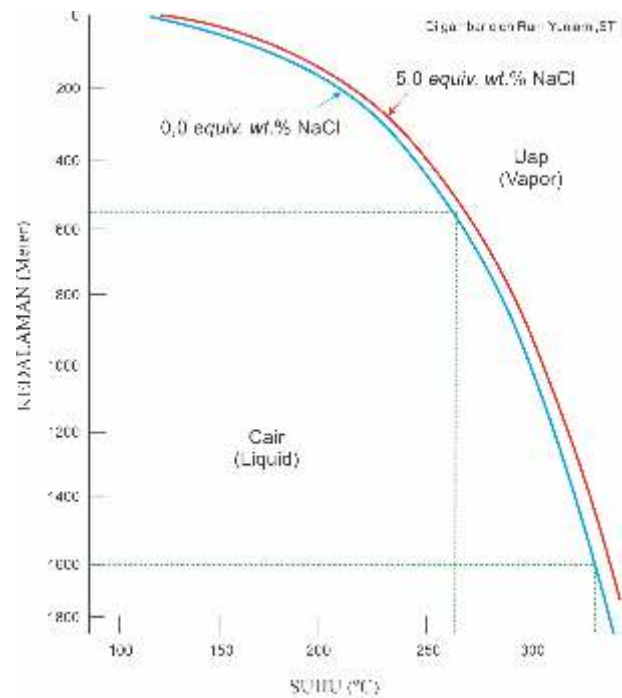
Kesimpulan

Bongkah-bongkah batuan yang termineralisasi di daerah Lumban Julu didominasi oleh kuarsa yang berasosiasi dengan sedikit klorit, epidot dan mineral lempung. Alterasi yang berkembang berupa jenis propilitik (klorit-epidot-kalsit) dan silisifikasi (kuarsa-mineral lempung). Urat kuarsa umumnya memperlihatkan variasi tekstur crustiform banding dan breksiasi serta masif. Mineral logam yang hadir berupa emas yang berasosiasi dengan pirit dan sedikit kalkopirit.

Sebanyak 9 sampel yang telah dianalisis, semuanya mengandung inklusi fluida dengan kondisi yang cukup baik untuk diamati dan dilakukan pengukuran mikrotermometer. Inklusi fluida dijumpai dalam urat kuarsa yang bertekstur crustiform banding, berbentuk prismatic serta berasosiasi dengan klorit, mineral lempung dan mineral opak. Inklusi fluida terdapat dalam mineral induk kuarsa berbentuk kristal negative dan disusun oleh dua fase berupa liquid dan vapour. Inklusi fluida ini dapat dibedakan menjadi inklusi primer dan sekunder.

Secara keseluruhan inklusi fluida, dipengaruhi oleh lebih dari satu kali aktifitas hidrotermal. Fluida hidrotermal yang dipengaruhi oleh air meteorik dengan salinitas rendah ($-0,1$ - $-0,2$) $^{\circ}\text{C}$ dan juga T_h rendah (135 - 262 $^{\circ}\text{C}$). Fluida ini dapat digolongkan ke dalam sistim epitermal yang terbentuk pada kedalaman $\pm 550\text{m}$. Sebaliknya, fluida yang mempunyai nilai suhu homogenisasi tinggi (326 - >400) $^{\circ}\text{C}$, salinitas agak tinggi serta berkaitan dengan air magmatik digolongkan ke dalam sistem mesotermal yang terbentuk pada kedalaman 1600 m . Pendidihan telah terjadi dimana inklusi fluida umumnya terdiri dari dua fase (liquid dan gas). Hal ini ditunjang oleh hadirnya tekstur urat kuarsa berupa *banded colloform*, *crustyform* dan *cockade*.

Studi inklusi fluida di daerah ini, secara jelas dapat mengklasifikasi tipe mineralisasi, yaitu epitermal dan mesotermal dan sekaligus dapat mendelineasi zona metalogeni. Keduanya dibedakan berdasarkan temperatur (T_h) di mana tipe epitermal mempunyai T_h lebih rendah untuk logam mulia, dan tipe mesotermal bisa untuk logam dasar atau logam mulia.



Gambar 8. Diagram hubungan suhu dan kedalaman proses mineralisasi di daerah Lumban Julu, Tobasa (Hass, 1971)

Ucapan Terimakasih

Studi ini dilakukan dalam rangka kegiatan proyek penelitian magmatisme Segmen Sumatra Utara, Zone Bukit Barisan, tahun anggaran 2007 dari Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Bandung. Kami ucapkan terimakasih kepada semua personil yang terlibat dalam penelitian ini, yaitu Drs Wawa Kartawa, Ir Duddy Djumhana, Ir Yan Elhami MT. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Iwan Setiawan (LIPI) yang telah melakukan pengukuran inklusi cair di Laboratorium Fisika, Pusat Penelitian Geotek, LIPI. Ucapan terimakasih penulis sampaikan pula kepada Dr. Ir. B. Tjahyono dan D. Z. Herman MSc yang memberikan kritikan dan masukan untuk kesempurnaan makalah ini. Rum Yuniarni ST telah membantu dalam penggambaran, untuk itu kami haturkan banyak terimakasih.

Acuan

- Aspden, J.A., Kartawa, W., Aldiss, D.T., Djunuddin, A., Whandoyo, R., Diatma, D., Clarke, M.C.G. and Harahap, H., 1982. *Geologic map of the Padangsidempuan and Sibolga Quadrangle, Sumatra*. Geological Research and Development Centre Bandung.
- Brian, L., Martin, J. and Bronto, S., 2004. The Purnama gold deposit in the Martabe District of North Sumatra, Indonesia. Dalam persiapan. Laporan Internal PT. Horas Nauli. Tidak terbit.
- Bodnar, R.J., 1985. Fluid inclusion systematics in epithermal systems, in: *Geology and Geochemistry of epithermal systems, Reviews In Economic Geology, Vol 2, 73-96*.
- Clarke, M.C.G., Ghazali, S.A., Harahap, H., Kusyono and Stephenson., 1982. *Geologic map of the Pematangsiantar Quadrangle, Sumatra*. Geological Research and Development Centre Bandung.
- Drummond, S.E. and Ohmoto, H., 1985. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems. *Economic Geology, v.80, 126-147*.
- Hass, J.L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology, 66: 940-946*.
- Henley, R.W., 1985. Ore transportation and deposition in epithermal environments. Proceeding Symposium on stable and fluid processes in mineralization. *Geol. Soc. Aust. Spec. Publ. 33h*.
- Kamili, R.J. and Ohmoto, H., 1977. Paragenesis, zoning, fluid inclusion, and isotopic studies of the Finlandia Vein, Colquis district, central Peru: *Economic Geology, 72: 950-982*.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions: Reviews in Mineralogy. *Mineralogical Society of America, vol. 12, 644p*.
- Shepherd, T. J., 1985. *A practical guide for fluid inclusion studies*. Blackie and Son Limited. Bishopbriggs. Glasgow G64 2NZ. Furnival House, 14-18 High Holbon, London WC1V 6BX, 239pp.