

Karakteristik mineralisasi epitermal di Daerah Taran, Hulu Kahayan, Kalimantan Tengah berdasarkan studi mikroskopis, X-Ray Diffraction (XRD), dan inklusi fluida

DANNY ZULKIFLI HERMAN

Pusat Sumber Daya Geologi, Jln. Soekarno-Hatta 444 Bandung, Indonesia

SARI

Daerah Taran ditempati secara dominan oleh batuan piroklastika dan setempat-setempat sisipan lensa batulempung dan batupasir. Batuan piroklastika telah diterobos oleh diorit, dasit, dan andesit sehingga mengakibatkan ubahan dan mineralisasi dalam batuan induk tersebut. Mineralisasi jenis urat berasosiasi dengan empat jenis ubahan *pervasive* yang masing-masing disusun oleh hadirnya kumpulan mineral ubahan kuarsa-illit-montmorillonit-kaolinit $\pm$ pirit, kuarsa-illit $\pm$ pirit, kuarsa-illit-klorit $\pm$ pirit dan kuarsa-kaolinit-illit $\pm$ pirit. Selain itu ubahan hidrotermal terpropilitkan juga telah terjadi pada batuan terobosan andesit, yang disusun oleh mineral-mineral kalsit-epidot-klorit-serisit-kuarsa $\pm$ pirit. Mineralisasi ditandai oleh keberadaan zona-zona *stockwork* urat kuarsa yang mengandung emas dan asosiasi mineral-mineral bijih kalkopirit, sfalerit, galena, pirit, dan argentit. Urat-urat kuarsa mengisi bukaan-bukaan struktur yang terdiri atas jenis-jenis kuarsa susu dan *amethyst* serta kuarsa bertekstur gula, sisir dan gigi anjing.

Evaluasi berdasarkan hasil studi mikroskopis (petrografi dan mineragrafi), *X-Ray Diffraction* (XRD), pengukuran inklusi fluida dan analisis kimia terhadap percontoh batuan terubah/urat kuarsa menunjukkan bahwa proses pembentukan ubahan dan mineralisasi berkaitan dengan perubahan fluida hidrotermal bersifat mendekati netral menjadi asam pada suhu antara $> 290^{\circ}\text{C}$ dan 100°C . Keberadaan aneka jenis kuarsa merupakan indikasi pengulangan episode pendidihan pada sistem epitermal ketika terjadi pencampuran air tanah dengan uap panas yang berasal dari larutan sisa magmatik akhir. Sehubungan dengan harga salinitas rata-rata fluida hidrotermal sebesar 1.388 *equivalent wt.% NaCl* dari inklusi fluida, maka diduga bahwa pengendapan kuarsa dengan kandungan mineral-mineral bijih terjadi pada kedalaman antara 640 – 1020 meter di bawah permukaan purba.

Kata Kunci: Ubahan hidrotermal, mineralisasi emas, epitermal

ABSTRACT

Taran area is occupied predominantly by pyroclastic rocks and locally intercalations of lenticular claystones and sandstones. The pyroclastic rocks are intruded by diorite, dacite and andesite, leading alteration and mineralization within the host rocks. Mineralization occurs as a vein type and is associated with a number of pervasive alteration types named respectively: quartz-illite-montmorillonite-kaolinite $\pm$ pyrite, quartz-illite $\pm$ pyrite, quartz-illite-chlorite $\pm$ pyrite and quartz-kaolinite-illite $\pm$ pyrite. On the other hand, a propylitic alteration also occurs within the andesite intrusion composed of calcite-epidote-chlorite-sericite-quartz $\pm$ pyrite. The mineralization is characterized by several zones of quartz stockwork containing gold and associated ore minerals of chalcopyrite, sphalerite, galena, pyrite and argentite. The quartz veins occurs as fillings of structural openings in the form of milky quartz and amethyst with textures of sugary, comb, and dogteeth.

Evaluation work on results of microscopic (petrography and mineragraphy), X-Ray Diffraction (XRD), and fluid inclusion studies, and chemical analysis of entirely altered rock/quartz vein samples shows that the alteration and mineralization process were closely related to a change of hydrothermal fluids, from near neutral into acid conditions at a temperature range of $> 290^{\circ}$ – 100°C . The appearances of quartz variation indicate a relationship with repeated episodes of boiling in an epithermal system, as ground water mixed with hot vapor originated from a remained post-magmatic solution. Corresponding

to a salinity of average 1,388 equiv.wt.% NaCl, it indicates that the ore minerals bearing quartz veins were deposited at a depth range of 640 – 1020 m beneath paleosurface.

Keywords: Hydrothermal alteration, gold mineralization, epithermal

PENDAHULUAN

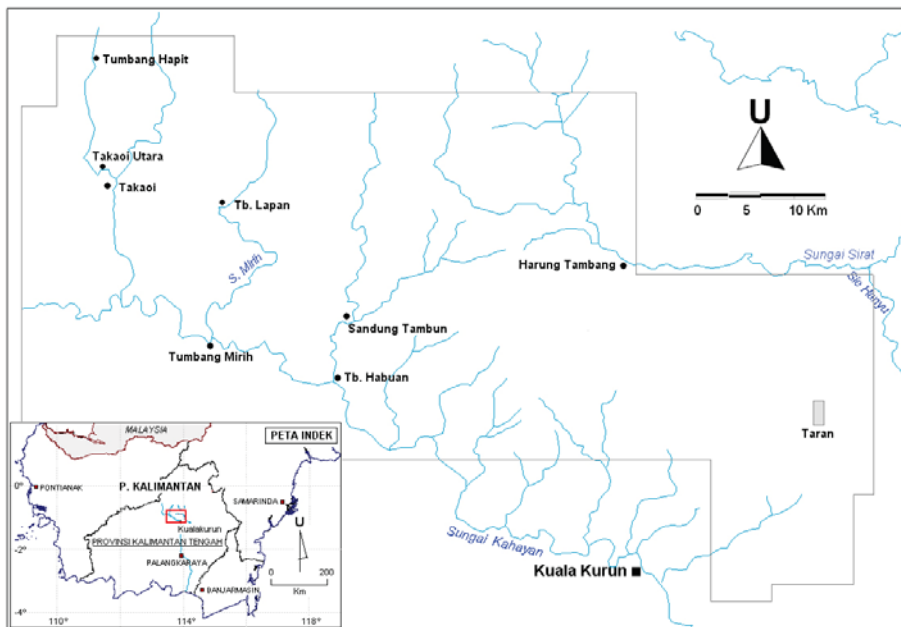
Daerah Taran terletak ± 15 km arah timur laut dari Kualakurun, dan termasuk ke dalam Kabupaten Kapuas, Propinsi Kalimantan Tengah (Gambar 1). Secara geologis daerah ini disusun terutama oleh batuan gunung api Formasi Vulkanik Malasan yang berumur Oligosen, dan merupakan batuan gunung api subalkalin seri *calc-alkaline* (Margono dkk., 1995; Sumartadipura dan Margono, 1996). Kegiatan penerobosan batuan beku *Sintang Intrusives* pada awal Miosen telah mengakibatkan terjadinya ubahan hidrotermal dan mineralisasi pada batuan gunung api tersebut.

Dengan teridentifikasinya mineral-mineral penyusun ubahan hidrotermal dan mineralisasi di daerah Taran, maka dapat dijadikan data dan informasi untuk interpretasi atau pengungkapan karakteristik mineralisasi di daerah tersebut, terutama dalam kaitannya dengan suhu pembentukan, susunan fluida penyebab ubahan/mineralisasi dan lingkungan dimana mineral diendapkan.

TATAAN GEOLOGI DAERAH TARAN

Secara geologis, daerah Taran dibentuk oleh terutama batuan gunung api andesit, endapan teras sungai dan aluvium (Gambar 2). Batuan gunung api terdiri atas tuf kristal, tuf lapili, dan breksi tuf; dengan setempat-setempat sisipan tipis berbentuk lensa batulempung dan batupasir (Herman dkk., 2000). Batuan piroklastika tersebut merupakan bagian dari Formasi *Malasan Volcanics* yang diendapkan pada Oligosen. Endapan teras sungai hanya ditemukan di bagian selatan menempati daerah ketinggian sekitar Sungai Penduyan, sementara aluvium menempati hampir sepanjang aliran sungai tersebut.

Kegiatan tektonik di daerah Taran ditandai oleh jejak sesar-sesar geser berarah timur laut - barat daya dan barat laut - tenggara, yang merupakan bagian dari sistem sesar geser dekstral regional berarah umum utara - timur (Bugg *et al.*, 1998). Di daerah Taran, struktur tersebut telah membentuk zona-zona bukaan (*shear zones*) yang berperan sebagai saluran



Gambar 1. Peta lokasi daerah Taran, Kabupaten Kapuas, Propinsi Kalimantan Tengah.

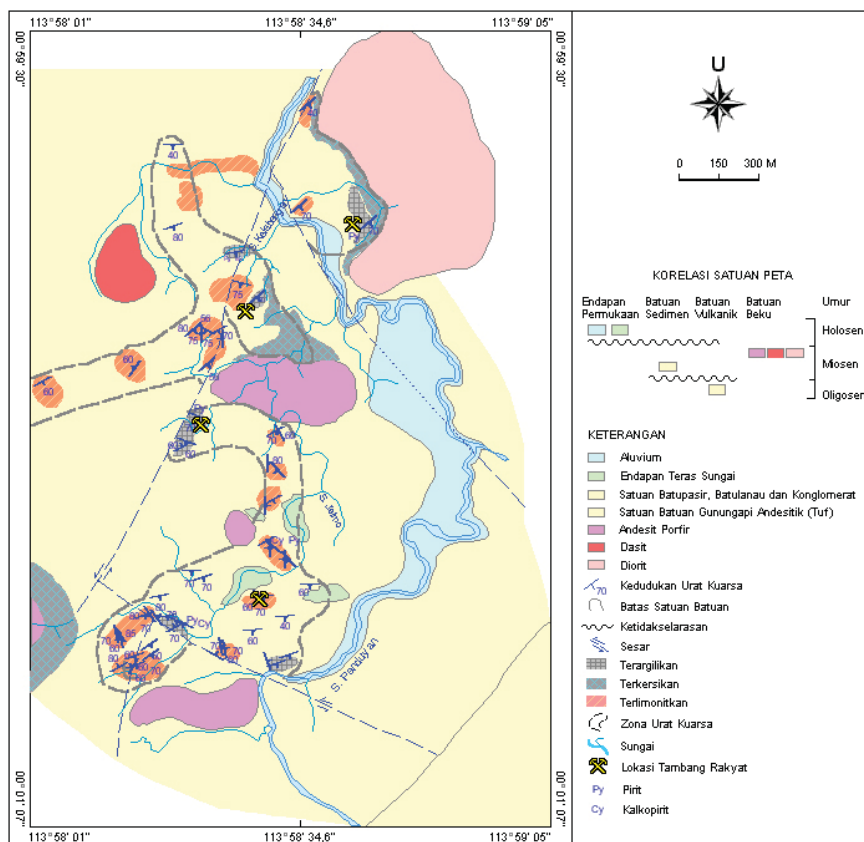
jalan keluar magma dan fluida hidrotermal. Kegiatan magmatisme pada Miosen Awal ditandai oleh penerobosan diorit, dasit, dan andesit; yang diduga sebagai sumber-sumber fluida hidrotermal penyebab terjadinya ubahan hidrotermal dan pembentukan mineralisasi pada batuan piroklastika.

METODOLOGI STUDI

Salah satu penampakan penting ubahan hidrotermal adalah terjadinya perubahan mineral-mineral utama pembentuk batuan menjadi kumpulan mineral baru yang dihasilkan oleh proses hidrotermal. Beberapa faktor yang berperan dalam pembentukan mineral-mineral ubahan antara lain: suhu, tekanan, jenis batuan asal, permeabilitas batuan, lamanya kegiatan hidrotermal dan yang terpenting susunan fluida hidrotermal (Browne dan Ellis, 1970). Mineral-mineral ubahan diidentifikasi

dari beberapa sayatan tipis percontoh batuan terpilih dengan menggunakan mikroskop polarisasi, untuk menentukan jenis ubahan hidrotermal yang terjadi dalam kaitannya dengan pembentukan mineralisasi. Sementara mikroskop refleksi digunakan untuk mengidentifikasi mineral-mineral bijih pada sayatan poles terpilih untuk studi pembentukannya dan keterkaitan dengan ubahan hidrotermal.

Sejumlah percontoh batuan terpilih digerus menjadi fraksi berukuran lempung dan dianalisis dengan menggunakan metode *X-ray Diffraction* (XRD), untuk mendeteksi mineral-mineral lempung dan asosiasi mineral ubahan lain yang dihasilkan oleh proses hidrotermal. Analisis ini dilakukan di laboratorium Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral (DIM, Indonesia) dan KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Republic of Korea), terutama untuk mengidentifikasi beberapa jenis mineral lempung tertentu yang dapat dijadikan indikator suhu pembentukan ubahan



Gambar 2. Peta geologi, ubahan hidrotermal, dan mineralisasi daerah Taran dan sekitarnya.

hidrotermal atau mineralisasi terkait.

Studi inklusi fluida telah terbukti bermanfaat dalam mengungkap keterjadian cebakan bijih dan juga memberikan kontribusi yang berharga terhadap pemahaman tentang transportasi dan pengendapan bijih (Roedder, 1979). Inklusi fluida juga dapat menyediakan data suhu bawah permukaan dan kondisi fluida, serta menyajikan termometer mineral yang paling akurat dan dapat diandalkan. Beberapa percontoh terpilih kristal kuarsa berasal dari *stockworks* kuarsa diambil untuk keperluan studi inklusi fluida, dengan analisis dilakukan di laboratorium KIGAM untuk menentukan suhu homogenisasi (*homogenization temperature*/Th) dan pembekuan (*freezing temperature*/Tm).

Metode analisis kimia AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*) dilakukan di laboratorium DIM terhadap percontoh batuan/urat kuarsa terpilih untuk mendeteksi terutama kandungan unsur-unsur yang erat kaitannya dengan keterjadian cebakan bijih epitermal (Au, Ag, Sb, dan As).

UBAHAN HIDROTERMAL DAN MINERALISASI

Ubahan hidrotermal diartikan sebagai perubahan mineralogi dan tekstur batuan asal yang disebabkan oleh interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan tersebut (Rose dan Burt, 1979). Berdasarkan temuan mineral-mineral ubahan pembentuknya batuan piroklastika merupakan batuan induk yang paling dominan mengalami ubahan hidrotermal,

yang teridentifikasi berjenis *pervasive* dan *stockwork* urat pengisi bukaan-bukaan struktur. Ubahan *pervasive* yang terbentuk secara intensif ditemukan terutama pada tuf dan di sekitar terobosan andesit, dimana dapat dibedakan dengan ubahan terpropilitkan yang terjadi pada batuan andesit. *Stockwork* urat kuarsa mengandung emas dengan asosiasi mineral bijih terbentuk sebagai pengisian bukaan/rekahan struktur berarah timur laut - barat daya dan barat laut - tenggara dengan kemiringan antara 50° hingga 80° (Gambar 3). Urat-urat kuarsa ini terdiri atas kuarsa susu (*milky quartz*) dan *amethyst* dengan tekstur yang teramati berupa sisir (*comb*) atau gigi anjing (*dogteeth*) dan gula (*sugary*). Ketebalan urat kuarsa berkisar dari beberapa milimeter hingga mencapai 20 cm, dan setempat-setempat mengandung kristal kuarsa dengan kisaran ukuran diameter dari beberapa milimeter hingga 5 cm.

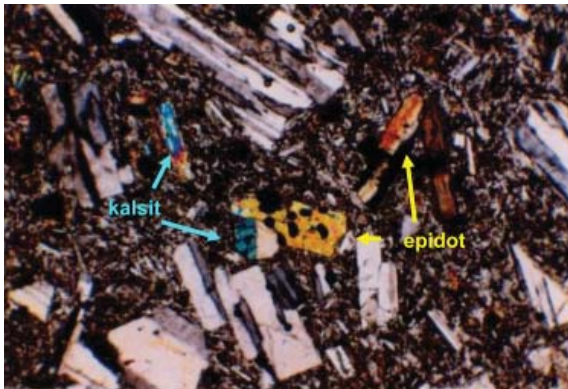
Berdasarkan hasil analisis *X-Ray Diffraction* (XRD, Tabel 1) dari percontoh batuan piroklastika terubah di daerah Taran, teridentifikasi empat jenis ubahan *pervasive* yang masing-masing disusun oleh kumpulan mineral ubahan kuarsa-illit-monmorilonit-kaolinit ± pirit, kuarsa-illit ± pirit, kuarsa-illit-klorit ± pirit dan kuarsa-kaolinit-illit ± pirit (Herman dkk., 2000; KOICA-KIGAM, 2001). Hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa keempat jenis ubahan tersebut terjadi secara tumpang tindih (*overprint*) dan berasosiasi dengan *stockwork* urat kuarsa. Analisis petrografis telah mengidentifikasi jenis ubahan hidrotermal *pervasive* pada batuan terobosan andesit, dimana batuan ini terdiri atas



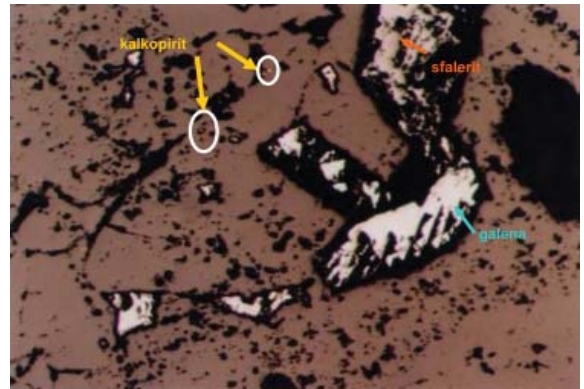
Gambar 3. *Stockworks* urat kuarsa pada batuan tuf andesit terubah kuarsa-illit-monmorilonit-kaolinit ± pirit (tanda panah menunjukkan urat-urat kuarsa).

Tabel 1. Hasil Analisis *X-Ray Diffractometry* Batuan Terubah Hidrotermal di Daerah Taran, Kalimantan Tengah

No. Percontoh	Susunan Mineral Ubahan
KL-15	Kuarsa, kaolinit, illit, monmorilonit/klorit ± pirit
PN-3C	Kuarsa, illit ± pirit
KTR-6	Kuarsa, illit dan klorit
KTR-7	Kuarsa, illit, klorit ± pirit
KTR-12	Kuarsa, kaolinit, illit ± pirit
KTR-15	Kuarsa, illit ± pirit



Gambar 4. Fotomikrograf andesit terubah kalsit-epidot-serisit-klorit-kuarsa, pembesaran 32x. (*Serisit-klorit-kuarsa umumnya tersebar pada masadasar batuan*).



Gambar 5. Fotomikrograf mineral bijih sulfida dalam urat kuarsa, terdiri atas galena-sfalerit dan kalkopirit; pembesaran 32x.

kumpulan mineral-mineral ubahan kalsit-epidot-klorit-serisit-kuarsa $\pm$ pirit yang dapat dikategorikan sebagai propilit (Gambar 4). Mineral-mineral bijih yang teridentifikasi secara mineragrafis terdiri atas galena, sfalerit, dan kalkopirit (Gambar 5).

Analisis kimia terhadap percontoh urat kuarsa

mampu mendeteksi kandungan unsur-unsur yang erat kaitannya dengan proses mineralisasi epitermal ditunjukkan oleh keberadaan Sb dan As dengan kandungan yang signifikan dari Cu, Pb, Zn, dan Mn (Tabel 2).

Tabel 2. Kandungan Unsur Au, Ag, As, Sb, Cu, Pb, Zn, dan Mn dalam Urat Kuarsa

Nomor Percontoh	Nama unsur						
	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn
	(gram/ton)	(ppm)					
KTR-6A	0,80	--	28,0	--	6,0	28,0	11,0
KTR-6B	1,09	1,0	18,0	--	7,0	20,0	11,0
KTR-6C	0,76	--	16,0	--	6,0	18,0	7,0
KTR-6D	0,19	--	52,0	--	10,0	23,0	9,0
KTR-6E	0,17	--	46,0	--	6,0	17,0	8,0
KTR-6F	0,05	--	64,0	2,0	16,0	47,0	18,0
KTR-6G	0,06	--	32,0	--	31,0	50,0	22,0
KTR-7A	0,04	--	48,0	--	11,0	293,0	47,0
KTR-7B	19,85	6,0	24,0	--	16,0	150,0	3130,0
KTR-7C	0,50	1,0	48,0	--	8,0	20,0	15,0
KTR-12	0,04	4,0	24,0	--	14,0	48,0	18,0
KTR-15	8,30	19,0	258,0	4,0	118,0	56,0	13,0

PEMBAHASAN

Ubahan hidrotermal yang teridentifikasi berdasarkan analisis petrografi pada batuan terobosan andesit disusun oleh kumpulan mineral kalsit-epidot-klorit-serisit-kuarsa $\pm$ pirit, dan dapat dikategorikan ke dalam jenis ubahan propilit. Pengendapan kalsit dan epidot berhubungan erat dengan fluktuasi konsentrasi CO_2 dalam fluida hidrotermal pada pH mendekati netral (5 – 6) dan suhu $> 290^\circ\text{C}$ (Chen, 1970), dimana kalsit terbentuk sejalan dengan peningkatan konsentrasi CO_2 dan berkurangnya stabilitas epidot; sedangkan asosiasi klorit-serisit/illit merupakan karakteristik pengendapan mineral ubahan pada pH mendekati netral dan suhu $> 260^\circ\text{C}$ (Chen, 1970 dan Hayashi, 1973).

Asosiasi kuarsa-illit yang terdeteksi dalam batuan terubah diperkirakan terbentuk oleh interaksi fluida hidrotermal bersifat netral dengan batuan induk, yang berlangsung pada suhu $> 230^\circ\text{C}$; sementara monmorilonit-kaolinit-kuarsa merupakan hasil ubahan oleh larutan bersifat asam pada kisaran suhu $100^\circ - 200^\circ\text{C}$ (Browne, 1977). Indikasi diatas membawa ke arah dugaan bahwa telah terjadi pembentukan ubahan *pervasive* secara tumpang tindih (*overprinting*) antara fluida hidrotermal pertama bersifat netral dan yang kedua bersifat asam pada saat fluida hidrotermal bergerak naik ke arah permukaan melalui atau melewati bukaan-bukaan struktur (rekahan) pada batuan. Urat-urat kuarsa mengandung emas dan mineral ikutannya kemungkinan terbentuk secara bersamaan dengan ubahan *pervasive* sebagai pengisian rekahan. Mineral pirit dalam batuan terubah atau urat kuarsa diduga berkaitan dengan proses sulfidasi terhadap mineral-mineral bijih oksida primer (magnetit atau ilmenit) dan klorit yang dipengaruhi oleh variasi fugasiti/konsentrasi S_2 dan O_2 serta pH larutan hidrotermal.

Jenis urat kuarsa pada zona-zona *stockworks* terdiri atas kuarsa dengan tekstur sisir (*comb*) dan gigi anjing (*dogteeth*), susu (*milky quartz*) dan *amethyst* berupa pengisian bukaan-bukaan struktur pada batuan induk termineralisasi, seperti umumnya ditemukan pada sistem epitermal. Pembentukan tekstur kuarsa dapat diterangkan dengan cara interpretasi terhadap perilaku kuarsa, kalsedon, dan silika amorf dalam fluida hidrotermal. Kuarsa

adalah jenis silika yang paling stabil dalam suatu sistem hidrotermal dimana ketika fluida naik menuju permukaan dan suhu mengalami penurunan, silika mengendap langsung sebagai kuarsa pada bukaan-bukaan (rekahan) batuan dan membentuk kristal dengan sumbu-c tegak lurus terhadap permukaan tempat tumbuhnya berupa sisir (*comb*) atau gigi anjing (*dogteeth*). Kuarsa susu termasuk ke dalam jenis silika dengan kandungan sedikit air yang diendapkan secara langsung dari fluida hidrotermal, mempunyai sifat serupa dengan kuarsa gelas (*vitreous*) dan memperlihatkan tekstur serupa gula (*sugary/sacharoidal*). Sementara *amethyst* adalah jenis kuarsa kristalin tembus pandang (*transparent*) atau *translucent* dan berwarna ungu karena mengandung Fe.

Menurut Buchanan (1981), dalam lingkungan epitermal setelah proses pendidihan (*boiling*) terjadi pencampuran secara cepat fluida hidrotermal dan air tanah untuk membentuk larutan klorida dengan pH mendekati netral; fluida ini kemudian naik ke arah permukaan melewati bukaan-bukaan batuan dan mengubah air tanah di dalam batuan akifer menjadi tersilisifikasi serta mengendapkan silika pada pori-pori dan bukaan-bukaan tersebut. Sementara pembentukan jenis dan tekstur kuarsa berkaitan dengan faktor-faktor sifat jenuh silika dari fluida hidrotermal darimana kuarsa berasal, kondisi suhu dan tekanan pada saat pengendapan. Tekstur sisir (*comb*) dan gula (*sugary/scharoidal*) merupakan indikasi adanya pengulangan episode pendidihan yang biasa terbentuk di bagian dimana terjadi pencampuran air tanah dengan fluida hidrotermal pada suatu sistem epitermal. Pendidihan tersebut juga dapat menghasilkan kondensasi gas-gas yang dapat mengubah fluida hidrotermal menjadi bersifat asam, memasuki air meteorik yang lebih dingin dan kemudian teroksidasi serta menyebabkan terbentuknya ubahan hidrotermal dengan dominan mineral-mineral lempung sebagai penyusunnya atau disebut ubahan argilik.

Analisis inklusi fluida (*fluid inclusion*) terhadap beberapa percontoh kristal kuarsa mendeteksi suhu homogenisasi (*homogenization temperatures/Th*) dengan kisaran $273 - 303^\circ\text{C}$ dan suhu pembekuan (*freezing temperatures/Tm*) rata-rata sebesar $-0,8^\circ\text{C}$ (KOICA-KIGAM, 2001). Mengacu pada asumsi bahwa seluruh inklusi fluida terbentuk selama pertumbuhan kristal kuarsa, maka suhu homogenisasi

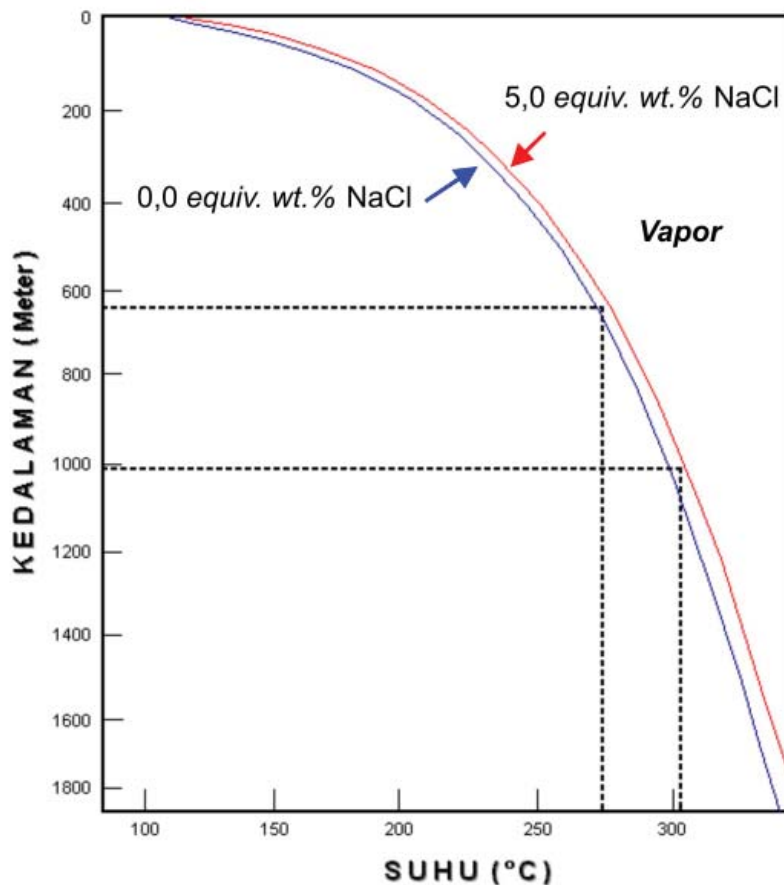
dan pembekuan dapat menggambarkan kondisi sistem hidrotermal. Inklusi fluida mengandung cairan dengan sifat salinitas yang beraneka ragam, dimana susunannya dapat diidentifikasi berdasarkan suhu pembekuannya.

Penentuan salinitas didasarkan pada asumsi bahwa fluida tersebut disusun terutama oleh Na^+ dan Cl^- , dalam kaitannya dengan *equivalent wt.% NaCl* (Potter, 1978):

$$\text{NaCl wt.\% (equiv.)} = 1,76958 (-T_m) - 4,2384 \times 10^{-2} (-T_m)^2 + 5,2778 \times 10^{-4} (T_m)^3$$

Pengukuran suhu pembekuan kristal-kristal kuarsa pada zona-zona *stockworks* mendeteksi harga rata-rata salinitas fluida 1,388 *equivalent wt.% NaCl*, menunjukkan bahwa fluida hidrotermal telah mengalami dilusi atau pengenceran oleh air tanah dan dapat dikategorikan sebagai fluida

dengan salinitas sangat rendah. Rendahnya salinitas inklusi fluida mengarah pada dugaan bahwa kuarsa terbentuk pada suatu lingkungan dangkal dimana terjadi pencampuran fluida hidrotermal dan air tanah. Karena suhu pembentukan inklusi fluida pada kedalaman tersebut sangat erat kaitannya dengan suhu pendidihan dan tekanan hidrostatika (Haas, 1971), dengan asumsi bahwa sistem hidrotermal terbentuk di bagian atas zona pendidihan (dengan salinitas fluida sebesar 1,388 *equivalent wt.% NaCl*) maka dapat diinterpretasikan bahwa lingkungan pengendapan kuarsa dengan kisaran suhu $273^\circ - 303^\circ \text{C}$ di daerah mineralisasi Taran terjadi pada kedalaman > 600 meter atau antara 640 hingga 1020 m (Gambar 6) di bawah permukaan purba (*paleosurface*). Terdeteksinya secara kimiawi unsur-unsur As dan Sb percontoh urat kuarsa menguatkan dugaan bahwa mineralisasi di daerah Taran terbentuk



Gambar 6. Diagram hubungan suhu dan kedalaman proses mineralisasi di daerah Taran, Kalimantan Tengah (mengacu kepada Haas, 1971).

pada suhu di lingkungan epitermal; sementara kandungan unsur Cu, Pb, dan Zn yang signifikan mencerminkan mineralisasi epitermal bagian bawah atau transisi ke arah sistem mineralisasi mesotermal dikaitkan dengan keberadaan asosiasi mineral-mineral bijih kalkopirit-galena-sfalerit.

KESIMPULAN

Mineralisasi di daerah Taran terbentuk pada sistem epitermal dengan karakteristik ubahan hidrotermal *pervasive* terdiri atas kuarsa-illit-monmorilonit-kaolinit $\pm$ pirit, kuarsa-illit $\pm$ pirit, kuarsa-illit-klorit $\pm$ pirit dan kuarsa-kaolinit-illit $\pm$ pirit, dan berasosiasi dengan *stockwork* urat kuarsa mengandung bijih logam mulia (Au) dan mineral-mineral sulfida argentit, kalkopirit, galena, sfalerit, dan pirit. Ubahan dan mineralisasi terbentuk pada kisaran suhu $>290^{\circ} - 100^{\circ}\text{C}$ yang berkaitan dengan perubahan fluida hidrotermal yang bersifat mendekati netral menjadi bersifat asam, pada kedalaman antara 640 – 1020 m di bawah permukaan purba (*paleosurface*).

Ucapan Terima Kasih – Terima kasih disampaikan kepada Kepala Kelompok Kerja Konservasi, Pusat Sumber Daya Geologi yang telah mengizinkan penggunaan fasilitas perangkat komputer untuk kelancaran penyusunan karya ilmiah ini. Penghargaan yang tinggi ditujukan kepada rekan Sutrisno, M.Sc. atas kontribusinya dalam menciptakan estetika penggambaran peta dan pemindaian foto; karena tanpa partisipasi beliau tidak mungkin dihasilkan karya tulis sesempurna ini.

ACUAN

- Browne, P.R.L., 1977. Hydrothermal alterations as an aid in investigating geothermal fields, Geothermic, Spec. Issue 2, Dalam: K.Wohletz and G.Heiken, ed. 1992: *Volcanology and Geothermal Energy*, University of California Press, Berkeley, 732 h.
- Browne, P.R.L., and Ellis, A.J., 1970. The Ohaki-Broadlands hydrothermal area, New Zealand: Mineralogy and related geochemistry. *American Journal of Science*, 269, h. 97-131.
- Buchanan, L.J., 1981. Scale model for zoning of textures, alteration, ore and gangue mineralogy in a typical boiling zone epithermal vein, Dalam: G. Morrison, D. Guoyi, dan S. Jaireth (ed.) 1990. *Textural Zoning in Epithermal Quartz Veins*, Klondike Exploration Services, Townsville QLD 4810, Australia, 21 h.
- Bugg, Steve, Rafferty, W., and Kerr, J., 1998. *Report on SIPP Activities for Period March 1996-July 1997, Final Report Kuala Kurun Project-Central Kalimantan*, South Block (DU 1671), Unpublished Report to Barrick Gold Corp., 25 h.
- Chen, C.H., 1970. Geology and Geothermal of the Tatan volcanic region, Dalam: H.L.Barnes, ed. 1979, *Geochemistry and hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, h. 632-683.
- Haas, J.L., 1971. The effects of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology*, 66, h. 940-946.
- Hayashi, M., 1973. Hydrothermal in the Otake geothermal area, Kyushu, Dalam: H.L.Barnes, ed. 1979, *Geochemistry and hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, h. 632-683.
- Herman, Danny Z., Nursahan, I., Priatna, B., Sudarya, S., Palmadi, E., dan Boegis, Z., 2000. *Laporan Eksplorasi Mineral Logam di Daerah Hulu Kahayan, Kabupaten Kapuas, Propinsi Kalimantan Tengah* (Kerja sama dengan Pemerintah Republik Korea/KOICA), 52 h.
- Korea International Cooperation Agency (KOICA) – Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2001. Geological Mapping Project in Central Kalimantan Region, Indonesia; 453 h.
- Margono, U., Sujitno, T., and Santosa, T., 1995. Geological Map of the Tumbangharam Quadrangle, Kalimantan (1:250.000). *Geological Research and Development Center*, Bandung.
- Potter, R.W.III., Clyde, D.M., and Brown, D.L., 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Economy Geology*, 73, h.284-285.
- Roedder, E., 1979. Fluid inclusion as sample of ore fluida, Dalam: H.L.Barnes, ed. 1979, *Geochemistry and hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, h. 684-737.
- Rose, A.W. and Burt, D.W., 1979. Hydrothermal alteration, Dalam: H.L. Barnes (ed.). *Geochemistry and Hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, h. 173-235.
- Sumartadipura, A.S. dan Margono, U., 1996. Geological Map of the Tewah Quadrangle, Kalimantan (1:250.000). *Geological Research and Development Center*, Bandung.