

TINJAUAN EMAS EPITERMAL PADA LINGKUNGAN VOLKANIK

Oleh:

Eddy Sumardi

Penyelidik Bumi Madya
Kelompok Program Penelitian Bawah Permukaan
Pusat Sumber Daya Geologi

SARI

Endapan emas epitermal dilingkungan batuan vulkanik adalah hampir selalu berasosiasi dengan batuan vulkanik *calc-alkaline* dan batuan intrusi, beberapa memperlihatkan suatu hubungan yang erat dengan batuan vulkanik alkali.

Endapan emas epitermal bentuknya adalah sangat bervariasi, dari vein-vein kuarsa tipis sampai deposit-endapan *disseminated* yang besar, dan terdapat dalam lingkungan geologi yang berbeda, oleh karena itu mereka memperlihatkan suatu rentang yang lebar dari signatures geokimia dan geofisika, juga ciri-ciri *tonal* pengindraan jauh

Di Kelian, Indonesia, endapan berasosiasi dengan batuan andesit Oligosen Atas Miosen Bawah, piroklastik Eosen Atas (?) dan sedikit riolit, dan beberapa basal Plio-Pleistosen. Ia terletak pada suatu tren regional utara-timur yang juga mengandung mineralisasi epitermal signifikan di G. Muro dan G. Masuparia. Mineralisasi terjadi di tepi dari suatu tubuh andesit yang mengintrusi satuan batuan piroklastik Eosen, dan batuan andesit yang terkekarkan, batuan tufa, dan bermacam-macam breksi.

Kata Kunci: Endapan emas epitermal, genesa, *signature*, geokimia, geofisika, *tonal*, pengindraan jauh, Kelian.

ABSTRACT

Epithermal gold deposits in volcanic terranes are mostly associated with calc-alkaline volcanic and intrusive rocks, some show a close association with alkalic volcanics.

Epithermal gold deposits are highly variable in form, ranging from thin quartz veins to large disseminated deposits, and are located in a variety of geological environments. Consequently, they exhibit a wide range of geochemical and geophysical signatures, as well as tonal characteristics of remote sensing.

In Kelian, the deposit is associated with Late Oligocene-Early Miocene andesite, Upper Eocene (?) pyroclastics and minor rhyolites, and some Plio-Pleistocene basalt. It lies on a north-easterly regional trend which also contains significant epithermal mineralization at Mt. Muro and Masuparia. Mineralisation occurs in the margin of andesite intrusive, into the Eocene pyroclastic unit, and hosted by fractured andesite, and tuff and a variety of breccias.

Keywords: *Epithermal gold Deposits, genesis, signatures, geochemistry, geophysics, tonal, remote sensing, Kelian.*

PENDAHULUAN

Endapan mineral epitermal telah menerima banyak perhatian dunia oleh karena dapat dieksploitasi secara ekonomis, dan tersedia banyak dibandingkan dengan sumber daya logam mulia lainnya.

Secara geologi, endapan ini relatif mudah ditemukan, karena secara genesis endapan epitermal ini kadarnya rendah dan secara umum telah diketahui keberadaannya. Oleh karena secara genesis dan ekonomis endapan epitermal ini signifikan, tetapi cadangannya masih bersatu dengan cadangan kadar tinggi yang telah ada.

Secara ekonomi, harga emas-perak naik relatif terhadap ongkos operasi penambangan emas. Hal ini disebabkan karena cadangan emas yang kadarnya rendah telah dapat dieksploitasi secara komersial dan pengaruhnya adalah terjadinya revitalisasi cadangan emas yang telah ada.

Endapan epitermal logam dasar dan mulia adalah banyak macamnya, mencerminkan perbedaan tektonik, batuan beku dan kedudukan strukturnya dimana mereka terbentuk, dan melibatkan banyak proses didalam pembentukannya. Kebanyakan dari endapan epitermal terbentuk dalam suatu level kerak bumi yang dangkal, dimana perubahan tiba-tiba dalam kondisi fisik dan kimianya menghasilkan endapan logam dan hadir bersama ubahan hidrotermal (White dan Hedenquist, 1990).

Reid dan Hedenquist (1984) juga telah menekankan istilah epitermal dengan singkat (Tabel 1) agar setiap orang menyadari konotasi genesanya. Sebenarnya, hal ini menceritakan tentang lingkungan hidrotermal yang dekat permukaan, terutama berasosiasi dengan vulkanisme kalk-alkalin dekat permukaan dan sering, tetapi tidak selalu, berasal dari hasil-hasil vulkanisme dan sedimen yang berkaitan. Zona dekat permukaan ini adalah objek yang paling utama yang menjadi perhatian kita, dimana hal ini adalah fokus dari endapan logam mulia epitermal.

Lindgren (1933) mendefinisikan istilah "epitermal" dari pengamatan mineralogi dan tekturnya, dan ia menyimpulkan kondisi temperatur dan tekanannya (kedalamannya) untuk style (bentuk) mineralisasi ini. Walaupun penafsiran dari pengamatannya tidak mengubah secara substansial, pemahaman kita mengenai lingkungan epitermal yang sekarang telah berkembang sebagai hasil dari suatu pengamatan dasar yang semakin maju.

Penemuan dan studi sejumlah besar dari endapan-endapan epitermal diluar kedudukan (setting) Amerika Serikat klasik barat memperlihatkan bermacam-macam lingkungan geologi

yang merupakan batuan induk (host) yang potensial untuk mineralisasi logam dasar dan mulia dekat permukaan.

Agar dapat menjelaskan lebih baik tentang emas epitermal maka perlu menerangkan secara singkat mengenai: genesis dari endapan emas epitermal; emas epitermal di batuan vulkanik, eksplorasi untuk endapan emas epitermal dan studi kasus tentang emas epitermal.

GENESA ENDAPAN EMAS EPITERMAL DI LINGKUNGAN VOLKANIK

Penyelidikan terdahulu

Bermacam-macam hipotesa untuk sumber endapan bijih epitermal yang berhubungan dengan sumber untuk semua tipe endapan bijih hipogen kecuali sesuai dengan definisinya adalah berasal dari sumber yang dangkal dengan kondisinya berasosiasi dengan air meteorik dan atmosfer.

Hipotesa-hipotesa tentang asalnya (origin) endapan epitermal yang secara serious dipertimbangkan oleh Schmitt (1950) adalah sebagai berikut: (1) lateral secretion; (2) diferensiasi fluida dari suatu magma; (3) keluar vulkanik dan diserap oleh airtanah dalam; (4) fluida telluric; (5) injeksi dalam bentuk lelehan; dan (6) pengendapan dari fase gas. Lebih lanjut lagi Schmitt (1950) menyatakan bahwa dari penelitian mata air panas fumarol menunjukkan bahwa transportasi dari banyak unsur-unsur oleh air meteorik panas merupakan suatu proses yang utama.

Craig dan Vaughan (1981) menyarankan bahwa emas yang terbentuk oleh pengendapan larutan hidrotermal yang mengisi sistem rekahan terbuka dan fracture. Ini juga disarankan oleh Worthington dan Kiff (1970) bahwa kebanyakan endapan emas terbentuk pada tahap waning (melemah) dari vulkanisme disebabkan tidak hadirnya ubahan parent intrusions dan extrusive hydrothermal. Dalam kasus endapan-endapan Tersier, mereka telah menyarankan bahwa endapan-endapan ini menunjukkan suatu sumber vulkanik untuk ore-bearing hidrothermal, walaupun dalam kasus endapan-endapan emas telluride pada batuan yang lebih tua, baik vulkanik ataupun batuan beku intrusif adalah sumber dari fluida hidrotermal tidak begitu meyakinkan. Selain itu mereka juga menyatakan bahwa komposisi dari fluida hidrotermal ini dan apakah emas ditransportasi sebagai emas sulfur atau emas klorida adalah juga menjadi perdebatan.

Sejumlah penyelidik telah mencoba untuk mendefinisikan himpunan genesis dari endapan epitermal. Dengan penekanan pada hubungan antara distrik epitermal dan batas-batas convergent plate, Giles dan Nelson (1982)

mengusulkan suatu hubungan kedalaman yang menerus endapan-endapan epitermal dari endapan mata air panas dekat permukaan, disseminated replacement deposits (endapan penempatan disseminasi), dan sistem bonanza yang lebih dalam.

Heald, dkk (1987) mengusulkan dua tipe endapan-endapan logam dasar dan logam mulia terutama hosted (berasal) dari batuan vulkanik Tersier. Dua tipe utama yang dimaksud adalah tipe acid-sulfate (goldfield, Nevada) dan tipe adularia-sericite (Creede, Colorado; Round Mountain, Nevada). Kedua tipe ini kaya akan emas dan perak. Kandungan logam dasar dalam endapan tipe acid-sulfate adalah relatif tinggi dan relatif kaya akan tembaga; Terdapat suatu rentang yang lebar dari kandungan logam dasar pada tipe adularia-sericite, walaupun umumnya relatif miskin tembaganya. Endapan tipe adularia-sericite dianggap lebih banyak dari pada endapan tipe acid-sulfate.

Evans (1987) juga mengatakan bahwa masalah utama yang berkaitan dengan genesa epitermal adalah sumber dan larutan alamiahnya, sumber dari logam-logamnya, kandungan sulfur dan tenaga pendorong yang memindahkan larutan melalui kerak bumi, cara transportasi bahan-bahan ini oleh larutan dan mekanisme pengendapannya.

Genesa dari endapan emas epitermal pada lingkungan batuan vulkanik akan dibahas dibagian selanjutnya sebagai berikut.

Sumber dari Emas

Ada dua jalur pendekatan yang biasanya diambil dalam mencoba untuk menetapkan sumber dari logam untuk endapan bijih hidrotermal (Edwards dan Atkinson, 1986). Yang pertama pengenalan asosiasi yang kuat dari endapan bijih dari suatu litologi tertentu. Yang kedua anomali pengayaan atau pengurangan logam dalam suatu litologi demikian adalah biasanya ditafsirkan sebagai indikator yang berpotensi sebagai suatu source rock (batuan induknya).

Endapan epitermal di lingkungan batuan vulkanik adalah hampir selalu berasosiasi dengan batuan vulkanik kalk-alkalin dan batuan intrusi, beberapa memperlihatkan suatu hubungan yang erat dengan batuan vulkanik alkali. Endapan Ladoman dan Cripple Creek Distrik, Colorado, adalah contoh-contoh dan mungkin dipertanyakan bahwa potensi untuk batuan yang seperti itu bertindak sebagai sumber emas tergantung pada evolusi magmanya, khususnya dengan mempertimbangkan keadaan jenuh dari sulfidanya (Keays dan Scott, 1976; Wyborn, 1988).

Endapan Hishikari dapat diklasifikasikan sebagai suatu endapan vein epitermal gold-silver-bearing quartz-adularia. Pada saat sekarang, pengembangannya telah berfokus diatas sistem vein Honko. Suatu sistem vein yang terpisah baru-baru ini telah ditemukan di daerah Yamada, 1 km dari baratdaya endapan Honko, hosted-nya adalah andesit Hishikari bagian bawah dan terdiri dari beberapa vein-vein utama dengan sejumlah vein-vein yang sejajar (Izawa dkk., 1990). Di endapan Hishikari, host (batuan induk) yang utama kemineralisasi bonanza yang lebih dalam adalah serpih dari group Shimanto dibawahnya. Mineralisasi vein terdiri dari suatu deretan vein yang luar biasa pada strike yang panjangnya paling sedikit 1100 m dan mungkin ditafsirkan sebagai suatu dilation jog dalam suatu transcurrent fault system (Henley, 1991).

Di Kelian, Indonesia, endapannya berasosiasi dengan batuan andesit Oligosen Atas Miosen Bawah, Piroklastik Eosen Atas (?) dan sedikit riolit, dan beberapa basal Plio-Pleistosen. Ini terletak pada suatu trend regional utara-timur yang juga mengandung mineralisasi epitermal signifikan di G. Muro dan G. Masuparia. Mineralisasi terjadi di tepi dari suatu set tubuh andesit yang mengintrusi kedalam satuan batuan pyroklastik Eosen, dan hosted oleh andesit yang terkekarkan dan tufa, dan bermacam-macam breksi yang rentangnya mulai dari piroklastik primer dan intrusi breksi sampai breksi hidrotermal yang didukung oleh fragmennya (Van Leeuwen, dkk., 1990).

Henley (1991) telah menyatakan bahwa magma-magma level atas adalah sumber emas di sistem emas epitermal dan juga dikedebanyakan kasus adalah sumber dari sulfur yang diperlukan untuk transportasi emas. Kemampuan degassing magmas untuk me-nyuplai logam terbentuknya semangkin kuat. Dengan demikian endapan alunite-kaolinite-style berhubungan dengan degassing dari magma level atas (contohnya kubah riolit), dengan aliran hidrotermal yang kemudian digerakan oleh sistem magma yang besar dan dalam. Sistem adularia-kaolinite-style berkaitan dengan tubuh-tubuh magma yang lebih dalam degassing kedalam suatu sistem airtanah dalam diatasnya. Konveksi airtanah dalam berfungsi untuk menyebarkan fluida magma. Dalam sistem permeabilitas yang tinggi, penyebarannya mungkin sangat kuat sehingga menahan formasi dari suatu endapan bijih walaupun milyaran gram emas mungkin tersebar pada kadar yang rendah di berapa ratus meter diatas sistemnya (contohnya Broadlands, New Zealand). Pada host rocks yang permeabilitasnya rendah, struktur utama mengontrol aliran airtanah dalam dan mengarahkan fluida-fluida ke suatu tempat pengendapan level atas (contohnya, Hishikari,

Japan). Breksiasi yang ekstensif, yang disebabkan proses magmatik dalam beberapa hal berasosiasi dengan struktur-struktur regional utama, nampaknya memberikan suatu lingkungan yang optimal (Kelian, Indonesia, dan Ladoman, Papua New Guinea adalah sebagai contoh).

EKSPORASI ENDAPAN EMAS EPITERMAL

Endapan-endapan emas epitermal bentuknya adalah sangat bervariasi, berkisar dari vein-vein kuarsa tipis sampai endapan-endapan diseminasi yang besar, dan terletak dalam suatu lingkungan geologi yang bermacam-macam, oleh sebab itu, mereka memperlihatkan suatu rentang yang lebar dari nilai-nilai geokimia dan geofisika, juga ciri-ciri rona penginderaan jauhnya.

Ekplorasi Geokimia

Ada suatu kelompok unsur-unsur yang menonjol yang biasanya berasosiasi dengan mineralisasi emas epitermal. Asosiasi yang paling klasik adalah emas, perak, arsen, antimon, air raksa, thallium dan sulfur (Reid dan Hedenquist, 1984).

Dalam endapan yang batuan induknya karbonat (carbonate-hosted), arsen dan sulfur adalah unsur-unsur utama yang berasosiasi dengan emas dan perak (Berger, 1983), bersama-sama dengan sejumlah kecil tungsten, molibdenum, air raksa, thallium, antimon dan telurium, fluorin dan barium.

Endapan yang batuan induknya vulkanik (volcanic-hosted) mengandung arsen, antimon, air raksa dan thallium diperkaya dengan logam mulia di daerah conduit (leher) fluida utama, juga berasosiasi dengan zona-zona ubahan mineral lempung.

Kebanyakan sistem epitermal yang besar dicirikan oleh intensif dan ekstensif alteration haloes disebabkan oleh tersebar luasnya dari reaksi penghacuran mineral feldspar dan ferromagnesian, silifikasi, dan piritisasi. Ciri lainnya dari sistem epitermal adalah pen- transferan potash (K) kedalam beberapa ratus meter diatas sistemnya, dan disebabkan oleh adanya pengurangan sulfur (Henley, 1991).

Pengambilan contoh geokimia untuk eksplorasi emas adalah sama dengan eksplorasi untuk tipe-tipe lainnya dari endapan bijih. Akan tetapi, contoh-contoh anomali mungkin mempunyai kandungan emas agak rendah (umumnya kurang dari 0,2 ppm), dengan hasil penting dari jumlah contoh yang dianalisis agar supaya minimum bersatu partikel-partikel emasnya (Zegers dan Leduc, 1991). Media pengambilan contoh dan interval, dan prosedur preparasi contoh yang digunakan oleh beberapa penulis dan berhubungan terhadap topografi yang

berbeda dan lingkungan iklim disajikan dalam Tabel 2.

Pada level survey regional, pengambilan contoh untuk eksplorasi emas tidak memerlukan prosedur yang unik atau tidak biasa, khususnya jika stream sediments di ambil. Contoh-contoh yang demikian umumnya adalah disiapkan dengan cara pengeringan dan pengayakan. Seperti juga pada unsur-unsur lainnya, pecahan yang halus umumnya diambil untuk dianalisis. Dalam banyak contoh-contoh, praktek yang umum dalam eksplorasi emas melibatkan pengumpulan contoh sebangak 500 gr dan recoverynya dengan pengayakan ukuran -80 mesh ($< 177 \mu\text{m}$) (Zegers dan Leduc, 1991).

Dalam situasi dimana pengambilan contoh tanah diperlukan, contohnya pada tahap regional pada terrain yang reliefnya rendah atau untuk survey lanjutan, pilihlah media pengambilan contoh yang paling memadai mungkin akan lebih sulit, khususnya pada pelapukan yang dalam, lingkungan laterit. Disana, emas atau unsur-unsur pandu (pathfinder) mungkin bersatu dalam fase mineral yang khusus, berkaitan dengan material yang berbeda ukuran butirannya. Jika, contohnya, OksidaFe dianggap mengandung emas atau unsur-unsur lain, pengambilan contoh harus difokuskan pada kedua-duanya yaitu pada ferruginous cuirasse sendiri atau derived product seperti pisolith atau lag.

Saprolit adalah umumnya diambil contohnya pada tahap eksplorasi rinci, dan dapat dianggap sebagai suatu alternatif pada litho geochemistry dalam terrain pelapukan yang dalam (Zegers dan Leduc, 1991). Lebih jauh lagi, Taylor dkk. (1989) telah dapat mendelineasi pola-pola ubahan dan membedakan ciri-ciri yang subtle (yang kurang jelas) seperti kandungan Fe dari tourmalin dari analisis multi-unsur dari saprolit.

Ketertarikan yang besar dalam eksplorasi emas dalam beberapa dekade yang lalu telah menghasilkan dalam pengembangan metode analisis untuk menentukan kandungan emas dari material-material yang ada dipermukaan. Hall dan Bonhan-Carter (1988) telah mendiskusikan prosedur dekomposisi contoh yang berbeda untuk material-material padat dan teknik analisis utama yang dipakai untuk menentukan emas (Table 3).

Seperti yang telah didiskusikan oleh Zeeger dan Leduc (1991) teknik ini dirancang untuk mendeteksi konsentrasi rendah dari emas (rentang ppb), dalam kebanyakan material-material geologi, dan the classical fire assay dengan estimasi gravimetric dari kandungan emas sekarang disimpan untuk menentukan kadar-bijih disebabkan batas sensitivitasnya (rentang ppm). Metoda baru dari eksplorasi emas

(hydro dan biochemistry) memerlukan teknik analisis dengan sensitivitas yang sangat rendah (0,1 ppb pada tanaman dengan INAA; 1ppt pada contoh air dengan NAA dan GF-AAS), juga dengan teknik preparasi contoh yang khusus.

Eksplorasi Geofisika

Disebabkan karena tubuh-tubuh epitermal secara alamiah bentuknya sangat bermacam-macam host rocks (batuan induknya) dan structure settings-nya (kedudukan strukturnya), hal ini tidak memungkinkan untuk membuat prediksi secara umum mengenai ciri-ciri secara geofisika. Akan tetapi, pengenalan yang baik dari geologi regional dan lokal, pengertian yang jelas dari objektifnya survey, dan penafsiran yang hati-hati dari data adalah sangat diperlukan untuk penggunaan yang bermanfaat dari geofisika dalam eksplorasi emas epitermal.

Seperti yang telah didiskusikan oleh Irvine dan Smith (1990) pengaruh dari ubahan hidrotermal yang berasosiasi dengan endapan emas epitermal berbeda dari satu prospek ke prospek yang lainnya, tergantung dari faktor-faktor seperti umur geologi, tipe batuan, asal dari fluida hidrotermal dan tingkat erosinya. Dalam kebanyakan kasus ada perubahan yang signifikan dalam parameter fisiknya yang dapat terdeteksi oleh teknik-teknik geofisika.

Teknik-teknik geofisika adalah sangat berharga pada tahap pendahuluan, regional dan rinci dalam eksplorasi endapan emas. Objektifnya mungkin bervariasi dan termasuk dalam aspek-aspek berikut:

- Penyelidikan Pendahuluan

Bila eksplorasi untuk emas dimulai di suatu fisiografi, metalogenik atau lingkungan tektonik yang baru, mungkin terlalu dini untuk memulai suatu penyelidikan yang sistematis, akan tetapi penyelidikan dalam scope regional, tanpa memperoleh beberapa pengetahuan dasar dari respon geofisika di daerah ini. Seperti yang dinyatakan oleh Paterson dan Hallof (1991) fase ini disebut "orientasi" dan akan termasuk penentuan nilai-nilai (signatures) geofisikanya dari satuan litostratigrafi yang signifikan dan struktur daerahnya dan sifat-sifat fisiknya (contohnya susceptibilitas magnetik, densitas, konduktivitas listrik dari litologi-litologi yang mewakilinya dan bila tersedia bijihnya. Orientasi airborne dan/atau penyelidikan darat harus diikuti oleh pengamatan singkapan lapangan yang lebih dekat disekitar anomali-anomali yang dipilih dan mewakili. Prosedure ini dinamakan oleh Paterson dan Hallof (1991) sebagai "ground truth". Berdasarkan pengetahuan ini, suatu program geofisika yang masuk akal dapat direncanakan.

- Penyelidikan Regional

Penyelidikan regional adalah secara biasa yang telah direncanakan untuk melokalisasi lingkungan-lingkungan yang bersekala regional seperti: jalur-jalur greenstone, intracratonic basin margin, zona-zona rift, plate boundaries dan pola-pola sesar regional (Paterson dan Hallof, 1991).

Magnetik dan penyelidikan gaya berat udara (airborne) adalah yang paling membantu pada tahap ini. Data yang demikian tersedia pada daerah yang luas atau lingkungan yang belum terpetakan., atau dapat diperoleh dengan harga yang pantas jika diperlukan. Program-program yang khusus yang demikian adalah penyelidikan magnetik udara jalur-jalur greenstone di Australia Barat oleh Australian Bureau of Mineral Resources (Edward dan Atkinson, 1986).

Penyelidikan regional sering dilaksanakan dengan kombinasi penyelidikan magnetik dan EM, dengan dua objektifitas yaitu langsung melokalisir tubuh-tubuh sulfida masif dan memetakan struktur geologi dan litologinya. Palacky (1989) telah mendemonstrasikan peranan airborne EM dalam mengidentifikasi litologi dengan kualitas yang baik (virtue) dari signatures konduktivitas yang dihasilkan oleh pelapukan dipermukaan. Paterson dan Hallof (1991) telah menunjukkan bahwa sistem EM yang mempunyai band-lebar, baik yang Fixed-Wing maupun yang dipasang di helikopter, sekarang digunakan secara rutin untuk melokalisasi kenampakan-kenampakan yang konduktif seperti zona-zona shear utama dan zona-zona ubahan argilik. Penemuan dari endapan emas epitermal Hishikari yang kaya adalah dikarenakan penggunaan teknik ini yang berhasil.

Selanjutnya, Paterson dan Hallof (1991) telah menyarankan penggunaan kombinasi penyelidikan magnetik udara dan VLF-EM pada tahap awal dalam melokalisir target-target emas, karena mereka dapat dilaksanakan pada skala regional atau rinci, biasanya pada jarak lintasan yang kecil dari 100 m. Selain dari itu juga bahwa dengan menggunakan pendekatan ini ongkosnya relatif rendah, hal ini yang menyebabkan digunakannya metoda VLF ini secara luas di daerah-daerah dimana respon VLF tidak terselimuti oleh konduktivitas permukaan yang tinggi.

- Penyelidikan Rinci

Eksplorasi rinci berbeda dari regional terutama dalam skala penelitian, program-program yang khusus yang berada pada kualitas ukurannya (beberapa km² sampai beberapa puluh km²). Seperti juga yang disarankan oleh Paterson dan Hallof (1991) penyelidikan mungkin airborne (udara) atau darat tergantung

pada teknik yang digunakan, lingkungannya, dan targetnya. Program-program penyelidikan udara yang khusus adalah kombinasi magnetik udara helikopter, penyelidikan EM dan VLF dari 300-1000 line km didarat, penyelidikan IP, gaya berat dan CSAMT dengan order 200-200 line km adalah umum. Fase terakhir dari semua program-program ini adalah hampir tidak berubah berupa suatu penyelidikan geofisika darat yang rinci, diikuti oleh trenching (pembuatan parit) atau pengeboran.

Dikarenakan seringnya emas berasosiasi dengan sulfida, metode IP dan tahanan jenis telah mendukungnya dibanyak lingkungan (Reed, 1989). Akan tetapi, beberapa keterdapat-an emas tidak mempunyai suatu hubungan dengan sulfida dan hanya dapat dilokalisir oleh hubungannya dengan struktur dan/atau ubahan hidrotermal (Paterson dan Hallof, 1991).

Irvine dan Smith (1990) juga telah menunjukkan bahwa sejumlah metode geolistrik dan EM yang berbeda telah digunakan pada eksplorasi emas epitermal, termasuk tahanan jenis, IP, CSAMT, tahanan jenis VLF, frekuensi dan transient electromagnetics (FEM dan TEM). Targetnya mungkin zona ubahan hidrotermal yang konduktif yang menyelimuti endapannya, atau menutupi diatasnya seperti yang di Hishikari (Izawa, dkk., 1990), atau mungkin vein-vein kuarsa yang resistif tinggi mereka sendiri, atau zona-zona silifikasi yang berkaitan. Modriniak dan Marsden (1938) telah melihat bahwa zona-zona ubahan propilik yang intensif (berisi vein-vein pembawa emas yang terkenal) di Waihi New Zealand adalah dapat dideteksi oleh geolistrik.

IP telah digunakan dalam eksplorasi untuk endapan epitermal tipe sulfur yang tinggi, dan banyak endapan tipe sulfur yang rendah (Bonhan, 1988) juga mengandung sulfida yang cukup untuk membuat mereka menjadi target IP.

CSAMT memberikan kontribusi didalam penemuan budi bijih di Hishikari di Jepang (Kawasaki, dkk., 1986), dan telah digunakan secara meningkat pada tahun terakhir ini di New Zealand dan Jepang untuk eksplorasi emas epitermal (Austpac, 1988).

Pengindraan Jauh

Teknik pengindraan jauh semakin canggih, aplikasinya terhadap eksplorasi mineral juga semakin meningkat. Foto geologi altitude rendah dan tinggi membantu memetakan struktur dan tipe batuan, juga tipe ubahan (Nash, dkk., 1981).

Seperti yang telah didiskusikan oleh Reid dan Hedenquist (1984) dalam Krohn's work pada tahun 1984 dalam spectra batuan, dan pengaruhnya terhadap mineral ubahan, me-

nunjukkan pada metode baru dalam eksplorasi. Misalnya, Krohn menentukan bahwa the visible near-infrared (0,4 μm - 2,5 μm) dan mid-infrared (2,5 μm - 25 μm) spectra batuan disekitar lima endapan emas disseminated dan endapan perak di Nevada dan Idaho mempunyai pola-pola yang dapat dipetakan. Tanda-tanda yang dapat dikenali dari spectra ini dengan pengecekan contoh didarat dari bermacam-macam endapan termasuk : (1) Sedimen karbonat sebagai batuan induk, (2) hadirnya organic matter didalam batuan induknya, (3) ubahan hidrotermal oleh silifikasi dengan beberapa argillitisasi, (4) a spatial association dengan suatu intrusi batuan beku, (5) adanya retas-retas yang saling memotong, (6) asosiasi dengan sesar yang dippingnya sangat curam, (7) a spatial association dengan endapan-endapan mata airpanas, dan (8) ubahan pada beberapa kasus terhadap kalk-silika.

Di Australia Barat seperti telah dibahas oleh Edwards dan Atkinson (1986), esplorasi pendahuluan langsung diarahkan kearah pemetaan basal, gabro, dan formasi besi dalam jalur-jalur greenstone, karena litologi-litologi ini umumnya merupakan hostnya mineralisasi emas. Penafsiran foto udara digunakan untuk membantu keefektifan dari pemetaan geologi yang kadang-kadang terhambat oleh buruknya singkapan. False colour fotografi memberikan perbedaan lateritic terrain dan dapat membedakan batuan ultrabasic dan batuan felsic dengan menggunakan perbedaan karakteristik tonal.

STUDIKASUS

Sejumlah endapan-endapan epitermal telah dipelajari secara intensif dan dilaporkan dalam literatur. Salah satu penemuan dari endapan epitermal akan didiskusikan untuk menggambarkan endapan emas epitermal di Indonesia yaitu: endapan emas Kelian di Kalimantan, Indonesia.

Kelian, Kalimantan, Indonesia

Kelian adalah salah satu dari sejumlah endapan-endapan emas yang terdapat pada batuan induk vulkanik Tersier yang telah diketemukan pada suatu jalur yang panjangnya 400 km dengan strukturnya berarah timurlaut dipedalaman Kalimantan. Endapan ini terdiri dari dua tubuh bijih, yaitu Prampus Barat dan Timur, dan empat zona mineralisasi kecil, dan mempunyai suatu potensi sumber daya (cadangan) gabungan +75 Mt pada kadar Au 1,8 g/t. menjadikan Kelian sebagai endapan emas terbesar yang diketahui di Indonesia (Van Leeuwen, dkk., 1990).

Endapan emas ini diketemukan pada tahun 1976 pada saat melanjutkan pekerjaan pencarian emas aluvial di Sungai Kelian, dengan

menggunakan teknik yang tradisional yaitu stream sediment, pan concentrate, rock float dan outcrop sampling. Selanjutnya penyelidikan rinci meliputi, pengambilan contoh tanah, trenching, pengeboran auger dalam, penyelidikan magnetik darat, IP dan 60.000 meter pengeboran diamond

Secara geologi endapan ini terdiri dari sederetan endapan piroklastik silisik yang gradasinya mengkasar keatas ke suatu lapisan sedimen berumur Eosen Atas. Lapisan sedimen ini telah mengalami perlipatan dan persesarkan di sepanjang arah utara dan arah timurlaut dan diintrusi oleh sejumlah tubuh-tubuh andesit subvolkanik dan trachy-andesitik pada Miosen Bawah. Selanjutnya, setelah penempatan (emplacement) andesit, terbentuklah suatu sistem hidrotermal dan mengakibatkan terjadinya ubahan yang intensif, mineralisasi dan breksiasi hidrotermal. Bagian yang terawetkan dari sistem ini seluas 1 km², dan mempunyai pelamparan vertikal paling sedikit 600 m. Dari data pengukuran umur radiometri umurnya dapat diketahui sekitar 20 Ma untuk batuan ubahannya. Gambar 1 memperlihatkan geologi dari endapan emas epitermal Kelian. Termasuk juga didalamnya mineralisasi epitermal yang signifikan di G. Muro dan G. Masuparia.

Pada skala peta endapan emas di daerah ini, mineralisasinya terjadi pada tepi tubuh andesit yang mengintrusi satuan endapan piroklastik Eosen. Mineralisasi terdapat pada batuan andesit, tufa yang terkekarkan dan pada bermacam macam breksi mulai dari breksi volkanik dan breksi intrusi sampai breksi-breksi hidrotermal yang didukung oleh fragmen-fragmen. Ubahannya sangat intensif. Kumpulan Klorit-karbonat-serisit terawetkan dalam tubuh-tubuh andesit yang besar. Sedangkab pada zona-zona bijih Prampus Timur dan Barat, ubahan terjadi dalam tahapan berikut: serisit - pirit, kuarsa serisit adularia - pirit, karbonat - pirit- logam dasar. Ubahan ini ditutupi oleh lapisan kaolin + Fe Mn karbonat yang tersebar luas. Adularianya diketahui umurnya 20,2 +/- 0,3 Ma (Henley, 1991).

Mineralisasinya berasosiasi erat dengan pirit, yang menghasilkan beberapa persen bijih, dan hadir sebagai suatu diseminasi atau stockwork yang halus diseluruh tubuh bijihnya. Sulfida lainnya termasuk sphalerit, galena dan sejumlah kecil kalkopirit, tenantit-tetrahedrit, cinabar dan arsenopirit. Secara umum emasnya telah dianalisis secara mikrokopis dari sayatan polesnya dan umumnya berasosiasi dengan kumpulan karbonat- logam dasar sulfida sebagai inklusi atau pembatas butiran. Akan tetapi, kebanyakan emasnya adalah submikroskopis, kemungkinan ber-asosiasi dengan pirit (Henley, 1991). Fluid inklusi darimineral kuarsa, sphalerit

dan karbonat memberikan suhu sekitar 270-3100C dan umumnya salinitasnya rendah, mulai dari 0,5 sampai 4,2 wt.% ekuivalen NaCl.

Seperti yang disarankan oleh Van Leeuwen (1990) bahwa Kelian mempunyai afinitas mineralisasi berupa (styles) porpiri dan epitermal, dan mungkin mewakili suatu tipe endapan transisi.

KESIMPULAN

Endapan emas epitermal adalah hasil dari sistem hidrotermal yang berskala besar di lingkungan volkanik. Dalam suatu sumber panas magmatik, suatu sumber airtanah dalam, metal dan penurunan sulfur, dan zona-zona rekahan yang regas di kerak bumi bagian atas adalah material-material yang paling penting. Karena material-material ini tersedia sepanjang sejarah kerak bumi, dengan demikian tidak ada pembatasan dalam umurnya. Pencampuran dari material-material ini menyebabkan terbentuknya endapan-endapan emas epitermal.

Dari bukti-bukti tubuh-tubuh batuan dilapangan dan data geokimia bahwa magma-magma ldbagian atas adalah sumber emas dari sistem emas epitermal, juga sebagai sumber dari sulfur yang diperlukan untuk men-trasportasi emas. Perbedaan antara wujud (styles) endapan mungkin berkaitan dengan kedalaman dari intrusinya. Maka wujud (style) endapan alunit-kaolinit adalah berasal dari degassing magma-magma level atas, dengan aliran hidrotermal yang kemudian didorong oleh sistem magma yang dalam dan besar. Sedangkan, bentuk sistem adularia-sericite adalah aslinya berasal dari tubuh magma yang dalam kemudian degassing kedalam sistem airtanah dalam diatasnya. Konveksi airtanah dalam berfungsi untuk menyebarkan fluida magma. Pada sistem yang permeabilitasnya tinggi seperti ti Broadlands, New Zealand, endapan emas diseminasi kadar rendah terjadi karena penyebaran yang sangat kuat. Sedangkan pada batuan induk yang permeabilitasnya rendah, hal ini disebabkan oleh kontrol struktur utamanya, aliran airtanah dalam dan lokasi fluida terhadap tempat pengendapannya pada level yang tinggi (Contohnya Hishikari, Jepang). Breksiasi yang ektensif sebagai suatu hasil dari proses magmatik, dalam beberapa hal berasosiasi dengan stuktur-struktur regional yang utama, dengan demikian nampaknya memberikan suatu lingkungan yang optimal (contohnya di Kelian Indonesia).

Dalam beberapa kasus, program eksplorasi yang modern telah dilaksanakan diberbagai macam lingkungan epitermal, secara regional maupun rinci. Pengindraan jauh, geokimia, geologi dan geofisika adalah metode-metode

yang paling utama yang digunakan dalam eksplorasi endapan emas epitermal. Penggunaan dari metode-metode ini menyebabkan pada penemuan endapan emas yang terkenal seperti Hishikari, di Jepang ; Kelian, di Indonesia dsb.

Akan tetapi lingkungan epitermal karakternya adalah sangat beragam, karena bermacam-macam proses fisika dan kimia terjadi didalam suatu kompleks dan lingkungan geologinya. Oleh karena itu, kenampakan yang teramati, dan hubungan ruangnya, bervariasi sangat luas. Tetapi tema intinya yang mencirikan semua endapan epitermal adalah proses-proses yang terjadi dalam pembentukannya. Oleh karena itu, perbedaan dari kenampakan yang ada dan signifikannya dalam eksplorasi, hanya dapat dimengerti dengan bantuan konsep yang sangat dimengerti dalam proses-proses yang terjadi pada sistem hidrotermal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tinjauan ini tidak akan dapat diselesaikan tanpa dorongan dan entusiasi dari kepala Pusat Sumber Daya Geologi dan Ketua KPP Bawah Permukaan.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Dr. Ir. Hadiyanto M.Sc dan Drs. Harapan Marpaung M.Sc yang telah memberikan fasilitas dan kesempatan dalam penerbitan tinjauan ini.

Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Team editor Buletin Sumber Daya Geologi atas kesabaran, bimbingan, keyakinan, dan perbaikannya dalam persiapan awal dari tinjauan ini.

Kepada semua rekan sejawat yang secara terus menerus memberikan dorongan dan kontribusi dalam penulisan tinjauan ini.

ACUAN

- Auspec Gold N.L., 1988. Annual report for 1988. Auspac gold N.L., GPO Box 5297, Sydney, NSW 2001, Aust. 49 p.
- Berger, B.R., dan Eimon, P.I., 1983. Conceptual models of epithermal precious metal endapans. Di dalam: Shanks, W.C., (ed.). Cameron volume on unconventional mineral endapans, pp. 191-205. Am Inst. Mining Metal Petroleum Engineers, New york.
- Bonham, H.P., 1988. Model for volcanic-hosted epithermal precious metal endapans. Di dalam : Scafer, R.W., Cooper, J.J., dan Vikre, P.G., (eds.) Bulk mineable Precious Metal Endapans of the Western United States, Symp. Proc. Reno, Nevada Geol. Soc. Nevada, 259-271.
- Craig, J.R., dan Vaughan, D.J., 1981. Ore Microscopy and Ore Petrography. John Wiley & Sons, New York, 406 p.
- Edwards, R., dan Atkinson, K., 1986. Ore Endapan Geology: and its influence on mineral exploration. Chapman and Hall Ltd., London, 143-173.
- Evan, A.M., 1987. An Introduction to Ore Geology. A Geoscience Text, 2nd edition, Blackwell Scientific Publication, Melbourne, 358 p.
- Giles, D.L., dan Nelson, C.E., 1984. Principal features of Epithermal Lode Gold Endapans of the Circum Pacific Rim. Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conf., 3rd, Honolulu, Hawaii, August 22-28, 1982, Trans., 273-278.
- Hall, G.E.M., dan Bonham-Carter, G.F., 1988. Review of methods to determine gold, platinum and palladium in production-oriented geochemical laboratories, with application of a statistical procedure to test for bias. J. Geochem. Explor., 30, 1-27.
- Heald, P., Foley, N.K., dan Hayba, D.O., 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal endapans: Acid-sulfate and adularia-sericite types. Econ. Geol., 82, 1-27.
- Henley, R.W., 1991. Epithermal gold endapans in volcanic terranes. Di dalam: Foster, R.P., (ed.). Gold Metallogeny and Exploration. pp. 133-164. Blackie, Glasgow and London.
- Irvine, R.J., dan Smith, M.J., 1990. Geophysical exploration for epithermal gold endapans. J. Geochem. Explor., 36, 375-412.
- Izawa, E., Urashima, Y., Ibaraki, K., Suzuki, R., Yokoyama, T., Kawasaki, K., Koga, A., dan Taguchi, S., 1990. The Hishikari gold endapan: high-grade epithermal veins in Quarternary volcanic soputhern Kyushu, Japan. J. Geochem. Explor., 36, 1-56.

- Kawasaki, K., Okada, K., dan Kubota, R., 1986. Geophysical Survey in the Hishikari area. *Min. Geol.*, 36, 131-147.
- Keays, R.R., dan Scott, R.B., 1976. Precious metal in ocean ridge basalt: Implication for basalt as source rocks for gold mineralisation. *Econ. Geol.*, 71, 705-720.
- Lindgren, W., 1933. *Mineral Endapans*. McGraw-Hill Book Company, 4th Ed., 930 p.
- Modriniak, N., dan Marsden, E., 1938. Experiment in geophysical survey in New Zealand. *Geol. Mem.* 4, Dep. Sci. Ind. Res., Wellington, New Zealand, pp. 67-72.
- Nash, G.T., Granger, H.C., dan Adam, S.S., 1981. Geologi and concepts of genesis of important types of uranium endapans. *Econ. Geol. 75 th Anniv. Vol.*, 63-116.
- Palacky, G.J., 1988. Resistivity characteristics of geological targets: Electromagnetic methods. Di dalam: Habighian, M.N., (ed.). *Applied Geophysics, Soc. Explor. Geoph. Tualsa*, 29-91.
- Paterson, N.R., dan Hallof, P.G., 1991. Geophysical exploration for gold. Di dalam: Foster, R.P., (ed.), *Gold Metallogeny and Exploration*, 350-359. Blackie and Sons Ltd., Glasgow.
- Reed, L.E., 1989. Geophysics in gold exploration. Di dalam: Garland, G.D., (ed.). *Proc. Explor.*, 87, Ontario Geol. Surv., Spec., 3, 473-485.
- Reid, F., and Hedenquist, J.W., 1984. Epithermal Gold: Models for exploration. The earth resources foundation, Sydney Univ., 222 p.
- Schmitt, H., 1950. Origin of the "epithermal" mineral endapans. *Econ. Geol.*, 45, 191-201.
- Taylor, G.H., Coste, B., Lambert, A., dan Zeegers, H., 1989. Geochemical signature (bedrock and saprolite) of gold mineralization and associated by hydrothermal alteration at Dorlin, French Guyana (extended abstract). *J. Geochem. Explor.*, 32, 59-60.
- Van Leeuwen, T.M., Leach, T., Hwke, A.A., dan Hawke, M.M., 1990. The Kelian disseminated gold endapan, east Kalimantan, Indonesia: An example of deeply eroded epithermal System. Di dalam: Hedenquist, J.W., White, N.C., and Siddeley, G., (eds.). *Epithermal Gold Endapans of Circum-Pacific. Geology, Geochemistry, Origin and Exploration*, I. *J. Geochem. Explor.*, 35, 1-61.
- White, D.E., dan Hedenquist, J.W., 1990. Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration. *J. Geochem. Explor.*, 36, 445-474.
- Worthington, J.E., dan Kiff, I.T., 1970. A suggested volcanogenic origin for certain gold endapans in the slate belt of the North Carolina Piedmont. *Econ. Geol.*, 65, 529-537.
- Wyborn, D., 1988. Ordovician magmatism, gold mineralization and an integrated tectonic model for the Ordovician and Silurian history of the Lachlan Foldbelt in New South Wales. Bureau of Mineral Resources, Canberra, Aust., Res. Newsletter, 8, 13-14.
- Zeegers, H., dan Leduc, C., 1991. Geochemical exploration for gold in temperate, arid, semi-arid, and rain forest terrains. Di dalam: Foster, R.P., (ed.). *Gold Metallogeny and Exploration*, pp. 309-331. Blackie and Son Ltd., Glasgow

Tabel 1.
Karakteristik umum dari endapan-endapan epitermal
(Setelah Lindgren, 1933). Dari Evans, 1987.

Tabel 1. Karakteristik umum dari deposit epitermal (Setelah Lindgren, 1933). Dari Evans, 1987

Depth of formation	Near surface to 1500 m
Temperature of formation	50–200°C
Occurrence	In sedimentary or igneous rocks, especially in or associated with extrusive or near surface intrusive rocks, usually in post-Precambrian rocks not deeply eroded since ore formation. Often occupy normal fault systems, joints, etc.
Nature of ore zones	Simple veins—some irregular with development of ore chambers—also commonly in pipes and stockworks. Rarely formed along bedding surfaces. Little replacement phenomena
Ores of	Pb, Zn, Au, Ag, Hg, Sb, Cu, Sc, Bi, U
Ore minerals	<i>Native Au now often Ag-rich</i> , native Ag, Cu, Bi. Pyrite, <i>marcasite</i> , <i>sphalerite</i> , <i>galena</i> , chalcopyrite, <i>cinnabar</i> , jamesonite, <i>stibnite</i> , <i>realgar</i> , <i>orpiment</i> , <i>ruby silvers</i> , <i>argentite</i> , <i>selenides</i> , tellurides
Gangue minerals	SiO ₂ as <i>chert</i> , <i>chalcedony</i> or crystalline quartz—often amethystine, (sericite), low Fe chlorite, epidote, carbonates, fluorite, baryte, <i>andularia</i> , <i>alunite</i> , <i>dickite</i> , rhodochrosite, <i>zeolites</i>
Wall rock alteration	Often lacking, otherwise chertification, kaolinization, pyritization, dolomitization, chloritization
Textures and structures	Crustification (banding) very common, often with development of fine banding, cockade ore, vugs and brecciation of veins. Grain size very variable
Zoning	Type of mineralization may vary abruptly with depth, often having only a small vertical range (telescoping) mostly bottom at 300–900 m. Grade variable with occurrence of bonanzas within low grade ore
Examples	Au of Cripple Creek, Colorado; Comstock, Nevada; Keweenaw Coppers; Sb of China

Tabel 2. Eksplorasi geokimia untuk emas: ringkasan dari bermacam media sampling dan interval, ukuran pecahan diambil untuk analisis, respon geokimia Au yang diperoleh, dan unsur-unsur pandu yang signifikan, dalam hubungannya dengan bermacam lingkungan iklim dan morfologi (Dari Zeegers dan Leduc, 1991).

GEOCHEMICAL EXPLORATION FOR GOLD

Table 10.3 Geochemical exploration for gold: summary of different sampling media and intervals, size fractions retained for analysis, Au geochemical responses obtained, and significant pathfinder elements, in relation to various climatic and morphological environments

Ref.	Climate	Relief	Stage of exploration	Sampling media	Sampling Interval	Size fraction	Au response	Pathfinders
(1)	Temperate	Low	REGIO	SS	2-3/km ²	<125 μm	None	(+)As, Li, B
(1)	Temperate	Low	REGIO	HC	1/km		Good	
(1)	Temperate	Low	DETAIL	SO	50x100 m, 50x200 m	<125 μm	Good	(+)As, Pb, Sb, W
(1)	Temperate	Low	PRE-D	WR, RO	5, 10, 20 m	Total	Good	
(2)	Temperate	Moderate	DETAIL	SO	100x25 m	<125 μm	Good	(+)As, Li, B
(3)	Temperate	Moderate	REGIO	HC	1/km ²		Good	
(3)	Temperate	Moderate	DETAIL	SO		<63 μm	Good	(+)As, Hg
(4)	Temperate	Moderate	DETAIL	SO	10 m		Good	(+)As, Ag, Hg, Sb, W (-)Ca, Mg
(5)	Arid	Low	REGIO	SS	2/km ²	<80 μm	Good	
(5)	Arid	Low	DETAIL	SO	50, 100 m	<80 μm	Good	
(6)	Arid	Low	REGIO	PL	1/km ²	Total	Good	(+)As, Bi, Sb, Mo, Ag, Sn, Ge, W, Se
(7)	Savanna	Low	REGIO	SO, SS	1600x500 m	<125 μm	Good	(+)B
(8)	Savanna	Low	REGIO	SO	300x500 m	Total	Good	(+)Cu, Zn, Mo
(9)	Rainforest	Moderate	REGIO	SS	1.5/km ²	<125 μm	Good	
(9)	Rainforest	Moderate	REGIO	HC	0.5/km ²		Good	
(10)	Rainforest	Moderate	DETAIL	SO	100x200 m	>125 μm	Poor	
(10)	Rainforest	Moderate	PRE-D	SA	10 m	Total	Good	
(11)	Rainforest	Moderate	PRE-D	SA	5, 10 m	Total	Good	(+)Ag, Mo, Pb, Si (-)Fe, Ti, Sr
(12)	Rainforest	Moderate	PRE-D	SA	10, 20 m	Total	Good	(+)As, B, Sb, Cu, K, Mg

Exploration stage: REGIO, regional; DETAIL, detailed; PRE-D, pre-drilling.

Sampling media: SS, stream-sediments; HC, heavy concentrates (with determination of visible gold); SO, soils; PL, pisolithic laterite; SA, saprolite; WB, weathered bedrock; RO, bedrock.

Pathfinder elements: (+) enriched; (-) depleted.

Reference: (1) Vasquez-Lopez *et al.* (1987); (2) Braux *et al.* (1989); (3) Janatka and Moravek (1987); (4) Chaffee and Hill (1989); (5) Salpéteur and Sabir (1989); (6) Smith *et al.* (1989); (7) Dommanget *et al.* (1987); (8) Ouedraogo (1988); (9) Barthélémy *et al.* (1987); (10) Colin and Lecomte (1988); (11) Zeegers (1987); (12)

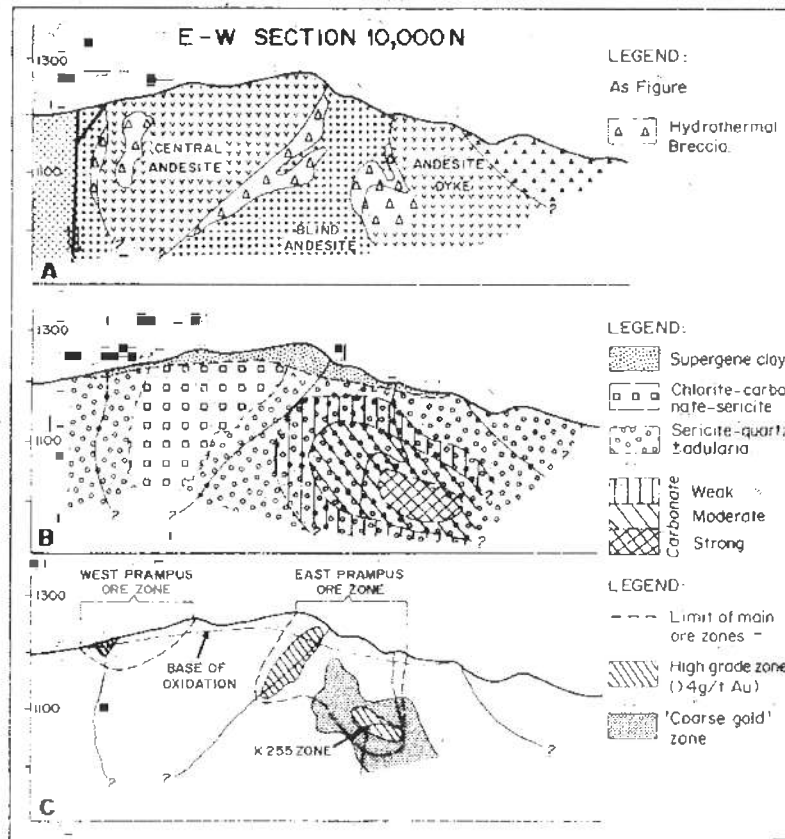
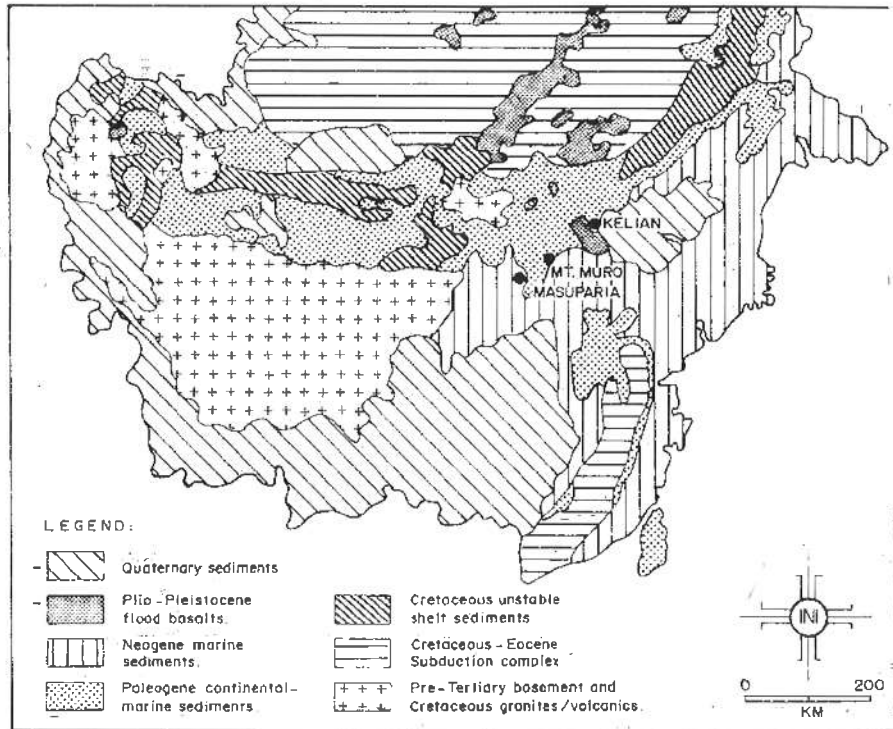
Tabel 3.
Metode yang umum digunakan untuk menentukan emas dalam material-material geologi. (Dari Zeegers dan Leduc, 1991)

Table 10.4. Methods in common use to determine gold in geological materials

Decomposition	Analysis	Detection limit (ppb)	Mass, (g)
Pb-FA	F-AAS	5	10-30
	DCP- or ICP-ES	1	20
	NAA	1	20
	ICP-MS	1	10
	ICP-AFS	2	20
NiS-FA	NAA	1	25
	ICP-MS	1	25
AR or HBr-Br ₂	GF-AAS	1	10
	INAA	5	10-30

Explanation: Pb-FA, lead fire assay; NiS-FA, nickel sulphide fire assay; AR, aqua regia; F-AAS, flame atomic absorption spectrometry; GF-AAS, graphite furnace atomic absorption spectrometry; ICP, inductively coupled plasma; DCP, direct current plasma; ES, emission spectrometry; MS, mass spectrometry; AFS, atomic fluorescence spectrometry; NAA, neutron activation analysis; INAA, instrumental neutron activation analysis. (From Hall and Bonham-Carter, 1988.)

GOLD METALLOGENY AND EXPLORATION



Gambar 1. Endapan Kelian, Kalimantan, Indonesia. (a) geologi dan lokasi dari zona-zona bijih, Kalimantan. (b) Penampang memperlihatkan geologi, mineralisasi dan alterasi di endapan Kelian. (Dari Van Leeuwen dkk., 1990).