

Geokimia regional Sulawesi bagian Utara percontoh endapan sungai aktif -80 mesh

SABTANTO JOKO SUPRAPTO

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

SARI

Penyelidikan geokimia dengan menggunakan metode analisis kandungan unsur dari percontoh endapan sungai aktif -80 mesh merupakan salah satu fase awal eksplorasi terutama untuk menemukan cebakan mineral logam. Cebakan tersebut, baik yang sudah tersingkap maupun yang masih berada di bawah permukaan dapat terungkap pada data geokimia yang dihasilkan. Selain dapat menentukan keberadaan cebakan bahan galian, sebaran unsur percontoh endapan sungai juga dapat dipergunakan untuk menentukan kondisi geologi dan lingkungan rona awal maupun rona akhir dari suatu wilayah. Sulawesi bagian utara dengan tataan geologi yang kompleks dan berada dalam jalur metalogenik yang berpotensi membentuk cebakan logam, menghasilkan rona geokimia yang sangat bervariasi dan menarik. Data geokimia regional yang tertuang dalam bentuk peta sebaran unsur menyajikan informasi awal yang penting tentang indikasi mineralisasi untuk ditindaklanjuti ke tahap penyelidikan lebih rinci.

Kata kunci: Geokimia regional, bahan galian, metalogenik, mineralisasi

ABSTRACT

Geochemical investigation using the analysis method of -80 mesh of active stream sediment samples is one of the early phase exploration especially in finding out metallic mineral deposits. These deposits either as outcrop or as being still in subsurface, can be revealed in geochemical output data. Despite for determination of the availability of mineral deposits, elements distribution of stream sediment samples, can be used to determine the initial and last appearance of geological and situated in environmental condition of an area. Northern part of Sulawesi with its complex geologic setting and a metallogenic region is being potential to form metallic deposits, which create some variation and interesting geochemical performances. The regional geochemistry data by means in the form of elements distribution maps represent the basic important information of mineralization indications, which enable for detail follow up investigation.

Keywords: Regional geochemistry, mineral deposit, metallogenic, mineralization

PENDAHULUAN

Sulawesi bagian utara terletak di sebelah utara garis Lintang Utara 2°, meliputi daerah bagian tengah, lengan timur dan utara Pulau Sulawesi. Bentang alam daerah bagian utara umumnya berupa pebukitan dan pegunungan dengan dataran rendah

menempati daerah sepanjang pantai yang sempit.

Sejarah eksplorasi mineral Indonesia (Van Leeuwen, 1994) telah menggambarkan perkembangan kegiatan usaha pertambangan di Sulawesi yang mengalami beberapa fase. Pada fase paling awal, yaitu penyelidikan oleh *Netherlands Indies Geological Survey* di bagian timur Sulawesi pada tahun 1909

- 1910 telah ditemukan batuan ofiolit yang cukup potensial mengandung nikel. Kegiatan eksplorasi pada fase berikutnya lebih banyak dilakukan di bagian barat dan utara Sulawesi yang merupakan daerah jalur magmatik.

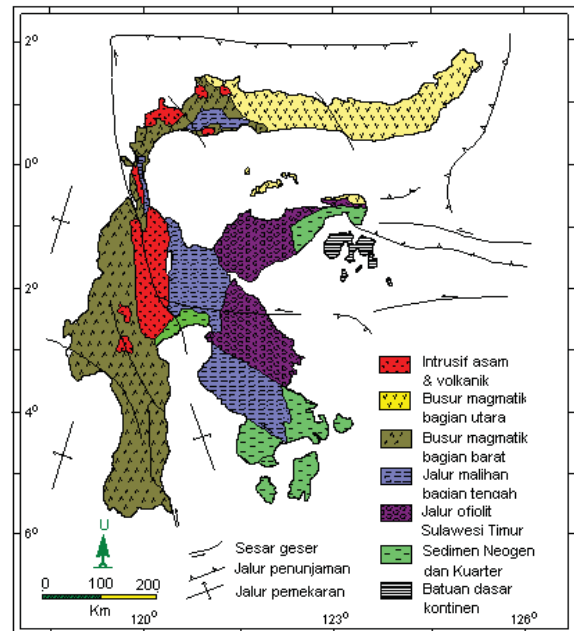
Penyelidikan geokimia regional endapan sungai aktif -80 mesh merupakan kegiatan pengambilan percontoh endapan sungai oleh Direktorat Inventarisasi Sumberdaya Mineral pada periode tahun 1997 - 2000 dalam rangka pemetaan geokimia bersistem. Kegiatan tersebut ditujukan untuk penyediaan data dasar geokimia yang mencakup seluruh daratan Indonesia.

Pemetaan geokimia dilakukan dengan cara pengambilan percontoh endapan sungai fraksi -80 mesh pada cabang-cabang sungai aktif. Sebanyak 4.681 percontoh yang terkumpul mewakili daerah penyelidikan seluas 80.765 km². Dengan dikurangi luas daerah rawa, danau, dan kawasan dataran pantai, dihasilkan kerapatan rata-rata setiap percontoh (1 buah percontoh) untuk 15,31 km². Fraksi berukuran -80 mesh dari endapan sungai ini dianalisis dengan metode Spektrometri Serapan Atom (AAS) untuk 11 unsur-unsur yang terdiri atas Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Ag, Li, K, Co, Ni, dan Cr. Penentuan kadar unsur Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mn, dan Ag dilakukan setelah peleburan dengan menggunakan asam nitrat panas. Sementara kadar Li, K, Cr, dan Fe ditentukan setelah melalui peleburan menggunakan asam perklorat/hidrofluorat panas.

Penyelidikan geokimia secara regional dimaksudkan untuk memberikan petunjuk awal potensi keberadaan cebakan mineral berdasarkan gambaran geokimia regional dan dapat digunakan sebagai data dasar untuk berbagai kepentingan. Data geokimia dapat ditafsirkan antara lain sebagai petunjuk awal eksplorasi untuk sasaran khususnya mineral logam dan pemantauan lingkungan.

GEOLOGI REGIONAL

Sulawesi terletak pada pertemuan Lempeng besar Eurasia, Lempeng Pasifik, serta sejumlah lempeng lebih kecil (Lempeng Filipina) yang menyebabkan kondisi tektoniknya sangat kompleks. Kumpulan batuan dari busur kepulauan, batuan banchuh, ofiolit, dan bongkah dari mikrokontinen terbawa bersama proses penunjaman, tubrukan, serta proses tektonik



Gambar 1. Peta satuan litotektonik Sulawesi (Van Leeuwen, 1994).

lainnya (Van Leeuwen, 1994).

Berdasarkan keadaan litotektonik, Sulawesi dibagi tiga mandala, yaitu: Mandala barat sebagai jalur magmatik yang merupakan bagian ujung timur Paparan Sunda; Mandala tengah berupa batuan malihan yang ditumpangi batuan banchuh sebagai bagian dari blok Australia; dan Mandala timur berupa ofiolit yang merupakan segmen dari kerak samudera berimbrikasi dan batuan sedimen berumur Trias - Miosen (Gambar 1).

Van Leeuwen (1994) menyebutkan bahwa mandala barat sebagai busur magmatik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bagian utara dan barat. Bagian utara memanjang dari Buol sampai sekitar Manado, dan bagian barat dari Buol sampai sekitar Makassar. Batuan bagian utara bersifat riodasitik sampai andesitik, terbentuk pada Miosen - Resen dengan batuan dasar basaltik yang terbentuk pada Eosen - Oligosen. Busur magmatik bagian barat mempunyai batuan penyusun lebih bersifat kontinen yang terdiri atas batuan gunung api - sedimen berumur Mesozoikum - Kuartar dan batuan malihan berumur Kapur. Batuan tersebut diterobos granitoid bersusunan terutama granodioritik sampai granitik yang berupa batolit, stok, dan retas.

MINERALISASI

Kegiatan penambangan pertama di Sulawesi bagian utara dilakukan di Rataotok (Turner dkk., 1994). Penambangan emas merupakan kegiatan yang mulai dilakukan oleh penduduk setempat pada tahun 1850an, kemudian secara intensif oleh Belanda antara tahun 1900 dan 1921, dengan produksi tercatat 5.060 kg emas.

Berdasarkan kondisi litotektonik, daerah mineralisasi yang berkembang di Sulawesi bagian utara dapat dikelompokkan dalam empat jalur, yaitu bagian barat, utara, tengah, dan timur. Bagian barat sebagai busur magmatik dengan batuan terobosan granodiorit-granitik menghasilkan beberapa jenis mineralisasi, di antaranya mineralisasi emas epitermal dan mineralisasi Mo porfiri. Sangat berbeda dengan Sulawesi Utara, lokasi mineralisasi di Sulawesi bagian barat relatif sedikit (van Leeuwen, 1994). Mandala bagian utara merupakan daerah yang sangat potensial sebagai tempat mineralisasi logam, dimana terbentuk beberapa jenis mineralisasi yang terdiri atas emas epitermal jenis sulfidasi rendah, tembaga-emas porfiri, emas pada batuan sedimen (jenis Carlin), urat sulfidasi polimetalik dan mineralisasi Cu-Au-Ag epitermal sulfidasi tinggi. Mandala tengah dengan batuan penyusun malihan dan bancuh, dimana data temuan mineralisasi pada

daerah ini sangat kurang. Mineralisasi khrom ditemukan pada bagian timur dengan batuan penyusun ofiolit (Gambar 2 A dan 2D).

HASIL ANALISIS GEOKIMIA UNSUR TUNGGAL

Penentuan kelas sebaran unsur di wilayah Sulawesi bagian utara didasarkan pada kurva probabilitas logaritmik dimana titik belok kurva dipakai untuk menentukan proporsi setiap populasi (Sinclair, 1976), yang digabungkan dengan data pembandingan dari daerah Sulawesi bagian selatan dan pembagian secara persentil. Kelas terakhir dengan harga tinggi sebagai nilai anomali umumnya merupakan isyarat adanya mineralisasi.

Perak (Ag)

Hasil analisis kimia perak yang nilainya lebih besar dari batas deteksi jumlahnya sangat terbatas. Sebagian besar lebih kecil atau sama dengan nilai batas deteksi. Nilai berkisar dari bawah batas deteksi sampai dengan 14 ppm (Tabel 1). Nilai yang sebagian besar berada di bawah batas deteksi menyebabkan adanya distorsi pada kurva kumulatif probabilitas yang bisa dianggap sebagai satu populasi normal logaritmik dengan populasi tertinggi

Tabel 1. Ringkasan Statistik Kandungan Unsur (satuan dalam ppm kecuali Fe dalam %)

| Unsur | Jumlah Percontoh | Min | Maks | Rata-Rata | Standard | Deviasi Deteksi | Batas Presisi % |
|-------|------------------|-----|---------|-----------|----------|-----------------|-----------------|
| U | 4.681 | 2 | 2.131 | 33,99 | 81,01 | 2 | 18,64 |
| Pb | 4.681 | 2 | 4.126 | 25,46 | 80,70 | 2 | 15,77 |
| Zn | 4.681 | 5 | 1.979 | 65,38 | 63,58 | 3 | 14,17 |
| Co | 4.681 | 2 | 181 | 23,38 | 16,90 | 0,5 | 7,78 |
| Ni | 4.681 | 1 | 4.575 | 168,57 | 433,50 | 0,5 | 17,84 |
| Mn | 4.681 | 14 | 6.276 | 465,59 | 392,40 | 1 | 31,47 |
| Ag | 4.681 | 0,7 | 17 | 1,09 | 0,59 | 1 | 11,15 |
| Li | 4.681 | 1 | 200 | 12,35 | 9,36 | 1 | 16,13 |
| K | 4.681 | 60 | 274.000 | 8.788,61 | 9.631,00 | 14 | 8,27 |
| Cr | 4.681 | 5 | 17.510 | 361,88 | 873,80 | 1 | 9,92 |
| Fe | 4.681 | 0,1 | 89,9 | 5,58 | 4,88 | 0,005 | 9,71 |

1%. Nilai tertinggi 14 ppm berasal dari percontoh yang diambil di Sungai Melaguyun, di bagian barat Gorontalo.

Walaupun nilai perak yang berada di atas nilai batas deteksi sangat jarang, namun ada beberapa kelompok peninggian nilai perak yang tergambar pada citra geokimia (Gambar 2B) berkaitan dengan daerah mineralisasi perak dan emas. Peninggian nilai perak paling banyak dijumpai di Kabupaten Gorontalo dan Minahasa, sebagai cerminan dari keterdapatan Ag (dan Au) pada daerah ini.

Kobal (Co)

Kadar kobal berkisar dari 1 ppm hingga 181 ppm (Tabel 1), dengan nilai tertinggi mencapai 181 ppm berada pada daerah sekitar Batui. Sebaran umum kobal mirip dengan Ni dan Cr; dimana beberapa nilai tinggi terdapat di timur Poso, Batui, Luwuk, dan Balantak berasosiasi dengan ofiolit (Gambar 2C).

Khrom (Cr)

Kadar khrom dari bawah batas deteksi 5 ppm hingga 17.510 ppm (Tabel 1). Nilai tertinggi 17.510 ppm berada di timur Poso dan Batui (Gambar 2D). Sebaran kadar tinggi Cr berasosiasi dengan batuan ofiolit, dimana anomali signifikan dijumpai berasosiasi dengan mineralisasi khrom.

Tembaga (Cu)

Nilai tembaga berkisar dari 2 ppm sampai dengan 2.131 ppm. Pengelompokan data menggunakan kurva probabilitas kumulatif diperoleh tujuh populasi. Kadar tertinggi tembaga 2.131 ppm berasal dari Sungai Bulagidun, sebelah timur Tolitoli. Anomali signifikan dari tembaga dijumpai di daerah Minahasa, Gorontalo dan Boalemo yang menerus ke sekitar Sabang dan Tinombo. Anomali tembaga pada daerah ini terkait dengan adanya cebakan tembaga yang ditemukan di Kotabunan, Tombulilato dan Bulagidun (Gambar 2A dan 2E).

Besi (Fe)

Kandungan besi berkisar dari 0,1% sampai 89,9%. Kurva probabilitas kumulatif dengan pola normal logaritmik dapat dibagi menjadi empat populasi. Peninggian nilai Fe terutama dijumpai di Sulawesi Utara, dengan anomali di sekitar Paleleh, Likupang, Taludaa, Bulagidun, Bolaang Mongondow, dan Minahasa berasosiasi dengan keberadaan

mineralisasi logam lain (Gambar 2A dan 2F).

Kalium (K)

Kandungan kalium berkisar dari 60 sampai dengan 274.000 ppm. Daerah peninggian kalium yang berada di zone busur magmatik bagian barat, di daerah Sulawesi Tengah menempati sebelah timur Palu menerus ke arah utara, berasosiasi dengan batuan granitik. Secara umum peninggian kadar K mirip dengan Li. Citra K memperlihatkan nilai lebih tinggi di zone busur magmatik Sulawesi bagian barat dibandingkan dengan yang terdapat di jalur malihan bagian tengah, busur magmatik utara, dan jalur ofiolit timur (Gambar 3A).

Litium (Li)

Li mempunyai kisaran nilai dari 1 ppm sampai dengan 200 ppm. Nilai tinggi litium erat kaitannya dengan batuan terobosan granitoid dan batuan malihan.

Citra geokimia litium bersesuaian dengan kondisi geologi regional antara lain struktur geologi, mandala tektonik dan litotektonik. Litium relatif tinggi di sekitar Pasangkayu, Tolitoli berasosiasi dengan intrusi granitoid, sementara di Kolaka bagian utara berkaitan dengan batuan malihan. Nilai litium rendah terdapat di busur magmatik Sulawesi bagian utara dan jalur ofiolit Sulawesi bagian timur (Gambar 3B).

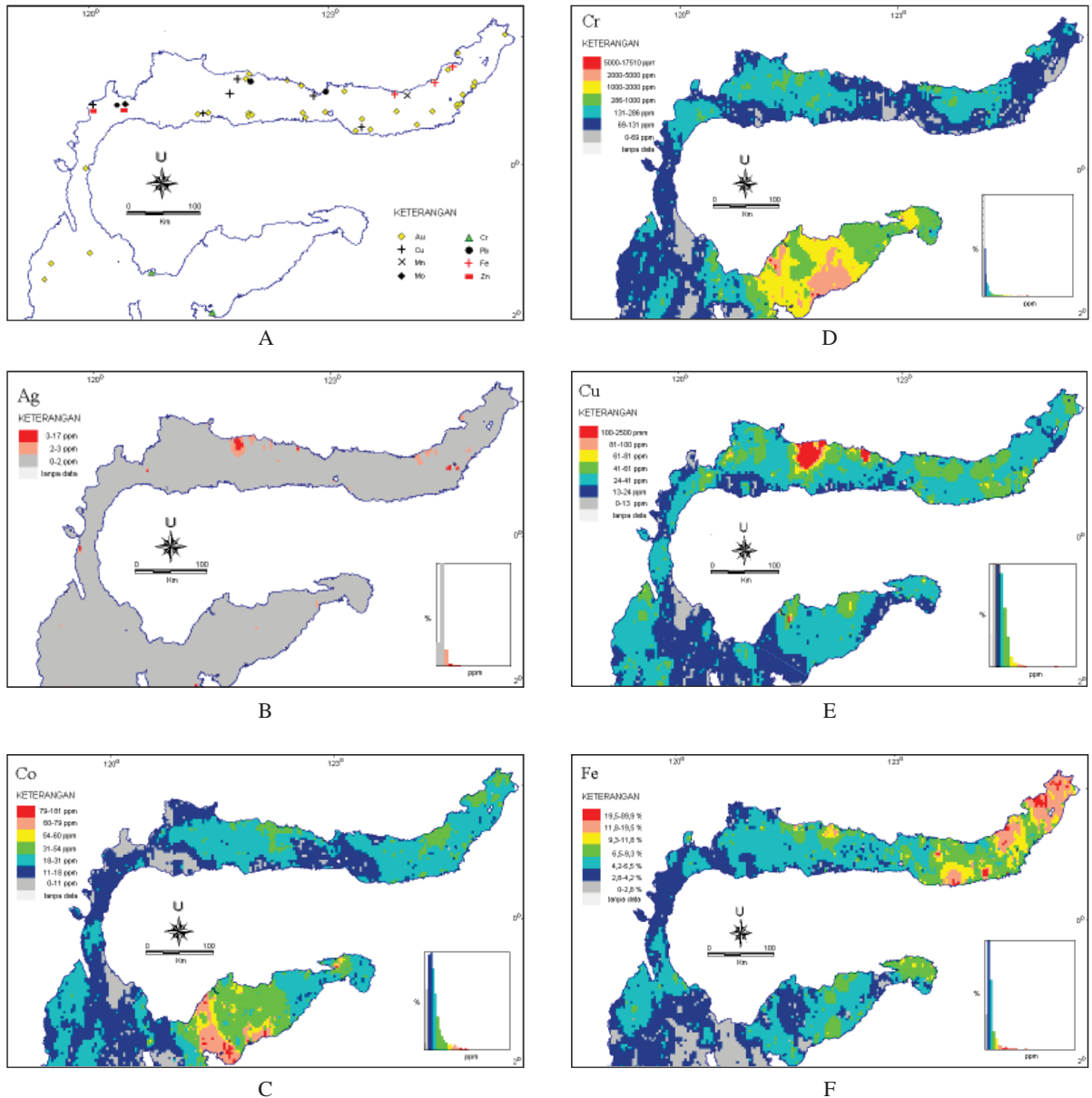
Mangan (Mn)

Kadar mangan dari 14 ppm sampai dengan 6.276 ppm dengan rata-rata aritmatik 465 ppm. Nilai tertinggi berasal dari Boalemo. Anomali signifikan mangan dijumpai antara lain di Daerah Bungku, Minahasa, sekitar Tolitoli, dan Ratatotok berasosiasi dengan keterdapatan mineralisasi emas (Gambar 2A). Beberapa anomali mangan di busur magmatik bagian utara Sulawesi berasosiasi dengan mineralisasi emas.

Citra geokimia mangan (Gambar 3C) juga memberikan nilai tinggi di jalur ofiolit Sulawesi bagian timur. Kadar mangan rendah terdapat di busur magmatik Sulawesi bagian barat.

Nikel (Ni)

Nikel berkisar dari 1 ppm sampai dengan 4.575 ppm. Nilai tertinggi unsur nikel 4.575 ppm berasal dari timur Poso ke arah Batui (Gambar 3D). Sebaran



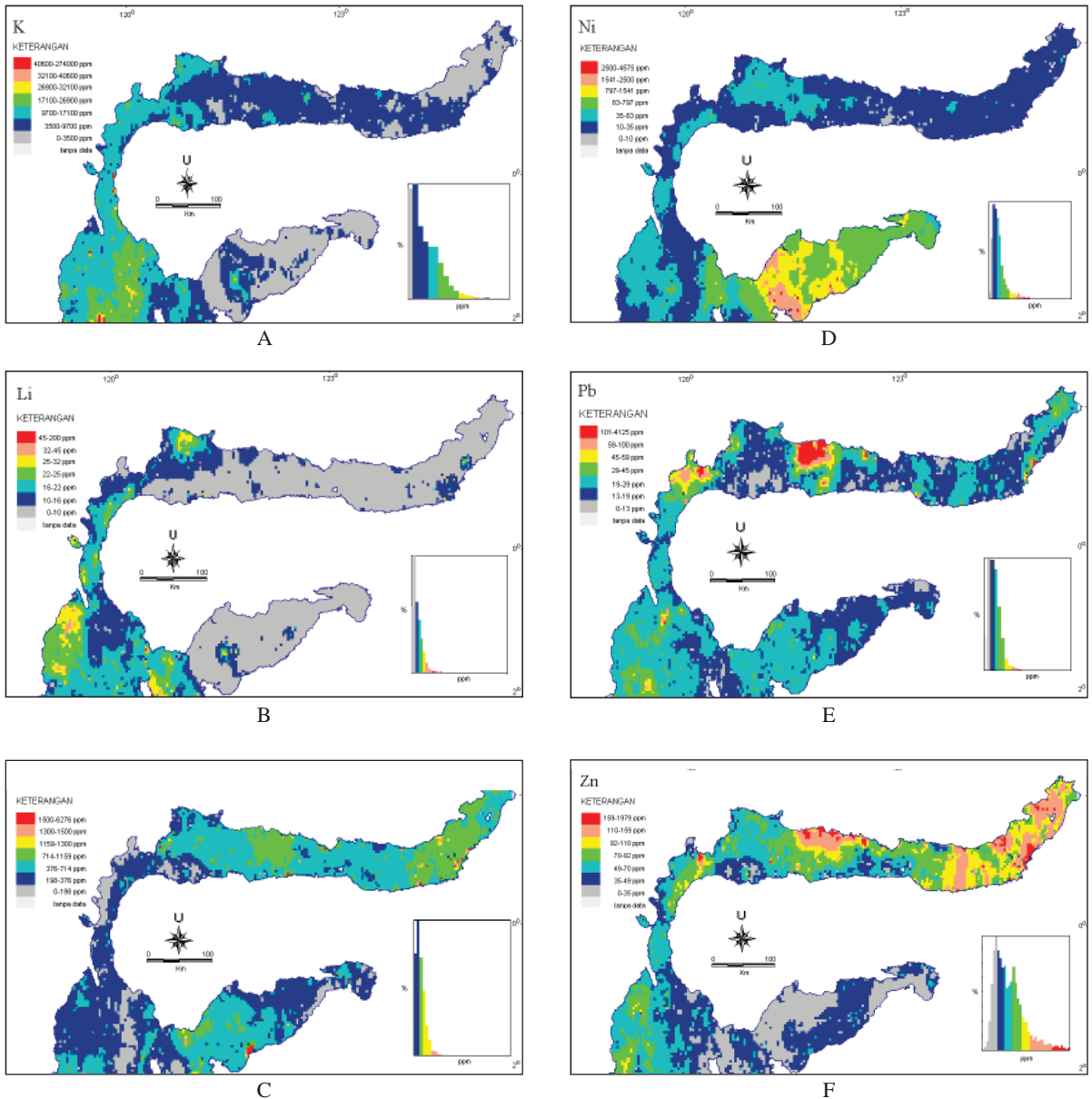
Gambar 2. Peta Sulawesi Bagian Utara menunjukkan (A) Mineralisasi logam; (B) Sebaran unsur perak; (C) Sebaran unsur kobalt; (D) Sebaran unsur kromium; (E) Sebaran unsur tembaga; dan (F) Sebaran unsur besi.

umum Ni mirip dengan sebaran Cr dan Co, dimana beberapa nilai tinggi berkaitan dengan keberadaan ofiolit.

Timbal (Pb)

Hasil analisis timbal mempunyai kisaran dari 2 ppm sampai dengan 4.126 ppm, dengan rata-rata 25,4 ppm. Nilai tinggi timbal 4.126 ppm berasal

dari daerah Paleleh. Peninggian timbal seperti di Paleleh, Malala, Soni, Minahasa, Palu, Mamuju, dan Puhuwato berkaitan dengan mineralisasi sulfida. Anomali Pb di sekitar Paleleh diperkuat oleh adanya kontaminasi dari tambang emas yang dilakukan oleh masyarakat. Secara keseluruhan kandungan nilai timbal (Gambar 3E) relatif tinggi pada busur magmatik barat Sulawesi dan busur magmatik utara Sulawesi.



Gambar 3. Peta Sulawesi Bagian Utara menunjukkan (A) Sebaran unsur kalium; (B) Sebaran unsur litium; (C) Sebaran unsur mangan; (D) Sebaran unsur nikel; (E) Sebaran unsur timbal, dan (F) Sebaran unsur seng.

Seng (Zn)

Kandungan seng 3 ppm sampai dengan 1.979 ppm, rata-rata aritmatik 65,4 ppm. Nilai tertinggi seng 1.979 ppm berasal dari Kotabunan. Peninggian mencolok di Sulawesi Utara sekitar Minahasa, sebagian di pantai utara Gorontalo.

Citra geokimia seng menunjukkan adanya daerah anomali di Malala, Paleleh sampai Kwandang, Rataotok, Likupang dan Manado. Anomali seng berkaitan dengan mineralisasi sulfida logam dan sebagian akibat kontaminasi dari wilayah tambang rakyat (Gambar 2A dan 3F).

HASIL ANALISIS GEOKIMIA UNSUR MAJEMUK

Kekerabatan Unsur

Kekerabatan unsur merupakan salah satu cara untuk menafsirkan data geokimia. Untuk penentuan kekerabatan unsur digunakan analisis statistik multivariat, yaitu:

1. Analisis Korelasi
2. Analisis Pemetaan Non-Linier (R-mode)
3. Analisis Faktor

Berdasarkan analisis multivariat diperoleh tiga kelompok kekerabatan unsur, yaitu: Li-K (isyarat adanya intrusi batuan asam), Ni-Co-Cr (isyarat batuan basa dan ultrabasa), dan Cu-Pb-Zn-Mn-Fe-Ag mencerminkan adanya mineralisasi sulfida logam.

a. Analisis Korelasi

Analisis korelasi dilakukan setelah data ditransformasi dengan pembakuan distribusi normal (*Z*-transformasi) untuk mengurangi efek *outlier*. Hasil disajikan berupa diagram matrik korelasi (Gambar 4 dan 5), tiga korelasi kuat terdiri atas:

1. Li-K
2. Ni-Co-Cr
3. Cu-Pb-Zn-Mn-Fe-Ag

Korelasi Li-K berasosiasi dengan batuan berkomporsi asam berupa granitoid di mandala magmatik Sulawesi barat dan utara. Kelompok Ni-Co-Cr berasosiasi dengan litologi berkomporsi basa dan ultrabasa. Kelompok Cu-Pb-Zn-Mn-Fe-Ag mempunyai asosiasi dengan batuan gunung api (Gambar 2A dan 5).

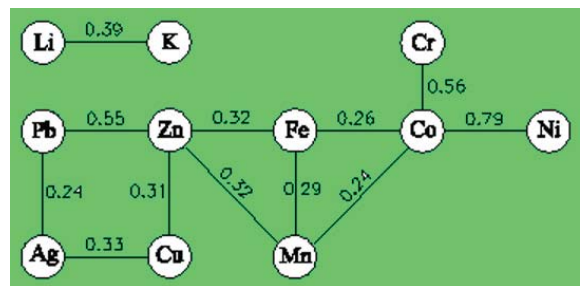
b. Analisis Pemetaan *Non-linear* (R-MODE)

Pemetaan *non linier* R-mode merupakan salah satu cara untuk menafsirkan hubungan antar variabel (Henley, 1976). Unsur-unsur yang berdekatan dapat dianggap berkerabat satu sama lain. Pengelompokan dengan metode ini memperoleh juga kekerabatan yang sama antara Ni-Co-Cr, Cu-Pb-Zn-Ag-Mn-Fe, dan kelompok Li-K (Gambar 6).

c. Analisis Faktor

Analisis faktor menggunakan proses transformasi *oblique* menghasilkan tiga populasi *eigen factor* seperti tertera pada Tabel 2. Populasi nilai faktor yang diperoleh yaitu:

1. Faktor 1 : Ni-Co-Cr



Gambar 4. Diagram matrik korelasi.

Tabel 2. Daftar Nilai Faktor

| Faktor | 1 | 2 | 3 |
|--------|---------|---------|----------|
| Cu | 0,0000 | 1,0000 | -0,0001 |
| Pb | 0,0000 | 0,9593 | 0,0053 |
| Zn | -0,0052 | 0,8175 | -0,0334 |
| Co | 0,6738 | 0,0023 | -0,1133 |
| Ni | 1,0000 | -0,0002 | -0,0003 |
| Mn | 0,0197 | 0,0993 | -0,6625 |
| Li | -0,0739 | 0,0001 | 0,8198 |
| K | -0,0406 | 0,0000 | 0,9098 |
| Cr | 0,9379 | -0,0006 | -0,0094 |
| Fe | -0,0004 | 0,0132 | -10,0000 |
| Ag | 0,0000 | 0,8196 | -0,0488 |

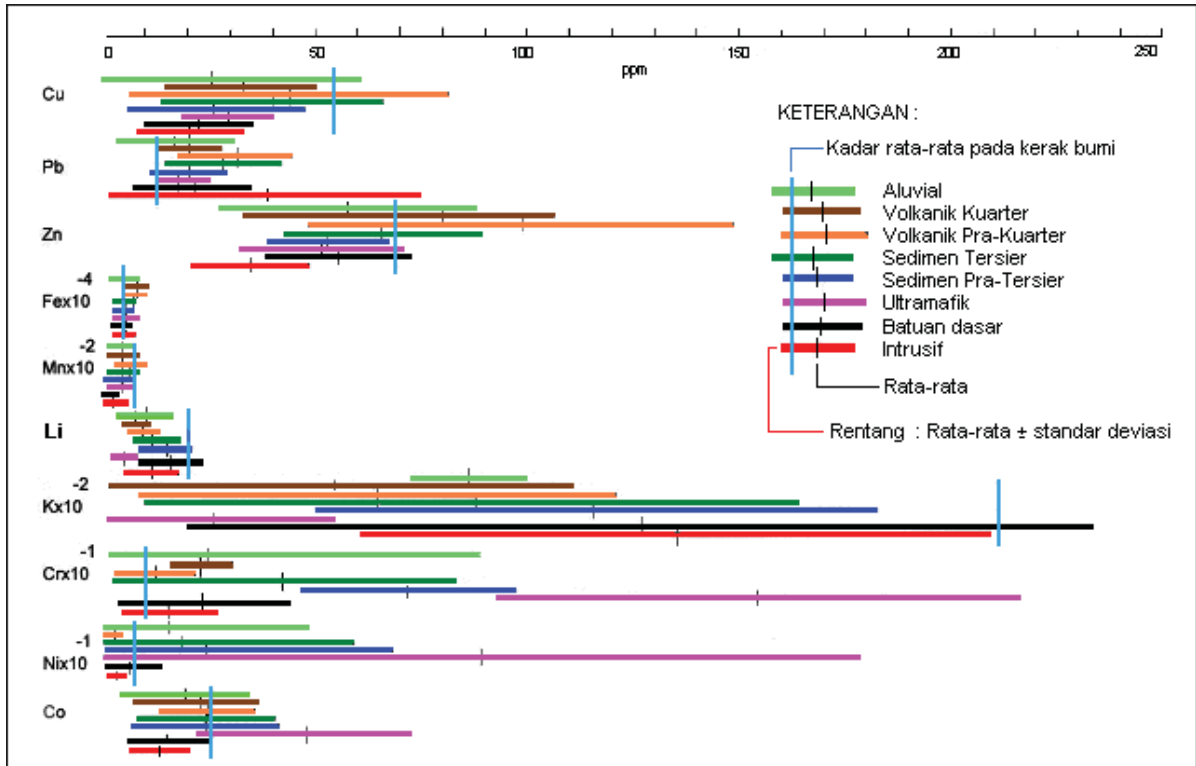
2. Faktor 2 : Cu-Pb-Zn-Ag
3. Faktor 3 : Li-K

Kelompok Li-K dan Ni-Co-Cr merupakan populasi percontoh akibat kontrol litologi. Faktor 1 menunjukkan daerah basa dan ultrabasa. Faktor 2 merupakan kelompok unsur yang terkait dengan potensi daerah mineralisasi sulfida. Sedangkan Faktor 3, Li-K merupakan populasi penentuan lokasi dan sebaran batuan granitik.

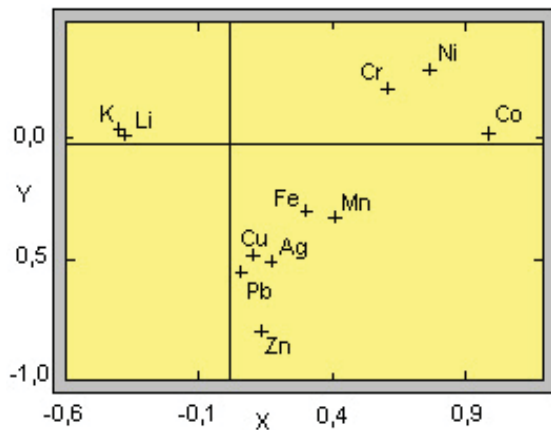
Hubungan Sebaran Unsur dan Litologi

Analisis statistik sebaran unsur tiap kelompok litologi dilakukan dengan menyederhanakan seluruh peta geologi Sulawesi bagian utara skala 1 : 250.000 menjadi 8 kelompok litologi (Gambar 7) sebagai berikut:

1. Batuan terobosan
2. Batuan basa-ultrabasa
3. Batuan malihan



Gambar 5. Rata-rata kandungan unsur dan rentang dalam kelompok batuan.



Gambar 6. Diagram R-mode NLM.

dengan litologi penyusunnya, dan analisis statistik ditentukan untuk masing-masing kelompok. Nilai kandungan unsur yang lebih kecil atau sama dengan batas deteksi tidak disertakan. Variasi kandungan unsur percontoh endapan sungai aktif dengan litologi dimana percontoh diambil diperlihatkan pada Gambar 5. Harga outlier tidak dikeluarkan, sehingga kisaran beberapa unsur terlihat besar. Nilai kandungan unsur percontoh endapan sungai aktif -80 mesh di atas harga rata-rata kerak bumi dapat menjadi pertimbangan dalam menentukan daerah prospek mineralisasi.

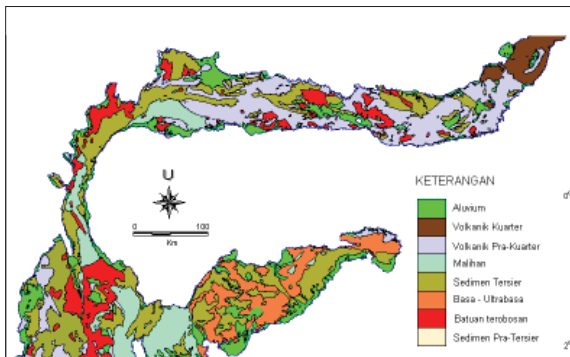
PEMBAHASAN

Mandala Geokimia

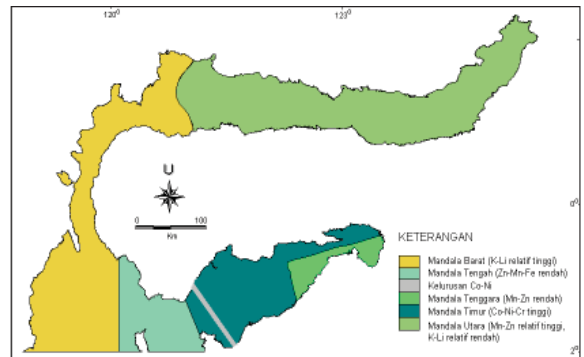
Geokimia regional endapan sungai menunjukkan adanya beberapa pola sebaran unsur mineral di Sulawesi bagian utara yang dapat dikelompokkan ke dalam lima mandala geokimia. Mandala Barat terdapat di bagian barat pulau, Mandala Tengah di sekitar Daerah Poso, Mandala Timur di Daerah

4. Batuan endapan Pra-Tersier
5. Batuan endapan Tersier
6. Batuan gunung api Pra-Kuarter
7. Batuan gunung api Kuarter
8. Aluvial

Data sebaran unsur percontoh endapan sungai aktif -80 mesh dibagi menjadi 8 kelompok sesuai



Gambar 7. Peta geologi (Suprpto dan Ramli, 2001).



Gambar 8. Peta mandala geokimia Sulawesi Bagian Utara.

Batui-Luwuk, Mandala utara pada Daerah Tilamuta melanjut ke Daerah Manado, Mandala tenggara pada Daerah Batui-Balantak (Gambar 8). Mandala-mandala tersebut sangat terkait dengan komposisi batuan di bawahnya. Asosiasi unsur Ni-CO-Cr mencirikan Mandala Timur, kadar rendah sebaran unsur Mn, Zn, dan Fe mencirikan Mandala Tengah, sedangkan harga unsur K dan Li yang relatif lebih tinggi terdapat pada Mandala Barat, kandungan K, Li rendah, Mn, Zn tinggi mencirikan mandala utara, kandungan Mn dan Zn rendah mencirikan mandala tenggara.

Daerah Geokimia

Daerah-daerah geokimia dengan nilai K dan/atau Li meninggi yang merupakan anomali, mencirikan adanya granitoid di Mandala Barat (Gambar 1 dan 8), seperti batolit Lompopana di antara Pasangkayu - Poso.

Daerah dengan anomali berupa peninggian unsur Cu, Pb, Zn, Ag, Mn, dan Fe pada Mandala Barat dan Utara muncul di beberapa lokasi, sebagian terdapat bersamaan dengan mineralisasi sulfida (Gambar 2A). Anomali pada daerah lainnya dapat ditafsirkan juga sebagai cerminan adanya mineralisasi logam. Peninggian kandungan Ni, Cr dan Co di Mandala Timur terdapat pada daerah dengan batuan jenis ofiolit.

Garis Geokimia

Garis geokimia digambarkan oleh penjajaran unsur-unsur yang bernilai tinggi dalam kimia endapan sungai. Hal ini diyakini berhubungan dengan pola sebaran batuan, intrusi dan struktur khususnya sesar. Garis geokimia di Sulawesi bagian utara hanya tergambar di Tambusisi, berupa penjajaran nilai

tinggi kobal dan nikel berarah barat laut tenggara (Gambar 8).

Pemanfaatan Data Geokimia

Geokimia merupakan cerminan kondisi permukaan maupun bawah permukaan yang dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan awal dalam pengembangan suatu wilayah atau kawasan. Data permukaan tersebut dapat memberikan gambaran komposisi kimia unsur penyusun tanah pelapukan suatu wilayah yang berguna dalam pengembangan sektor pertanian. Sebagai cerminan bawah permukaan dapat juga mengungkap potensi bahan galian dan mineralisasi.

Sebagai data dasar, geokimia sebaran unsur percontoh endapan sungai aktif -80 mesh dapat dipergunakan untuk beberapa keperluan, di antaranya pada kegiatan eksplorasi awal sebagai indikator adanya mineralisasi logam. Aspek lingkungan geokimia dan data sebaran unsur dapat digunakan sebagai penentuan kondisi rona awal dan akhir, terutama pada lingkungan wilayah pertambangan.

Geokimia Sulawesi bagian utara memberikan beberapa gambaran tentang kondisi geologi yang melatarbelakangi lingkungan geokimianya. Sebaran unsur kimia dapat mencerminkan batuan penyusunnya. Daerah mineralisasi logam memberikan nilai kandungan unsur tinggi, seperti di Daerah Paleleh, Gunung Pani, Malala, Soni, Sumalata, Palu timur, Likupang, dan Ratatotok. Selain akibat adanya mineralisasi nilai anomali juga diperkuat oleh adanya kegiatan pertambangan.

Sebagai salah satu dari beberapa metode pada eksplorasi endapan logam primer, metode geokimia endapan sungai aktif selalu digunakan. Biaya

penyelidikan geokimia relatif murah, data yang dihasilkan memberikan isyarat tentang keterdapatannya endapan logam dengan tingkat kepastian tinggi, dan dapat mengungkap keberadaan bahan galian yang sudah tersingkap maupun masih berada di bawah permukaan, serta berada jauh di bagian hulu dari lokasi pengambilan percontoh.

KESIMPULAN

Geokimia percontoh endapan sungai aktif -80 mesh daerah Sulawesi bagian utara dengan analisis kandungan unsur Ag, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mn, Ni, Pb, dan Zn dapat memberikan gambaran tentang kondisi geologi, mineralisasi maupun lingkungan. Analisis kimia percontoh endapan sungai dapat juga digunakan untuk mengungkap kondisi geokimia di daerah aliran sungai di bagian hulu dari percontoh diambil, baik kondisi permukaan maupun bawah permukaan.

Hasil analisis statistik (analisis korelasi, pemetaan *non-linear R-mode*, dan analisis faktor) terhadap 4.681 percontoh menyimpulkan bahwa terjadi pengelompokan kekerabatan unsur percontoh endapan sungai aktif yang erat hubungannya dengan jenis litologi sebagai induknya (*parent rock*).

Berdasarkan data yang telah ada, khususnya mineralisasi logam, terdapat kesesuaian antara anomali geokimia dengan keberadaan cebakan logam. Korelasi dapat dilakukan dengan anomali yang lain dimana tanpa disertai data mineralisasi logam, diharapkan juga merupakan cerminan adanya bentukan cebakan logam.

Kondisi geologi daerah setempat tercermin juga pada pola sebaran unsur. Mandala geokimia dapat menggambarkan mandala geologi Sulawesi apabila

didukung oleh analisis unsur lebih lengkap, dengan hasil yang lebih rinci dan menyeluruh.

Data geokimia regional selain sebagai data awal dalam menentukan keberadaan mineralisasi logam, juga dapat digunakan untuk aspek lingkungan yang memberikan gambaran tentang rona awal suatu wilayah sebelum dan pada saat terdapat kegiatan usaha pertambangan.

Ucapan Terima Kasih—Terima kasih penulis sampaikan kepada Y. Rizal Ramli dan Unen Oman yang telah banyak membantu dalam proses digitasi. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Sutrisno, M.Sc., Ir. Danny Z. Herman, M.Sc., dan Dr. Hermes Panggabean atas saran dan koreksinya.

ACUAN

- Henley, S., 1976. An R-mode non linear mapping technique. *Computer and Geosciences*, 1, h.247-254.
- Sinclair, A.J., 1976. Application of Probability Graphs in Mineral Exploration. *Association of Exploration Geochemists*, Rexdale, Ontario.
- Suprpto, J.S. dan Ramli, Y.R., 2001. *Atlas Geokimia Sulawesi Bagian Utara*, Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral, Bandung.
- Turner, S.J, Findell, P.A., Hendri, D., Hardjana, I., Lauricella, P.F., Lindsay, R.P., Marpaung, B, dan White, G.P., 1994. Sediment-hosted mineralization in the Ratatotok District, North Sulawesi, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50, h.317-336.
- Van Leeuwen, T.M., 1994. 25 Years of Mineral Exploration and Discovery in Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50, h.13-90.
- Van Leeuwen, T.M., Taylor, R., Coote, A., dan Longstaffe, F.J., 1994. Porphyry Molybdenum Mineralization in a Continental Collision Setting at Malala, Northwest Sulawesi, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50, h.279-315.