



Jurnal Ilmu Kebumihan

# Teknologi Mineral

ISSN 0854 - 2554

Volume 23 Nomor 3, September-Desember 2010

Perencanaan dan Evaluasi Electric Submersible Pump Untuk Mendapatkan Laju  
Produksi yang Optimum

Measurement of Attenuation Coefficient of Near Surface Material Using SASW Method

Prediksi kinerja sumur injeksi uap "huff & puff" dengan metode analitik dan simulasi

Laboratorium study on oil based mud for field East Kalimantan

Pemetaan Sebaran Unsur pb Menggunakan Pendekatan Matematis  
(Studi Kasus di Blok Mandagang-Muara Sipongi, Sumatera Utara)

Stratigrafi dan Perkembangan Tektonik Lembah Cimandiri Pelabuhan Ratu Sukabumi,  
Jawa Barat.

Metode Pembelajaran Interaktif-Efektif pada Matakuliah Paleontologi

Kontrol Struktur Geologi Terhadap Penyebaran Lapisan Batubara  
di Daerah Binungan Blok 1-4

Peramalan Kinerja Reservoar Gas "X" dengan Mekanisme Pendorong Air

Alterasi akibat proses hidrotermal didaerah Kulon Progo dan sekitarnya,  
daerah Istimewa Yogyakarta

Kontribusi penggunaan pupuk untuk pertanian terhadap kualitas air sungai Bedog  
ditinjau pengetahuan, sikap dan pemupukan di Kabupaten Bantul

Jurnal Ilmu Kebumihan  
**Teknologi Mineral**

Daftar Isi

<b>Perencanaan dan Evaluasi Electric Submergible Pump Untuk Mendapatkan Laju Produksi yang Optimum</b> Ir. Avianto Kabul. Pratiknyo., MT, M. Th. Kristiati. EA, ST, MT Suryo Adi Putranto.....	1
<b>Measurement of Attenuation Coefficient of Near Surface Material Using SASW Method</b> Suharsono.....	12
<b>Prediksi kinerja sumur injeksi uap "huff &amp; puff" dengan metode analitik dan simulasi</b> Wirawan Widya Mandala.....	17
<b>Laboratorium study on oil based mud for field East Kalimantan</b> KRT. Nur Suhascaryo, MT., DR.....	29
<b>Pemetaan Sebaran Unsur pb Menggunakan Pendekatan Matematis (Studi Kasus di Blok Mandagang-Muara Sipongi, Sumatera Utara)</b> Nurkhamim.....	35
<b>Stratigrafi dan Perkembangan Tektonik Lembah Cimandiri Pelabuhan Ratu Sukabumi, Jawa Barat.</b> Pontjomojono Kundanurdoro.....	43
<b>Metode Pembelajaran Interaktif-Efektif pada Matakuliah Paleontologi</b> Premonowati.....	49
<b>Kontrol Struktur Geologi Terhadap Penyebaran Lapisan Batubara di Daerah Binungan Blok 1-4</b> Achmad Rodhi Sugeng Raharjo.....	54
<b>Peramalan Kinerja Reservoir Gas "X" dengan Mekanisme Pendorong Air</b> Sunindyo, M. Th. Kristiati. EA, Ollybinar R.....	60
<b>Alterasi akibat proses hidrotermal didaerah Kulon Progo dan sekitarnya, Daerah Istimewa Yogyakarta</b> Agus Harjanto.....	69
<b>Kontribusi penggunaan pupuk untuk pertanian terhadap kualitas air sungai Bedog ditinjau pengetahuan, sikap dan pemupukan di Kabupaten Bantul</b> Bambang Kuncoro Kartiko Kusumo.....	82

## Pemetaan Sebaran Unsur Pb Menggunakan Pendekatan Matematis (Studi Kasus di Blok Mandagang-Muara Sipongi, Sumatera Utara)

Nurkhamim

Jurusan Teknik Pertambangan FTM UPN “Veteran” Yogyakarta

Jl. Swk 104 condong catur, yogyakarta, E-mail : [n\\_khamimy@yahoo.com](mailto:n_khamimy@yahoo.com)

### Abstrak

Salah suatu kegiatan prospeksi bijih untuk melacak keberadaan daerah yang berpotensi dapat dilakukan dengan kegiatan pengambilan contoh (sample) serta pemetaan sebaran unsur-unsur logamnya. Hanya saja, penentuan dan pembatasan daerah anomali tidak selalu semudah yang diperkirakan.

Distribusi sebaran suatu unsur di alam dapat dilacak dan dipetakan dengan menggunakan pendekatan statistika-matematis. Pada penelitian ini, model statistik-matematis dimaksudkan untuk membantu menentukan sekaligus membatasi lokasi-lokasi yang berpotensi menghasilkan anomali.

Pengolahan data dilakukan dengan mendiskripsikan suatu variasi sistematis dari suatu variabel atau sekelompok variabel dengan menggunakan persamaan matematis. Karena unsur logam yang diteliti (contoh) diambil dari permukaan bumi yang merupakan model sebuah bidang, maka persamaan matematis dengan regresi polinomial variabel bebas arah  $x_1$  dan  $x_2$  dapat digunakan.

Persamaan regresi digunakan untuk membedakan variabel spasial data ke dalam dua komponen, yaitu fungsi trend atau fitting (sebagai anomali regional) dan nilai residu (sebagai anomali lokal). Kesulitan dalam interpretasi data akibat ketidakteraturan distribusi data dari suatu penyelidikan dapat dikurangi dengan persamaan-persamaan ini. Untuk mendapatkan model fitting yang mendekati bentuk sebaran unsur Pb yang sebenarnya, regresi polinomial mampu mengikuti perubahan pola fluktuasi nilai data (kadar unsur Pb) hingga orde ke- $n$ .

Uji statistik dilakukan untuk menentukan nilai latar (background), nilai ambang (threshold) dan nilai anomali (anomaly), juga untuk mengetahui tingkat keyakinan dan signifikansi persamaan fungsi regresi yang digunakan. Hasil uji statistik menghasilkan persamaan fungsi regresi polinomial sampai orde-3 untuk unsur Pb. Hasil pengolahan data dan interpretasi anomali, diperoleh sebaran logam Pb seluas 2.389 Ha dalam bentuk anomali regional dan 614 Ha berupa anomali lokal, yang terletak pada posisi 61.000mN – 63.000mN (Lintang Utara) dan 595.000mE – 599.000mE (Bujur Timur).

Kata kunci : Regresi polinomial, variabel bebas, fungsi trend, nilai residu

### Abstract

On the ore prospecting, for searching potential area, firstly with make sampling and then mapping ore elements

There are many methods for mapping element distribution in the earth. Mathematical models as a part of methods for localising element distribution, so give acceleration and solution of works, specially in exploration and prospect works on large area.

Mathematical model is a mathematical data processing to describe a systematic variation of variables, or group of variables, in a plane using polynomial regression equation.

The polynomial regression applied to divide spatial variable data in two components, i.e. function trend or fitting (as regional anomaly) and residual component (as local anomaly). The problems in data interpretation as an effect of irregular data distribution can be reduced by using mathematical function polynomial regression. The advantage polynomial regression was competent for fitting any fluctuation data (grade Cu) until  $n$ -order.

Following is to proceed with statistical test to define degree of suitable and significance for the used polynomial function. The result of this research shown that 3<sup>rd</sup>-order polynomial function for Pb. The result of data processing and data interpretation have 2.389 Ha regional anomaly of Pb and 614 ha local anomaly. The prospect zone at 61.000mN – 63.000mN and 595.000mE – 599.000mE.

Key words : polynomial regression , independent variable, trend function, grade residual

### PENDAHULUAN

Distribusi suatu unsur secara lateral (bidang) dapat digambarkan dengan suatu persamaan fungsi polinomial atau *trend*, dimana titik-titik yang tidak diketahui dapat diprediksi nilainya. Interpretasi terhadap pola kontur *trend surface* (anomali regional) dan *residual*-nya (deviasi / anomali lokal) dapat digunakan untuk memprediksi nilai anomali maupun luas sebarannya.

Berdasarkan genesanya, diyakini ada korelasi positif antara nilai residual positif (anomali) unsur Pb dasar dan unsur-unsur asosiasinya, yang menunjang dalam memprediksi daerah target, disamping tambahan data-data geologi yang mendukung. Dari hasil perhitungan nilai residu positif, daerah sebarannya, kemudian dipadukan dengan kondisi geologi dan karakteristik beberapa unsur asosiasi, akan dapat diperoleh hubungan dan gambaran yang lebih jelas dalam rangka penciptaan daerah penelitian.

Suatu pendekatan matematis dipakai untuk menentukan anomali lokal (implementasi dari nilai residual) sebagai target dengan mencoba memilah antara *trend* regional dengan anomali local, serta signifikansi pola-pola *trend* unsur Pb dan unsur asosiasinya.

Pengumpulan data dimulai dengan melakukan kajian dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya meliputi data-data geologi dan peta sungai. Data dari lapangan diperoleh dari sampling tanah atau batuan, meliputi data nomer conto (*sample*) dan koordinat, selanjutnya nilai kadar masing-masing conto diambil dari hasil analisa laboratorium. Dari data yang diperoleh kemudian dibuat suatu basis data (*data base*).

Analisa statistik dilakukan terhadap masing-masing unsur logam yang ditemukan, baik unsur utama, unsur asosiasi maupun unsur runtu (*pathfinder*). Parameter yang dihitung adalah : mean, median, standar deviasi dan koefisien variansi (*coefficient of variance*). Perhitungan statistic diperlukan untuk membuat batasan antara nilai latar (*background*), nilai ambang (*threshold*) dan nilai anomali. Pengujian *goodness of fit*, koefisien korelasi (*coefficient of correlation*) dan signifikansi (*significance test*) juga dilakukan untuk verifikasi, apakah formulasi persamaan regresi polinomial orde-*n* yang digunakan memenuhi syarat.

Hasil dari pengolahan data, analisa data dan interpretasi diharapkan dapat untuk mengetahui kecenderungan sebaran unsur Pb (*trend regional*) dan anomali (*trend lokal*) untuk menemukan dan membatasi / mempersempit daerah sasaran, juga mengetahui sejauh mana korelasi antara data geologi, sifat mobilitas unsur dan interpretasi dari orde fungsi polinomial yang digunakan. Hasil akhir dari penelitian ini adalah untuk memberikan rekomendasi kegiatan eksplorasi selanjutnya dalam rangka menentukan daerah sasaran dan menemukan endapan mineral yang dicari.

## GEOLOGI UMUM DAN TEKTONIK

Pulau Sumatera merupakan bagian tepi dari kerak benua Sunda, yang terdiri dari endapan busur magmatik kalk-alkalin vulkanik yang berumur Tersier sampai Resen. Akibat tumbukan miring dari kerak samudera menghasilkan sistem patahan Sumatera yang masih aktif sampai sekarang, termasuk sesar mayor geser kanan. Busur magmatik berkembang pada bagian tengah dan barat yang berumur Tersier-Kwarter, dan bagian timur merupakan cekungan belakang busur dengan sedimen tebal yang berumur Tersier sampai Kwarter. Pada bagian barat berkembang sekuen pra Tersier yang terpecah-pecah dengan arah baratlaut-tenggara masih termasuk dalam sistem patahan mayor Sumatera. Banyak dari patahan terjadi akibat adanya pergerakan dan reaktif kembali dari sistem patahan Sumatera, dalam hal ini ditafsirkan sebagai tumbukan dalam yang berhubungan dengan struktur tepi benua (*deep-*

*seated subduction related continental margin structures*)

Daerah penelitian merupakan mantel dari pegunungan Bukit Barisan, yang terletak antara graben Rao-Panti dan Panyabungan-Siabu. Daerah ini merupakan perpotongan patahan besar yang berarah Barat Laut – Tenggara dan Timur Laut – Barat Daya, menghasilkan posisi batuan dengan litologi sekitarnya berbeda. Di daerah blok Mandagang-Muarasipongi umumnya terdiri dari metasedimen, metavulkanik dan sedimen, serta intrusi Tersier.

## Geologi Lokal

Batuan dasar dari daerah penelitian merupakan batuan metasedimen batugamping termalihkan yang berumur Prem, termasuk grup Woyla dari formasi Silungkang. Secara tidak selaras di atasnya diendapkan batuan metamorf dari formasi Muarasoma, yang berumur Jura Akhir-Kapur Awal dan batuan ultra basa dari formasi Woyla yang berumur Jura Akhir-Kapur. Di atas formasi ini secara tidak selaras diendapkan batuan sedimen Sihayo yang berumur Oligosen dan batuan vulkanik yang berumur Miosen, yang terdiri dari satuan andesit Mandagang, Satuan andesit Tambang Hitam dan satuan andesit Parlampungan.

Struktur geologi yang berkembang di daerah ini adalah patahan-patahan besar maupun kecil yang saling memotong hapir tegak lurus. Struktur patahan berarah barat laut – tenggara memotong dan membatasi dengan jelas antara batuan sedimen, metasedimen, vulkanik di bagian utara daerah penelitian dengan batuan granit-granitoid-diorit-andesit di bagian selatan. Pada umumnya daerah patahan dan perpotongan antar patahan berpeluang besar untuk ditemukan endapan mineral.

## Mineralisasi

Mineralisasi di daerah penelitian berhubungan erat dengan terobosan batuan batolit granit dan intrusi tersier yang menghasilkan mineralisasi skarn dan Cu-Pb-Au-Mo porfiri. Mineralisasi Cu-Pb-Au-Mo porfiri berhubungan dengan intrusi Tersier berupa kwarsa latit porfir dan felspar diorit porfir. Mineralisasi umumnya mengikuti *splays* dari patahan Sumatera, berbentuk lensa-lensa.

## GEOKIMIA UNSUR

Geokimia secara sederhana diartikan sebagai suatu kajian tentang kimia bumi dan komponen-komponen penyusunnya (Reedman, 1979). Geokimia murni mempelajari tentang kelimpahan unsur-unsur dan isotop-isotop di dalam bumi, juga mempelajari distribusi dan migrasi dari bermacam-macam unsur pada batuan, tanah, air, udara dan sebagainya.

Di dalam studi geokimia (khususnya geokimia tanah dan batuan), ada dua hal penting yang harus dikuasai, yaitu : pertama pengetahuan tentang unsur utama dan unsur asosiasi dan kedua tentang analisa-analisa

statistik, terutama untuk menghitung nilai latar (*background*), nilai ambang (*threshold*) dan nilai anomali.

**Unsur Utama dan Unsur Asosiasi**

Unsur-unsur mineral dalam eksplorasi geokimia umumnya dibagi dalam dua kelompok, yaitu unsur utama (*major component*) dan unsur asosiasi (*pathfinder*). Pengetahuan tentang unsur utama dan unsur asosiasi ini penting untuk mencari unsur logam utama apabila hanya dijumpai unsur asosiasinya saja. Tabel 1 menyajikan beberapa tipe endapan logam sebagai unsur utama dan unsur asosiasinya.

Tabel 1. Unsur utama dan unsur asosiasi (*pathfinder*) pada beberapa tipe endapan bijih (Beus & Gregorian, 1977, Rose, Hawkes & Webb, 1979, Moon, 1995).

Tipe endapan	Unsur Utama	Unsur asosiasi
Endapan hidrotermal :		
Cu-porfiri	Cu, S	Mo, Au, Ag, Re, As, Pb, Zn, K, Au, Ag
Skarn-Cu	Cu, Fe, S	Co
Skarn Pb-Zn	Pb, Zn, S	Ag, Au, As, Sb, Mn
Vein logam dasar	Cu, Pb, Zn, S	Cu, Pb, Zn, Ag, Sb
Epithermal precious metal	Au, Ag	Ag, As, S
Cu dalam basal	Cu	Zn, Au
Sulfida-masif vul. Cu	Cu, S	Ag, Ba, Au, As
Sulfida-masif vul. Cu-Pb-Zn	Zn, Pb, Cu, S	Sb

**Nilai Latar, Nilai Ambang dan Anomali**

Nilai latar (*background*) adalah nilai unsur yang dipengaruhi oleh batuan sumbernya (*host rock*). Pada unsur yang sama dapat mempunyai nilai latar yang berbeda-beda tergantung dari batuan sumbernya. Nilai ambang (*threshold*), adalah batas teratas dari nilai latar latar.

Anomali adalah suatu penyimpangan dari nilai latar atau nilai normal, termasuk juga di dalamnya penyimpangan yang lebih kecil (negatif). Pada

$$f(x_1, x_2) = f(0,0) + \left[ \frac{\partial f}{\partial x_1} \right]_{x_1=0} x_1 + \left[ \frac{\partial f}{\partial x_2} \right]_{x_2=0} x_2 + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} \right]_{x_1=0} x_1^2 + \left[ \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} \right]_{x_1=0, x_2=0} x_1 x_2 + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} \right]_{x_2=0} x_2^2 + \dots$$

Pada fungsi regresi polinomial, didasarkan asumsi bahwa fungsi  $f(x_1, x_2)$  ada dan dapat diperkirakan dengan suatu garis sebagaimana ditunjukkan pada persamaan-persamaan sebelumnya. Karena bila  $f$  tidak diketahui, nilai koefisien-koefisiennya tidak dapat ditentukan dengan deferensiasi parsial. Untuk itu digunakan analisa *multiple regression*.

pengolahan data dengan menggunakan regresi polinomial, anomali residual positif umumnya menjadi fokus pengamatan yang utama.

**METODE REGRESI**

**Persamaan Fungsi Regresi Polinomial**

Variasi sistematis suatu variabel atau sekelompok variabel dalam suatu garis, bidang atau ruang dapat dipecahkan dengan suatu regresi berganda (*multiple regression*). Metode ini dikenal sebagai *trend analysis*. Karena titik-titik conto dari hasil pengukuran dan analisa unsur yang merupakan variabel tak bebas ( $x_1$  dan  $x_2$ ) terdistribusi dalam suatu bidang (*map area*), maka persamaan ini sering dikenal juga sebagai *trend surface analysis*.

Persamaan suatu fungsi polinomial dapat digunakan untuk membedakan variabel spasial dari suatu variabel geologi ke dalam dua atau lebih komponen-komponennya. Salah satu komponen tersebut hadir dalam bentuk *trend*, bila diwujudkan dalam bentuk perubahan sistematis nilai rata-rata atau ekspektasi matematik suatu variabel di daerah penelitian.

Suatu variasi kondisi geologi sepanjang suatu garis

$$f(x) = f(0) + \left[ \frac{df}{dx} \right]_{x=0} x + \frac{1}{2} \left[ \frac{d^2f}{dx^2} \right]_{x=0} x^2 + \dots$$

yang dinyatakan sebagai sumbu- $x$ , dapat dinyatakan sebagai suatu fungsi yang kontinyu  $f(x)$ . Pengembangan deret Taylor fungsi  $f(x)$  pada suatu titik  $x = a$ , memenuhi :

$$f(x) = c_0 + c_1(x-a) + c_2(x-a)^2 + \dots$$

dimana koefisien  $c_i$  dapat dihitung. Perubahan dari nilai awal sepanjang sumbu- $x$  terhadap suatu titik dekat pusat pada *range* nilai  $x$ , maka nilainya dapat ditentukan. Pengembangan nilai yang baru dapat menggunakan persamaan Maclaurin :

Fungsi  $f(x)$  dapat didekati (*fitted*) dengan suatu garis tak hingga, *fitting* ini akan menghasilkan nilai yang optimum.

Bila  $f(x_1, x_2)$  mewakili fungsi dua dimensi untuk masing-masing nilai  $x_1$  dan  $x_2$ , maka :

Suatu pengamatan  $y$ , dapat dianggap sebagai fungsi linier dari konstanta  $b_0$  yang berhubungan dengan rerata (*mean*) dari pengamatan, komponen koordinat timur-barat ( $b_1$ ) dan komponen koordinat utara selatan ( $b_2$ ). Persamaan fungsi  $y$  dapat dinyatakan sebagai :

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

Untuk dapat menentukan nilai konstanta  $b_0, b_1$ , dan  $b_2$  dibuat persamaan normal sebagai berikut :

kuartik, demikian seterusnya. Persamaan regresi polinomial untuk tiap-tiap orde secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut (Davis, 1986)

Untuk polinomial orde- $n$ , persamaan selanjutnya menyesuaikan dengan nilai pangkat variabel  $x_1$  dan  $x_2$ . Nilai  $e$  ya muncul pada persamaan di atas adalah *error*, sebagai hasil *fitting* fungsi yang dihasilkan dan dikenal sebagai nilai sisa atau residu.

$$\begin{aligned} \sum y &= b_0 n + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 \\ \sum x_1 y &= b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 \\ \sum x_2 y &= b_0 \sum x_2 + b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2^2 \end{aligned}$$

Bentuk matriks persamaan di atas adalah :

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_1 & \sum x_2 \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_1 x_2 \\ \sum x_2 & \sum x_1 x_2 & \sum x_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum x_1 y \\ \sum x_2 y \end{bmatrix}$$

$$\hat{y} = b_0 + (b_1 x_1 + b_2 x_2) + e \dots \dots \dots \text{linier}$$

$$\hat{y} = b_0 + (b_1 x_1 + b_2 x_2) + (b_3 x_1^2 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_2^2) + e \dots \text{kuadratik}$$

$$\hat{y} = b_0 + (b_1 x_1 + b_2 x_2) + (b_3 x_1^2 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_2^2) +$$

$$(b_6 x_1^3 + b_7 x_1^2 x_2 + b_8 x_1 x_2^2 + b_9 x_2^3) + e \dots \dots \dots \text{kubik}$$

Apabila digunakan eliminasi Gauss, maka nilai konstanta  $b_0$ ,  $b_1$ , dan  $b_2$  dapat dicari sehingga nilai  $y$  dapat ditentukan. Nilai  $y$  adalah fungsi polinomial dari *trend* yang diperoleh.

Pada umumnya regresi polinomial hasil pengolahan data geokimia unsur logam tidak linier, hal ini disebabkan oleh sifat dispersi unsur-unsur logam yang relatif kompleks, sehingga diperlukan persamaan regresi polinomial yang lebih tinggi, dalam hal ini disebut sebagai orde ke- $n$ .

Nama orde polinomial ditentukan dari nilai pangkat variabel independen ( $x_1, x_2$ ). Polinomial orde-1 disebut sebagai persamaan linier, orde-2 persamaan kuadratik, orde-3 persamaan kubik, orde-4 persamaan

**Nilai Residu**

Nilai residu (*residual*) atau nilai sisa, disebut juga deviasi (*deviation*), adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan perbedaan atau selisih nilai data hasil pengamatan (data sebenarnya) dengan nilai *fitting trend* dari suatu model (Petters 1987, Chatfield 1995).

Hubungan antara nilai residu dengan data observasi dan hasil *fitting* dinyatakan sebagai : data = *fit* + nilai sisa ( $e$ ) atau :

$$y = y + e$$

Nilai residu bisa positif atau negatif. Disebut positif apabila nilai residu tersebut berada di atas nilai fungsi *trend* hasil *fitting* dan disebut negatif bila sebaliknya. Nilai residu positif adalah yang terpenting (Pride & Hasenohr, 1983).

Bentuk permukaan persamaan regresi polinomial orde-1 (*linier*), merupakan bidang datar, persamaan orde-2 (kuadratik) berupa lipatan dengan satu sumbu (*saddle*) atau parabola. Orde-3 dan seterusnya menghasilkan bentuk-bentuk yang semakin kompleks

Seperti halnya pada *trend*, hasil olahan data nilai residu ditampilkan dalam bentuk kontur residu. Kutup atau puncak kontur yang bernilai positif kemudian dikompilasikan secara penampalan (*overlay*) dengan kontur *trend*. Kesesuaian peta kontur residu (positif) dengan peta kontur *trend* umumnya akan muncul pada persamaan polinomial orde tertentu, yang menunjukkan kompleksitas letak sebaran unsur logam. Bentuk dan luas daerah anomali ditentukan dari bentuk dan luas kontur residu yang bernilai positif.

**Pengujian Orde Regresi Polinomial**

Pengujian hasil analisa data dengan regresi polinomial dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar hasil olahan tersebut dapat dipertanggungjawabkan, serta membatasi (*cut-off*) sampai orde ke berapa proses analisa dapat dihentikan.

Pembatasan analisa regresi sampai orde- $n$  dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Rekonstruksi peta kontur *trend* dari beberapa orde fungsi polinomial yang berbeda. Apabila peningkatan orde fungsi polinomialnya tidak menampakkan perubahan pola kontur *trend* yang signifikan, maka proses analisa kemungkinan dihentikan sampai batas orde tersebut.
- Apabila pola konvergen dari kontur *trend* dan kontur residu dapat dengan mudah di kompilasi dengan baik (cocok), pada umumnya orde fungsi polinomial telah sesuai.
- Pengujian secara statistik dengan *goodness of fit* ( $R^2$ ), koefisien korelasi ( $R$ ) dan uji signifikansi (*significance test* atau *F-test*).

$$\text{Persentasi goodness of fit} = 100\% \times R^2 = \frac{SS_R}{SS_T}$$

Nilai *Goodness of fit* ( $R^2$ ) dan koefisien korelasi ( $R$ ) dihitung dari perbandingan nilai variasi total *sum of square* ( $SS_T$ ) variabel tak bebas (nilai  $y$  atau hasil observasi) dengan *sum of square* regresi polinomial ( $SS_D$ ).

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \\ SS_R &= \sum \hat{y}^2 - \frac{(\sum \hat{y})^2}{n} \end{aligned}$$

$$\text{Sum of square residu } (SS_D) = SS_T - SS_R$$

$$\text{Koefisien korelasi, } R = R^2$$

Untuk menentukan tingkat signifikan suatu hasil analisa, maka dilakukan *F-test*, yaitu dengan menghitung *sum of square* dari hasil perhitungan regresi polinomial, deviasi (residu) serta menghitung *mean of square* (rerata) dari kedua *sum of square* dibagi dengan derajat kebebasan (*degree of freedom*) *sum of square* regresi polinomial dan deviasi regresinya.

Nilai *F* yang telah didapat selanjutnya diplotkan ke dalam tabel distribusi *F*, pada signifikansi tertentu, biasanya  $F_{(0,90)}$  atau  $F_{(0,95)}$ . Apabila Nilai *F* hasil perhitungan lebih besar daripada nilai *F* hasil pengeplotan menunjukkan hasil sudah signifikan, demikian pula untuk sebaliknya. Nilai *F* untuk selang kepercayaan (*confidence interval*) 95 % dapat dilihat pada Tabel 2. Harga *F* dihitung sebagai :

$$F - \text{test} = \frac{MS_R}{MS_D}$$

Dimana :

$MS_R = \text{mean square}$  regresi polinomial

$MS_D = \text{mean square}$  deviasi polinomial

Derajat kebebasan merupakan nilai variabel bebas dan nilai maksimum absis (*maximum number of extrema*) dari persamaan regresi polinomial. Nilai derajat kebebasan regresi polinomial dinyatakan sebagai :  $1/2 k ( k + 3 )$  dengan *k* adalah orde regresi polinomial.

Pada persentase nilai *goodness of fit* yang tinggi umumnya mengindikasikan kesesuaian orde polinomial. Demikian pula apabila peningkatan orde polinomial tidak menunjukkan perubahan nilai *goodness of fit* yang berarti, maka proses perhitungan dihentikan. Selanjutnya *goodness of fit* yang tinggi juga akan mempunyai nilai koefisien korelasi yang juga tinggi atau mendekati satu. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengolahan *trend surface* untuk orde tersebut secara statistik telah memenuhi syarat.

#### TAHAPAN PENELITIAN

Tahapan penelitian dan pengolahan data, didahului dengan penyusunan basis data (*data base*) berupa kadar unsur logam utama serta unsur asosiasi serta analisa statistik diskriptif untuk menentukan nilai latar,

nilai ambang dan anomali. Selanjutnya pengolahan data dilakukan dengan menentukan persamaan regresi polinomial hingga orde ke-*n*. Validasi persamaan regresi dilakukan dengan analisa *goodness of fit* dan *F-test*.

#### Pembuatan Basis Data

Basis data (*data base*) merupakan informasi kadar conto beserta letak geografisnya. Basis data terdiri dari nomer conto (*sample ID*), koordinat (*easting, northing*) dan kadar masing-masing unsur. Pembuatan basis data menggunakan program excel (\*.xls, \*.txt) atau dbase (\*.dbf) untuk memudahkan transfer data ke program-program komputer lainnya.

#### Penentuan Nilai Latar, Nilai Ambang dan Nilai Anomali

Nilai latar (*background*) dapat diketahui berdasarkan kajian (studi literatur) jenis batuan sumber yang membawa unsure-unsur logam utama maupun asosiasinya. Nilai latar juga merupakan nilai tengah, rata-rata atau 50 % data grafik distribusi kumulatif (Lepeltier, 1969 dan Levinson, 1974). Nilai ambang dan anomali dinyatakan sebagai harga rata-rata ditambah dua kali nilai simpangan baku, atau 95 % data grafik distribusi kumulatif.

Nilai ambang (*threshold*) adalah batas teratas dari nilai latar. Anomali adalah suatu penyimpangan dari nilai latar atau nilai normal (*background*). Kekuatan anomali ditentukan atas dasar kontrasnya, yaitu harga perbandingan anomali itu sendiri terhadap harga rata-rata atau nilai ambang suatu pulasi. Kontras yang tinggi menandakan anomali yang besar.

Beberapa cara untuk menentukan nilai ambang adalah sebagai berikut :

1. Membandingkan data penelitian dengan literatur.
2. Mengambil sejumlah kecil nilai yang terletak pada bagian ekor sebelah atas dari populasi, biasanya 2,5 %.
3. Menghitung dengan rumus nilai rerata ditambah dua atau tiga kali nilai simpangan baku ( $x + 2\sigma$  atau  $x + 3\sigma$ ), dengan syarat, data telah terdistribusi normal atau log-normal.
4. Pengenalan kelompok atau gugus conto yang diperkirakan anomali pada peta konsentrasi.
5. Pengolahan data dengan menggunakan grafik probabilitas kumulatif (lihat Gambar 2).

Setiap nilai (kadar) yang lebih tinggi dari nilai ambang (*threshold*) disebut anomali.. Nilai ambang selanjutnya digunakan untuk membatasi kontur kadar anomali regional dan nilai residu (anomali lokal) hasil pengolahan dengan fungsi regresi.

### Pengolahan Data dengan Analisa Regresi Polinomial

Pengolahan data secara semi manual dikerjakan dengan perhitungan biasa, yaitu menyelesaikan perhitungan regresi polinomial dengan bantuan program Excel. Prosedur olah datanya sebagai berikut :

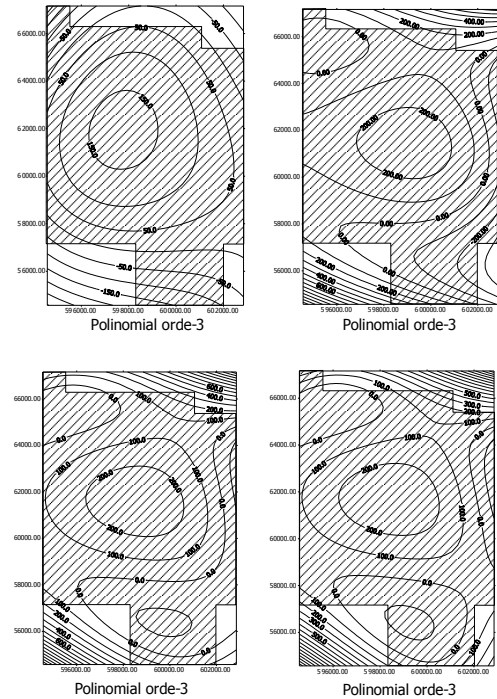
1. Menentukan persamaan regresi polinomial yang akan digunakan orde-1 hingga orde- $n$ .
2. Membuat persamaan normal untuk menyusun persamaan matriks.
3. Input data koordinat ( $x_1$  ; easting,  $x_2$  ; northing) dan data kadar ;  $y$ .
4. Membuat kolom-kolom perhitungan untuk nilai  $y$ ,  $x_1$  dan  $x_2$  beserta nilai pangkat sesuai orde regresi polinomialnya.
5. Menyusun matriks dan invers matriks untuk menentukan nilai konstanta,
6. Membuat persamaan polinomial.
7. Menghitung nilai residu.
8. Membuat kontur *trend* dan kontur nilai residu.
9. Kompilasi peta kontur *trend* dengan peta sungai dan peta geologi untuk menentukan daerah sasaran.

Pengolahan data dan analisa regresi polinomial dapat juga menggunakan program aplikasi Surfer versi 6.2. Prosedur olah datanya adalah sebagai berikut :

1. Input data : nomer conto, easting, northing dan kadar unsur, dengan ekstension : \*.xls, (Excel) atau \*.dbf (dBase).
2. Mengubah data dalam bentuk \*.txt
3. Grid data dari data awal \*.txt.
4. Interpolasi data : memasukkan nilai-nilai easting, northing dan kadar.
5. Menentukan model grid : regresi polinomial sesuai tingkat orde- $n$  polinomial *trend* yang akan digunakan. Demikian juga untuk nilai residunya.
6. Inialisasi hasil grid data dengan \*.grd.
7. Membuat peta kontur *trend* dan kontur residu sesuai orde persamaan polinomialnya.

### Hasil Analisa Fungsi Regresi Polinomial Unsur Pb

Hasil pengolahan data dengan fungsi regresi polinomial berupa peta *trend* yang berfungsi sebagai anomali regional dan peta residu sebagai anomali lokal. Hasil pengolahan unsur Pb terlihat munculnya kecenderungan konvergensi pola kontur *trend*. Nampak jelas mulai dari polinomial orde-3 hingga orde-orde selanjutnya yang lebih tinggi (Gambar 1).



Gambar 1. Peta *trend* anomali regional unsur Pb diolah dengan regresi polinomial orde-3 sampai orde-6

Pola konvergen kontur *trend* Pb mulai muncul pada polinomial orde-3 dan mengarah ke satu zona. Bentuk-bentuk kontur *trend* yang konvergen ini menunjukkan munculnya anomali regional dan kemungkinan besar dapat menunjukkan adanya anomali sebenarnya.

### PEMBAHASAN

Di dalam analisa regresi polinomial, batas nilai latar dan nilai anomali, yang dikenal sebagai nilai ambang (*threshold*) ditentukan dari perhitungan statistic (Tabel 2). Nilai ambang ini diplotkan pada kontur peta *trend*, yang selanjutnya digunakan sebagai batas anomali regional (Gambar 2).

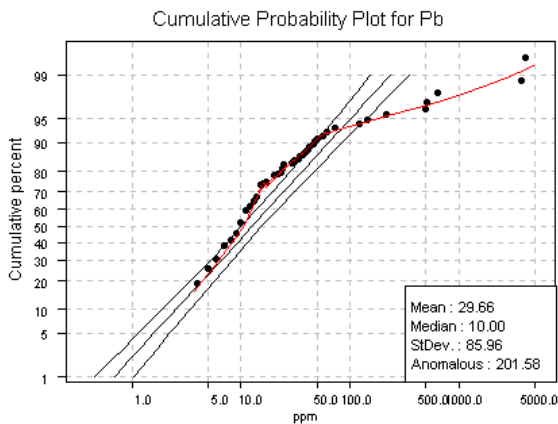
Untuk menentukan anomali lokalnya digunakan batas kontur nilai residu positif, yang terletak di dalam lingkaran anomali regional, yaitu daerah yang dibatasi oleh kontur nilai *trend surface* yang berharga lebih besar dari nilai ambang. Kontur nilai residu yang terletak di dalam daerah anomali regional ini selanjutnya dihitung luasnya (gambar 3).



Tabel 2. Hasil Uji Statistik Unsur Pb dan beberapa Unsur Lain.

Variabel	Rerat a	Nilai tengah	$\sigma$	$X+2\sigma$	$X+3\sigma$
Au	0.12	0.01	0.28	0.67	0.95
Ag	1.72	1.00	2.92	7.56	10.48
Cu	48.30	15.00	117.6	283.50	401.10
<b>Pb</b>	<b>29.66</b>	<b>10.00</b>	<b>85.96</b>	<b>201.58</b>	<b>287.54</b>
Zn	33.98	16.00	67.83	169.64	237.47
Mn	134.8	83.00	168.9	472.60	641.50
As	43.20	15.00	103.7	250.72	354.48
Sb	14.19	4.60	34.60	83.39	117.99
Ba	173.6	80.00	256.4	686.40	942.80
Mo	10.10	4.00	25.54	61.18	86.72

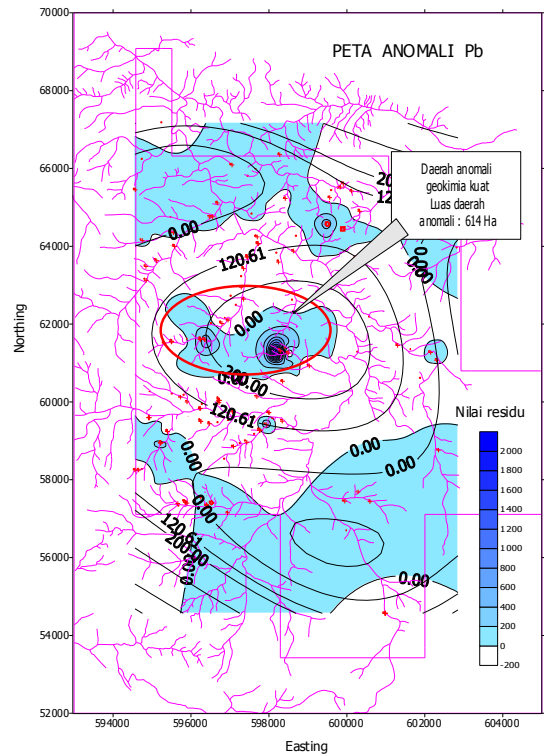
Selanjutnya nilai simpangan baku ( $X+2\sigma$ ) ini dapat dianggap sebagai nilai batas anomaly, seperti pada grafik probabilitas berikut (gambar 2).



Gambar 2. Kurva Probabilitas Kumulatif Unsur Pb

Pengeplotan tumpang susun (*overlay*) peta *trend* (anomaly regional) dengan peta residu (anomaly lokal) merupakan pekerjaan penting pada analisa ini. Peta trend dengan peta residu yang baik haruslah konvergen menuju ke satu titik atau sasaran yang sama, dimana dalam hal ini peta *trend* menjadi korektor peta residu.

Dari pengolahan data diketahui bahwa pada unsur logam Pb mempunyai kecenderungan menghasilkan bentuk kontur *trend* yang konvergen (memusat) pada lokasi-lokasi tertentu. Pola konvergensi ini sudah mulai terjadi pada orde polinomial yang rendah (perhitungan regresi polinomial orde-2 hingga orde yang lebih tinggi). Fenomena ini dapat diartikan bahwa unsur Pb relatif stabil. Pada unsur-unsur yang mempunyai mobilitas lebih tinggi, pola kontur *trend*-nya tidak menunjukkan secara jelas konvergensi konturnya, meskipun orde polinomialnya dinaikkan terus, seperti pada Zn, Mo, dan As.



Gambar 3. Peta Lokasi Anomali Unsur Pb Dari Hasil Ploting Peta Trend dengan Peta Residu (Daerah yang dilingkari mempunyai anomaly Pb yang kuat)

Batas kontur residu positif unsure Pb harus lebih banyak mendapat perhatian dibandingkan dengan batas kontur *trend*. Hal ini dikarenakan kontur residu positif lebih sempit daerah cakupannya, lebih terfokus serta nilai konsentrasi residu positif selalu lebih tinggi dari nilai konsentrasi unsur daerah sekitarnya yang ditunjukkan oleh nilai trend, sehingga probabilitasnya akan lebih besar.

Pada unsur Pb, pengolahan data dengan *trend surface* menghasilkan persamaan regresi polinomial yang optimum pada orde-5 (Tabel 3), dengan *goodness of fit* ( $R^2$ ) sebesar 18,99 % dan koefisien korelasi ( $R$ ) sebesar 0,44 untuk selang kepercayaan 95 %.

Nilai  $R^2$  dan  $R$  yang relatif kecil ini menunjukkan kompleksitas sebaran unsur Pb yang cukup tinggi. Akibatnya, meskipun orde persamaan regresi polinomialnya dinaikkan terus, tidak akan mampu mendekati (*meng-fitting*) sebaran data sesungguhnya. Sebab lain mengapa nilai *goodness of fit* dan koefisien korelasi ( $R$ ) juga relatif kecil disebabkan oleh perbedaan nilai data maksimum dan nilai minimum unsure Pb yang besar, yaitu berkisar antara 8 ppm hingga 500 ppm.

Tabel 3. Hasil Uji Statistik Unsur Pb dengan *Trend Surface* Hingga Orde-7

N <sup>o</sup>	Hasil uji	DF	F <sub>(0,95)</sub>	Sig.	R <sup>2</sup>	R
1	Linier	2	15.67	Ya	15.41%	0.39
2	Quadratic	5	6.42	Ya	15.97%	0.40
3	Cubic	9	4.17	Ya	18.51%	0.43
4	Quartic	14	2.63	ya	18.71%	0.43
5	Quintic	20	1.81	ya	18.99%	0.44
6	Sixtic	27	1.26	tidak	18.83%	0.43
7	Seventic	35	1.04	tidak	20.73%	0.46

Hasil perhitungan luas daerah anomali regional dan anomali lokal dengan menggunakan model matematik regresi polinomial atau *trend surface* (Gambar 3), diperoleh anomali regional unsur Pb seluas 2.389 Ha dan anomali lokal yang merupakan anomaly kuat sebesar 614 Ha, terletak pada koordinat 61.000mN-63.000mN dan 595.000mE-599.000mE.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil uraian dan pembahasan sebelumnya dapat dibuat kesimpulan dan saran sebagai berikut :

### Kesimpulan

1. Hasil pengolahan dan analisa data sebaran unsur Pb di Blok Mandagang-Muara sipongi, dihasilkan peta *trend* yang terbukti dapat berfungsi sebagai penunjuk letak anomali lokal yang ditunjukkan oleh kecenderungan pola konvergen antara kontur peta *trend* (anomali regional) dengan kontur peta residu.
2. Uji statistik terhadap hasil pengolahan data dengan persamaan regresi polinomial, menghasilkan fungsi polinomial berkisar antara orde-1 hingga orde-5, dengan nilai *goodness of fit* dan Koefisien korelasi (*R*) tertinggi pada orde-5.
3. Hasil pengolahan data dengan fungsi regresi polinomial orde-5 menghasilkan anomali regional unsur Pb seluas 2.389 Ha dan anomali lokal seluas 614 Ha.

### Saran

1. Berdasarkan hasil pemodelan matematis dengan menggunakan fungsi regresi dan interpretasi data, kegiatan eksplorasi lebih lanjut dapat dilakukan pada daerah beranomali kuat (daerah dengan anomali lokal), di bagian utara daerah penelitian pada posisi koordinat 61.000mN - 63.000mN (Lintang Utara) dan 595.000mE -599.000mE (Bujur Timur).

## DAFTAR PUSTAKA

1. Burrough, P.A. 1996. *Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment*, , Oxford University Press, New York, p. 149-151.
2. Chan, S.H., & Yeap, C.H. 1981. *Trend Surface Analysis of Trace-Element Distribution in Tin Granites of Selangor and Negri Sembilan, Peninsular Malaysia*, Asian Mining '81, The Institute of Mining and Metallurgy, London.
3. Chatfield, C. 1995. *Problem Solving A Statistician's Guide*, Second Edition, Chapman & Hall, London-New York-Tokyo.
4. Coope, J.A. 1992. *Geochemical and Other Prospecting Techniques*, Mining Engineering Handbook, John Wiley & Sons, Inc., New York, , p.243 – 267.
5. Davis, J.C. 1986. *Statistic and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 405 – 430.
6. Ghazali, S.A., Muchjidin & Hariwidjaja. 1986. *Penyelidikan Geokimia Endapan Sungai Metoda dan Teknik*, , Publikasi Khusus, No. 27, Volume 1, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
7. Jones, T.A., Hamilton, D.E., Johnson, C.R. 1986. *Contouring Geologic Surface with the Computer*, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, p. 235 – 254.
8. Manurung, Y.S. 1985. *Prospek Keterjadian Mineral Logam di Daerah Kotanopan – Muara Sipongi, Sumatera Utara*, Laporan Kolokium, No. 19, Volume 1, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
9. Merriam, D.F. 1986. *Computer Applications in Stratigraphic Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., New York, Sydney, London.
10. Nurkhamim. 2002. *Aplikasi Trend Surface Analysis untuk Pengolahan dan Interpretasi Data Geokimia Emas*, Prosiding Seminar Nasional Pertambangan dan Energi, Yogyakarta, hal. 36-1 - 36-8.
11. Petters, W.C. 1987. *Exploration & Mining Geology*, Second Ed., John Wiley & Sons, Inc., Canada, p.397 – 430.
12. Pride, D.E.& Hasenohr, E.J. 1983. *Computer Analysis of Mineralization within Evolving Subvolcanic and Caldera Systems by Trend Surface Analysis in Breckenridge and Bonanza Regions, Colorado Mineral Belt*, Journal of

- Geochemical Exploration No. 19, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam,
13. Rollingson, H. 1993. *Using Geochemical Data : Evaluation, Precentation, Interpretation*, Longmann Group UK Ltd., p. 1 – 46.
  14. White, A.H. 1997. *Management of Mineral Exploration*, Andrew White and Associates, Queensland. p. 15-18.