

APLIKASI GRAFIK *PROBABILITY* DALAM PENGOLAHAN DATA EKSPLORASI PANAS BUMI

Oleh :

Dikdik Risdianto dan Dedi Kusnadi

Kelompok Program Penelitian Panas Bumi
Pusat Sumber Daya Geologi

Kata kunci : *Grafik probability, threshold, anomaly, background, geokimia, geostatistik*

Sari

Seperti halnya survei *geo-science* lainnya, dalam survei eksplorasi panas bumi juga melibatkan jumlah data yang besar, sehingga diperlukan metoda statistik untuk mengolahnya. Ada beberapa cara untuk mengelola data secara statistik, salah satu diantaranya menggunakan **Grafik Probability**, yang pada prinsipnya adalah mencoba membagi data menjadi beberapa sub-populasi yang diinterpretasikan sebagai hasil suatu fenomena geologi. Seperti halnya metoda statistik yang lain, metoda ini menggunakan pendekatan yang umum dilakukan yaitu penentuan nilai *threshold*, nilai *background* dan nilai rata-rata dalam penentuan harga anomali.

Keunggulan metoda ini dibandingkan metoda lain adalah kemampuannya membagi atau memfilter suatu kelompok besar data menjadi beberapa sub-populasi yang mempunyai nilai ambang sendiri. Hasil pengolahannya digambarkan dalam suatu peta dan memberikan banyak area dengan karakteristik nilai data berlainan satu-sama lain. Hal ini akan memberikan ruang yang luas bagi geologist dan geochemist untuk bahan interpretasi.

Pada tulisan ini penulis mencoba mengaplikasikan metoda grafik probability untuk pengolahan data geokimia, yaitu kandungan unsur Hg dalam tanah dan kadar CO₂ udara tanah di daerah Panas Bumi Jaboi, Nangroe Aceh Darussalam.

Abstract

*Like the other geoscience survey, the application of geochemistry in geothermal survey involve a lot of data so that it is needed statistical method to solve it. There are some ways of data processing in statistic, one is using **Probability Graph** that basically divide the data into some sub-populations. Each population represents of geological event and same as other statistic method, it also use the commonly approach such as threshold value, background value and average value to define the anomaly value.*

The advantage of this method is able to divide or filtering a group of data to some of sub-populations which has threshold value, so if it is plotted on a map will show many area with difference value between each others and able for geologist and geochemist to make better on interpretation.

In this paper the author try to apply this method to process the geochemistry data i.e. concentration of Hg and CO₂ in soil of Jaboi Geothermal Prospect, Nangroe Aceh Darussalam.

1. Pendahuluan

Dalam survey geologi, geokimia dan geofisika sering sekali melibatkan data-data dalam jumlah yang besar, sehingga diperlukan metode untuk mengolah/memilah data-data tersebut, sesuai dengan kelas/kelompok data-data. Tujuan dari pengelompokan ini adalah untuk memudahkan proses interpretasi. Sifat dari data-data pengamatan lapangan (geologi,

geokimia dan geofisika) adalah mandiri (*independent*) karena nilai besarannya terjadi sebagai respon dari lingkungan sekelilingnya atau akibat suatu fenomena geologi (mineralisasi dan geothermal) yang sifatnya natural/alami dan bervariasi dari satu daerah dengan daerah lainnya, sehingga akan sulit menentukan batasan nilai ambang (*threshold*) yang bersifat mutlak dan berlaku di seluruh areal penelitian.

1.1. Anomali

Secara harfiah anomali adalah "Penyimpangan dari aturan" atau "ketidakteraturan" (Kamus Inggris Penguin). Sedangkan nilai latar (*Background*) adalah nilai normal atau nilai yang terjadi sejak semula, data ini tidak terpengaruh oleh suatu proses atau fenomena geologi. Suatu kelompok data dalam suatu populasi dikatakan mempunyai anomali jika nilai dari kelompok tersebut melebihi nilai ambang (*threshold*) dari nilai keseluruhan populasi tersebut. Gambar 1 adalah ilustrasi yang menggambarkan penampang pada suatu manifestasi panas bumi. Nilai anomali sangat bervariasi nilainya, tergantung seberapa intensive suatu kejadian geologi (mineralisasi atau geothermal) terjadi di daerah tersebut, variasi dari nilai ini sebenarnya adalah tingkat ke-intensive-an dari suatu proses mineralisasi atau geothermal, hal ini berarti, jika suatu areal yang mempunyai nilai lebih besar dibanding areal lainnya, mengalami proses geologi yang lebih intensive pula dan biasanya terletak dekat dengan sumbernya. Dengan mengelompokkan nilai ini bisa digunakan untuk melacak (*trace*), sumber suatu proses mineralisasi atau geothermal. Pada gambar 1 juga digambarkan terjadinya sub-populasi dari suatu sumber mineralisasi atau geothermal.

Seperti halnya nilai anomali, nilai latar (*background*) juga bervariasi nilainya, hal ini berkaitan dengan sejarah dari genesa batuan yang menjadi batuan dasar (*host rock*) tempat mineralisasi atau geothermal terjadi. Ada kalanya suatu batuan dasar telah mengalami proses mineralisasi/geothermal berulang-ulang (*overprinted*).

Pada gambar 1, terlihat nilai Hg, CO₂ mengalami fluktuasi di sekitar daerah mineralisasi/geothermal, nilai fluktuasi ini bervariasi tergantung dari posisi manifestasi, pada gambar terlihat makin dekat ke zone sesar makin besar nilainya. Sedangkan nilai latar (*background*) tidak mengalami fluktuasi, nilainya relative tetap, Pada contoh ini akan sangat mudah memisahkan nilai anomali dari nilai latarnya.

Akan tetapi ada kalanya antara nilai anomali dari suatu kelompok data, saling tumpang tindih (*overlap*) dengan kelompok data yang lain, sehingga diperlukan suatu proses pemilahan data yang lebih teliti.

2. IDENTIFIKASI NILAI ANOMALI

2.1. Metode Pendekatan

Beberapa metode pendekatan yang sering dipakai untuk mengidentifikasi suatu nilai ambang (*threshold*) adalah:

- Dengan cara pembagian menurut rentang (*range*) tertentu, misalnya menggunakan pembagian 25%-persentil, 50% persentil dan 75% persentil. Nilai yang melebihi harga 75% persentil dianggap sebagai nilai anomali. Sedangkan nilai yang kurang dari harga 25%-persentil dianggap sebagai nilai latar (*background*).
- Menggunakan rumus mean (nilai rata-rata) ditambah 2 kali nilai standar deviasi untuk nilai ambang (*threshold*), nilai yang melebihi harga ini dianggap sebagai nilai anomaly. Sedangkan untuk nilai latar (*background*) adalah mean (nilai rata-rata) ditambah nilai standar deviasi.
- Menggunakan metode persentil, yaitu nilai ambang (*threshold*) ditentukan pada nilai 97.5% persentil, nilai yang melebihi harga ini dianggap sebagai anomaly.
- Menggunakan grafik probability, metode ini dianggap lebih baik dari metode lainnya karena mampu membagi rentang (*range*) nilai ambang (*threshold*) dari tiap sub-populasi yang ada dalam suatu populasi. Selanjutnya metode ini akan diterangkan lebih rinci.

2.2. Grafik Histogram vs Grafik Probability

Salah satu media dalam penyajian data statistik adalah berupa grafik. Grafik histogram adalah grafik yang paling umum dipakai, yaitu berupa diagram batang yang mewakili rentang (*range*) data tertentu pada sumbu-X (absis) dan nilai frekuensi (biasanya dalam persen) pada sumbu-Y (ordinat). Dengan histogram kita bisa dengan mudah mengetahui sifat statistik dari suatu populasi data secara visual, contohnya suatu populasi yang bersifat distribusi normal akan berbentuk suatu kurva setangkup (simetris) atau berbentuk lonceng.

Sedangkan grafik probability adalah suatu grafik yang dibuat sedemikian rupa sehingga suatu populasi data yang berdistribusi normal akan tergambar sebagai suatu garis lurus.

Grafik ini dibuat dengan skala logaritmik pada sumbu-X (absis) dan skala biasa pada sumbu-Y (ordinat), tapi kadang-kadang sering dipakai juga skala logaritmik pada sumbu-Y (log-normal). Kelebihan dari grafik ini dari histogram adalah grafik probability akan lebih mudah mengetahui apakah suatu populasi bersifat unimodal, bimodal atau polimodal. Kelebihan yang lain adalah dalam proses **pemilahan suatu sub-populasi** dalam suatu populasi, akan lebih mudah dilakukan dalam grafik ini. Pada gambar 2 ditampilkan contoh histogram dan grafik probability, terlihat bahwa bentuk histogram berupa kurva setangkup (simetris), ini berarti data dalam populasi ini terdistribusi normal sekaligus juga bersifat unimodal. Sedangkan pada grafik probability (sebelah kanan) pola distribusi normal-unimodal berupa garis lurus.

2.3. Unimodal vs bimodal

Seperti telah diterangkan di bagian terdahulu, penyebaran unimodal adalah penyebaran yang mempunyai nilai modus tunggal, distribusi normal adalah suatu contoh penyebaran bersifat unimodal. Pada grafik histogram terlihat seperti kurva yang berbentuk lengkung (*flexure*).

Sedangkan pada grafik probability akan tampak sebagai garis lurus (gambar 2).

Lain halnya dengan penyebaran yang bersifat bimodal, yaitu penyebaran yang mempunyai nilai modus ganda akan tampak pada grafik probability sebagai garis yang melengkung (gambar 3), demikian juga untuk data yang bersifat polimodal, akan tetapi jumlah lengkungan akan semakin banyak. Bentuk lengkungan yang terdapat dalam grafik probability untuk distribusi bimodal atau polimodal adalah suatu sub-populasi yang ada dalam populasi tersebut. Suatu sub-populasi dapat terjadi sebagai akibat perbedaan intensitas suatu proses geologi (mineralisasi atau geothermal). Pada gambar 3 memperlihatkan penyebaran data yang bersifat bimodal, terdapat satu lengkungan (*flexure*) pada kurva tersebut.

3. PENGOLAHAN DATA

Pada bagian ini akan diterangkan cara pengolahan data dengan menggunakan grafik probability. Pada contoh akan diberikan suatu populasi data yang bersifat

bimodal dimana terdapat nilai modus ganda (terdapat dua sub-populasi). Pengolahan data dibantu oleh perangkat lunak (*software*) Discovery versi 4 atau 4.01 yang terdapat dalam program Mapinfo 6 atau Mapinfo 7.

Gambar 4 memperlihatkan contoh pengolahan data yang bersifat bimodal dari harga Hg (Merkuri dalam ppb) dengan menggunakan grafik probability. Langkah pertama setelah kita dapat bentuk grafik penyebaran data populasi (tanda bintang) adalah memisahkan sub-populasi yang terdapat dalam populasi tersebut. Pemisahan dilakukan pada titik dimana terjadi pelengkungan (*flexuring*) pada grafik probability, pada contoh diperoleh pada titik 60 (pada sumbu-X, grafik probability), sehingga didapat dua sub-populasi yaitu A dan B dengan perbandingan A : B adalah 60 : 40. Selanjutnya adalah membuat grafik dari masing-masing sub-populasi, dengan cara menghitung setiap titik (tanda bintang), pada contoh diambil nilai 30 (tanda huruf X), selanjutnya :

$$(30/60) \times 100\% = 50 \text{ (tanda huruf Y)}$$

Dengan jalan yang sama seperti diatas maka diperoleh penyebaran titik yang merepresentasikan nilai sub populasi A (tanda lingkaran kosong), dengan menarik garis diantara titik-titik tersebut terbentuklah garis lurus sub-populasi A.

Dari bentuknya yang berupa garis lurus maka sub-populasi data A berdistribusi normal. Dengan asumsi bahwa pada distribusi normal, nilai mean sama dengan median, yaitu terletak pada 50%-persentil, sedangkan nilai standar deviasi jatuh pada nilai 68%-persentil, maka pemakaian rumus untuk nilai ambang (*threshold*), yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Threshold} &= \text{mean} + 2(\text{standard deviasi}) \\ &= 50\% \text{persentil} + 86\% \text{persentil} \\ &= 2.425 + 2.64 \\ &= \text{ant-log}(2.425) + \text{ant-log}(2.64) \\ &= 266.07 + 436.51 \\ &= 702.58 \text{ ppb.} \end{aligned}$$

Sedangkan nilai latar (*background*) adalah :

$$\begin{aligned} \text{Background} &= \text{mean} + \text{standard deviasi} \\ &= 50\% \text{persentil} + 68\% \text{persentil} \\ &= 2.425 + 2.52 \\ &= 266.07 + 331.13 \\ &= 597.20 \text{ ppb.} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama pada sub-populasi B maka didapat nilai ambang dan latar adalah 1133.16 ppb dan 994.11 ppb.

Dari hasil akhir yang didapat, maka nilai Hg yang melebihi 1133.16 ppb merupakan anomaly 1, dan merupakan skala prioritas untuk di *follow up*. Selanjutnya nilai Hg yang berkisar 1133.16 – 994.11 ppb adalah anomaly 2, antara 994.11 - 702.58 ppb adalah anomaly 3 dan antara 702.58 – 597.20 ppb adalah anomaly 4. Nilai latar sub-populasi A (597.20 ppb) dianggap sebagai nilai latar untuk keseluruhan populasi, karena merupakan batas nilai terendah, sehingga nilai yang kurang dari 597.20 ppb dianggap tidak mengalami "gangguan". Rentang harga anomaly 1 hingga anomaly 4 disebabkan karena adanya perbedaan intensitas aliran fluida/gas dari bawah permukaan sebagai akibat perbedaan lithologi atau permeabiliti.

4. STUDI KASUS

Setelah memahami cara pengolahan data dengan menggunakan grafik probability, pada bagian ini akan dicoba diterapkan untuk pengolahan data pengamatan dari beberapa lokasi kerja survey panas bumi di Indonesia. Hasil pengolahan data ini bukan satu-satunya bahan untuk proses interpretasi, tetapi hanya sebagai penunjang, karena proses interpretasi yang terbaik adalah mengkombinasikan seluruh data baik geologi, geokimia dan geofisika, sehingga hasil interpretasi akan menjadi suatu hasil yang padu. Untuk contoh disini akan dicoba pengolahan data geokimia dari beberapa daerah survey panas bumi di Indonesia.

4.1. Penyebaran Unsur Hg Daerah Panas Bumi Jaboi, NAD

Lokasi penelitian terletak di Daerah Jaboi, Nangroe Aceh Darussalam, Litologi daerah penelitian didominasi oleh batuan vulkanik, yaitu lava andesitik, aliran piroklastik, jatuhnya piroklastik yang berupa tufa, serta breksi vulkanik, di beberapa tempat terdapat alterasi yang sangat luas, sebagai akibat aktivitas fluida geothermal, berupa mineral sekunder (*dominasi clay*), juga terdapat lapangan fumarola yang masih aktif mengeluarkan gas/ uap air.

Struktur geologi cukup intensif, didominasi oleh sesar-sesar normal dan geser, beberapa menjadi media atau jalur keluarnya mata air panas, arah umum struktur geologi adalah Timurlaut-Tenggara, yang merupakan arah umum dari Zona Sesar Sumatera.

Jumlah data pengukuran yang berhasil dikumpulkan adalah 114 data, yang berupa conto tanah yang diambil secara sistematis (grid) dan secara random. Gambar 5, merupakan hasil pengolahan data kadar unsur Hg (Merkuri) yang terdapat dalam tanah. Terlihat bahwa dari hasil pengolahan dengan menggunakan grafik probabilitas didapatkan 3 sub-populasi yaitu sub-populasi A, B dan C, nilai sub populasi ini diinterpretasikan sebagai akibat dari adanya aktifitas panas bumi di daerah ini. Sub-populasi A mewakili sub-populasi yang mempunyai nilai kadar Hg yang lebih rendah dibanding dari sub-populasi yang lain, sehingga nilai latar (*background*) di tentukan dari sub-populasi ini, dengan menggunakan formula yang umum tentang nilai latar (*background*) yaitu nilai rata-rata + nilai standar deviasi maka didapat bahwa nilai latar adalah 493,41 ppb, perlu dicatat disini bahwa nilai rata-rata (mean) dan nilai standar deviasi ditentukan secara grafis dari grafik probabilitas, yaitu untuk nilai rata-rata adalah jatuh pada 50% percentile, sedangkan nilai standar deviasi jatuh pada persentil 84% jadi penghitungan nilai latar adalah :

$$\begin{aligned} \text{Nilai latar (background)} &= \text{mean} + \text{std} \\ \text{std} &= \text{standar deviasi} \\ &= 50\% \text{ persentile} + 84\% \text{ persentil} \\ &= 169,82 \text{ ppb} + 323,59 \text{ ppb} \\ &= 493,41 \text{ ppb.} \end{aligned}$$

Nilai 493, 41 ppb ini merupakan nilai batas data yang dianggap sebagai anomaly, hal ini berarti bahwa nilai diatas ini dapat dikategorikan sebagai anomaly. Adapun untuk nilai ambang (*threshold*) dengan cara penunjukan langsung dari nilai percentile, yang biasa digunakan dalam metoda aplikasi grafik probabilitas, untuk kasus ini menggunakan nilai persentile 1% atau 99%, dengan menggunakan ini didapat nilai ambang (*threshold*) untuk sub populasi B adalah 933,25 ppb dan nilai ambang untuk sub-populasi C adalah 2137,96 ppb. Gambar 7 adalah hasil plotting nilai latar dan ambang dari data Hg daerah panas bumi Jaboi.

Terlihat adanya empat rentangan (*range*) data, yaitu :

- < 493,41 ppb = warna abu-abu
- 493,41 – 933,25 = warna biru muda
- 933,25 – 2137,96 = warna kuning
- > 2137,96 ppb = warna merah

4.2. Penyebaran gas CO₂ Daerah Panas Bumi Jaboi, NAD

Gambar 6 adalah grafik probabilitas dari nilai kadar CO₂ udara tanah di daerah Jaboi. Terlihat bahwa terdapat dua sub populasi yaitu populasi A dan B, dikarenakan rentang antara nilai minimum dan maksimum sangat sempit (0,35 – 5,95 %), maka penentuan nilai latar dan ambang akan sedikit berbeda dengan cara diatas (Hg). Sub-populasi A yang mewakili kelompok data yang bernilai kecil dapat dipakai sebagai acuan dalam penentuan nilai latar (*background*). Dikarenakan rentang nilai data yang sempit maka formula *background* adalah nilai rata-rata ditambah nilai standar deviasi tidak dapat dilakukan pada kelompok data ini. Untuk itu diputuskan mengambil nilai rata-rata (*mean*), yang dianggap representatif sebagai nilai latar (*background*), yaitu jatuh pada 50% percentile dari sub-populasi A yang bernilai 1,65 %, hal ini berarti nilai diatas 1,65 % adalah anomali, sedangkan untuk penentuan nilai ambang sama dengan cara di atas yaitu mengambil 1% atau 99% percentile untuk masing-masing sub-populasi, dan didapat nilai 3,5% untuk subpopulasi a dan 4,3% untuk subpopulasi B. Gambar 8 adalah hasil plotting nilai latar dan ambang dari data CO₂ daerah panas bumi Jaboi. Terlihat adanya empat rentangan (*range*) data, yaitu :

- < 1,65 % = warna abu-abu
- 1,65 – 3,5 % = warna biru muda
- 3,5 – 4,3 % = warna kuning
- > 4,3 % = warna merah.

5. DISKUSI

Diatas telah dipaparkan aplikasi grafik probabilitas dalam pengolahan data geokimia panas bumi, dan didapatkan masing-masing peta anomalnya. Dari kompilasi dua peta anomali tersebut (distribusi Hg dan CO₂) didapatkan dua daerah prospek yang perlu di "follow up"

yaitu daerah prospek 1 dan daerah prospek 2 (Gmb 7 dan 8). Daerah prospek 1 lebih menarik dari daerah prospek 2, hal ini karena kemunculan anomali mineral Hg dan CO₂ dikontrol oleh adanya struktur sesar yang berarah Utara-Selatan, Baratlaut-Tenggara dan Timurlaut-Baratdaya. Ketiga arah struktur sesar ini bertemu dan saling berpotongan di lokasi prospek 1, dan membentuk suatu cebakan yang memungkinkan terjadinya akumulasi fluida panas bumi di daerah ini. Kontrol litologi kemungkinan kurang mendominasi pembentukan anomaly di daerah ini karena kedua daerah prospek didominasi oleh jenis batuan yang sama yaitu batuan vulkanik.

6. KESIMPULAN

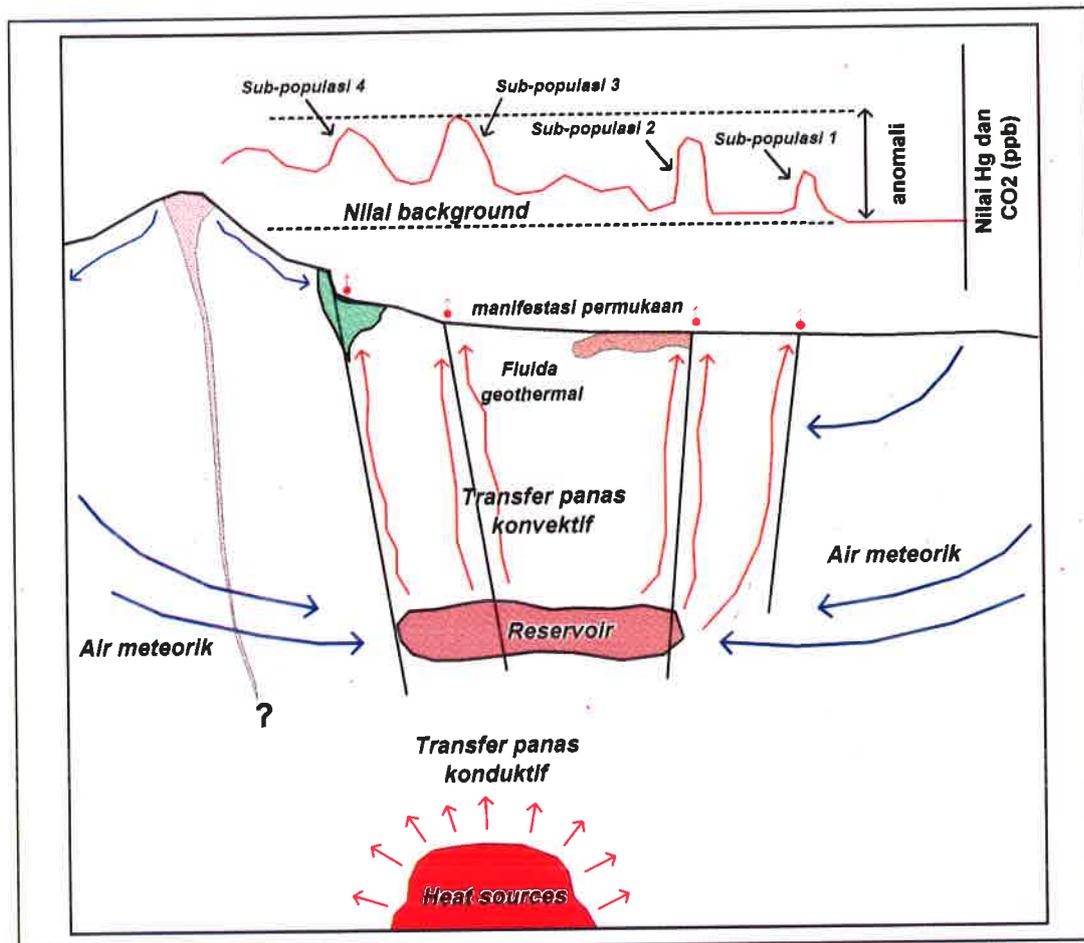
- Metode grafik probabilitas dapat membagi data-data pengamatan menjadi subpopulasi-subpopulasi yang diinterpretasikan sebagai akibat dari suatu fenomena geologi
- Pada pengolahan data dengan grafik probabilitas, proses pengolahan data dilakukan pada tingkat subpopulasi sehingga nilai anomali yang didapatkan merupakan nilai anomali setiap subpopulasi
- Metode grafik probabilitas dapat digunakan pada pengolahan data panas bumi karena mampu mengelompokkan data menjadi kelompok-kelompok yang merespon sumber penyebab pengelompokan tersebut.
- Pada contoh diatas memperlihatkan kemampuan metode ini dalam melokalisasi zona-zona prospek.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

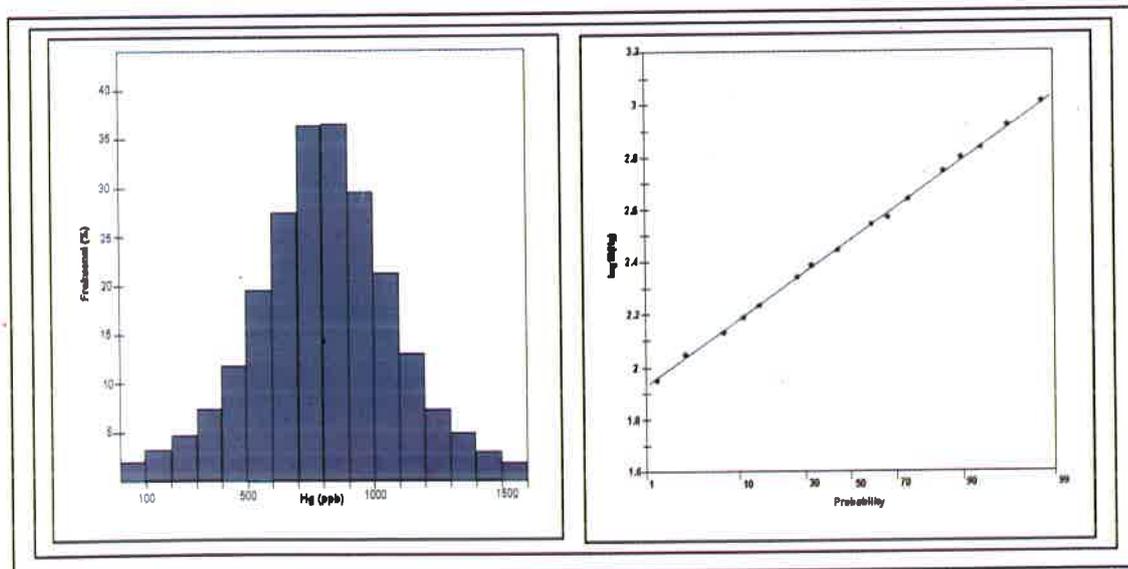
Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan serta saran selama proses penulisan tulisan ini.

8. ACUAN

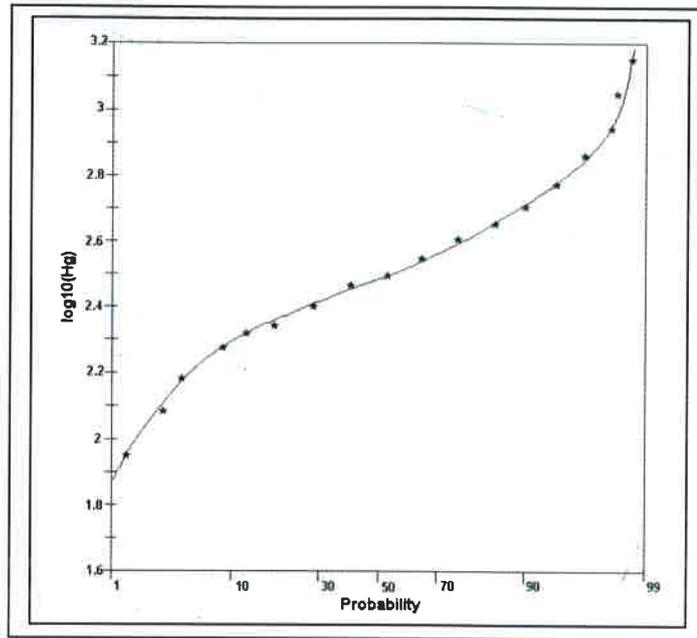
- A.J. Sinclair, 1973, *Selection of Threshold Values in Geothermal Data Using Probability Graph*, Journal of Geochemical Exploration
- Keith Nicholson, 1993, *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg
- Tim Survei Terpadu, 2005, *Survei Terpadu Daerah Panas Bumi Jaboi, Nangroe Aceh Darusalam*, Pusat Sumber Daya Geologi.



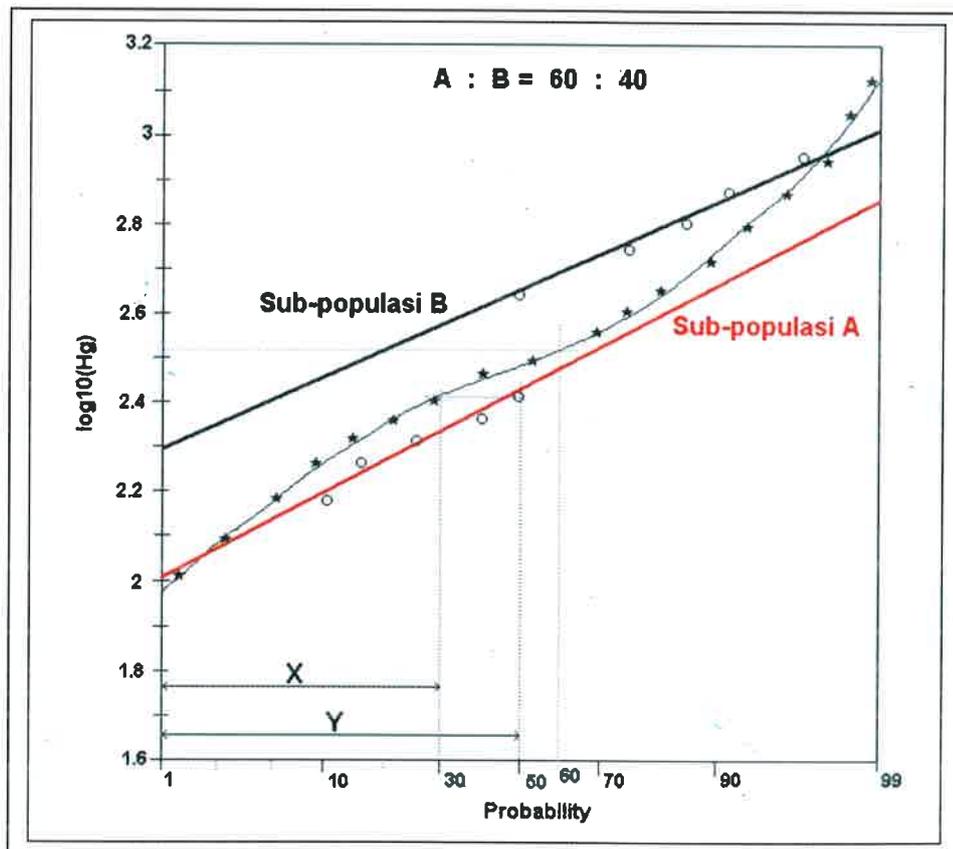
Gambar 1. Ilustrasi pembentukan variasi nilai anomali geokimia pada suatu daerah panas bumi



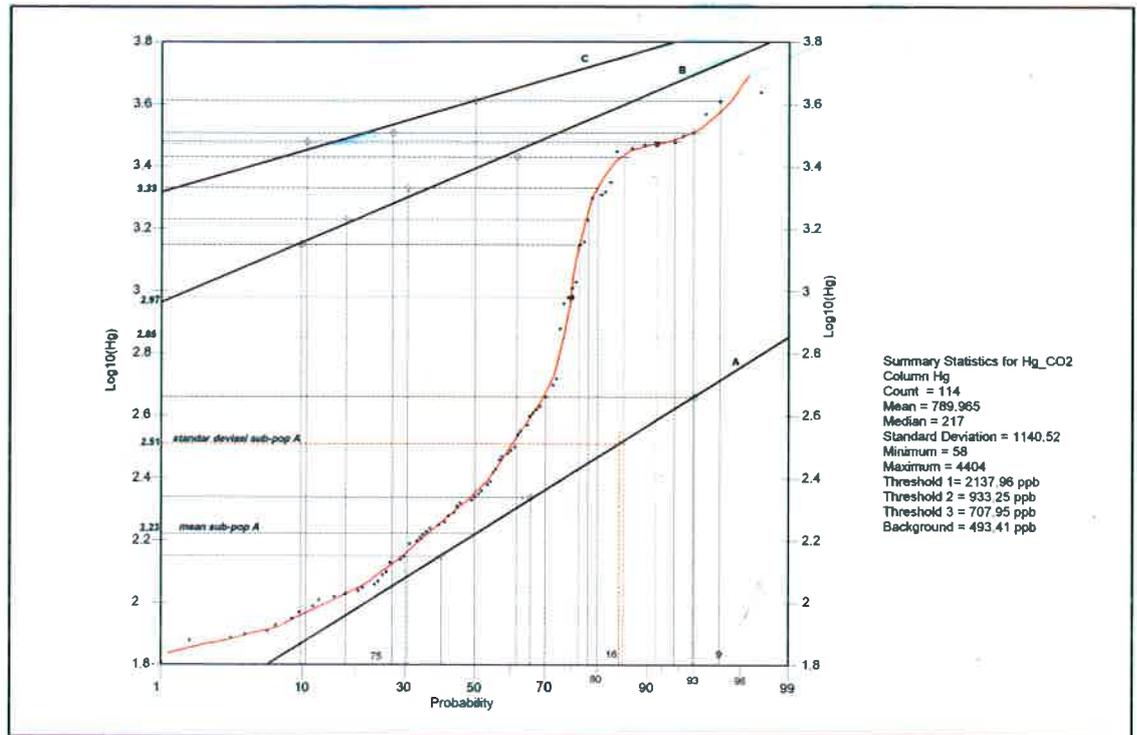
Gambar 2. histogram vs grafik probability



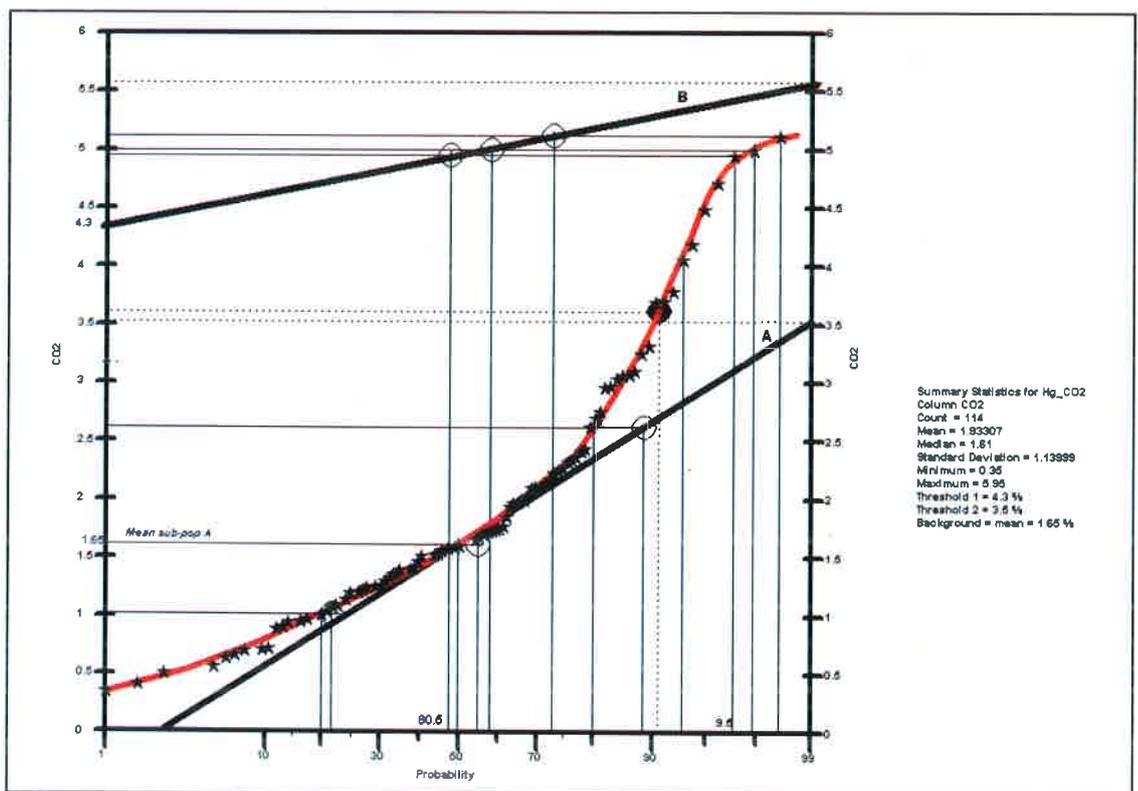
Gambar 3. Pola penyebaran data yang bersifat bimodal pada grafik probability



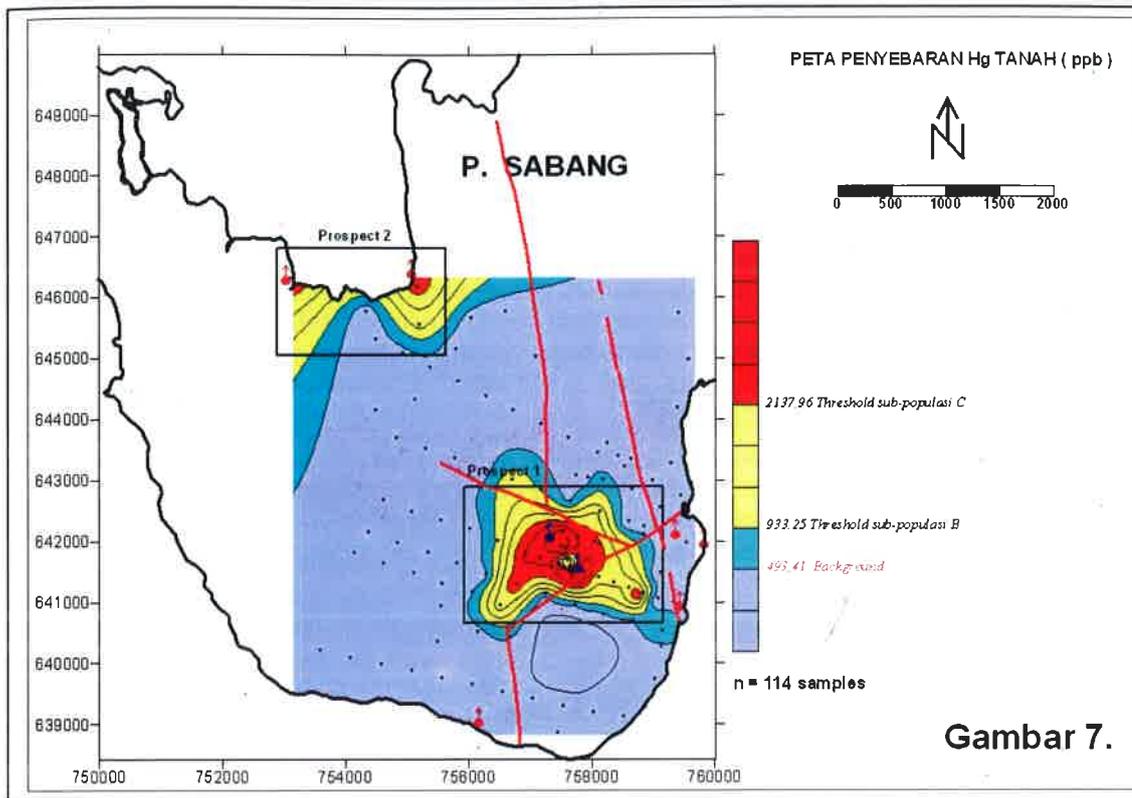
Gambar 4. Contoh pengolahan data menggunakan Grafik Probability



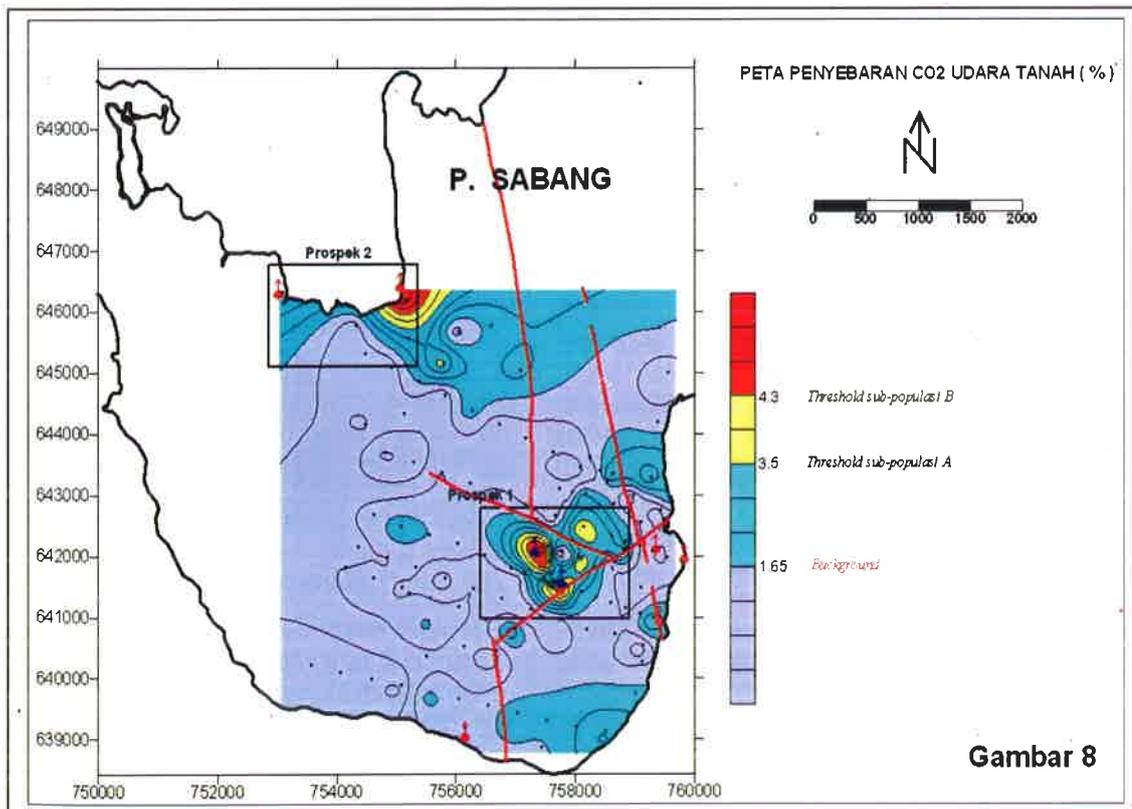
Gambar 5. Grafik probabilitas data penyebaran Hg



Gambar 6. Grafik probabilitas data penyebaran CO₂



Gambar 7. Peta penyebaran kadar Hg dalam tanah (ppb)



Gambar 8. Peta penyebaran kadar CO₂ udara tanah (%)