

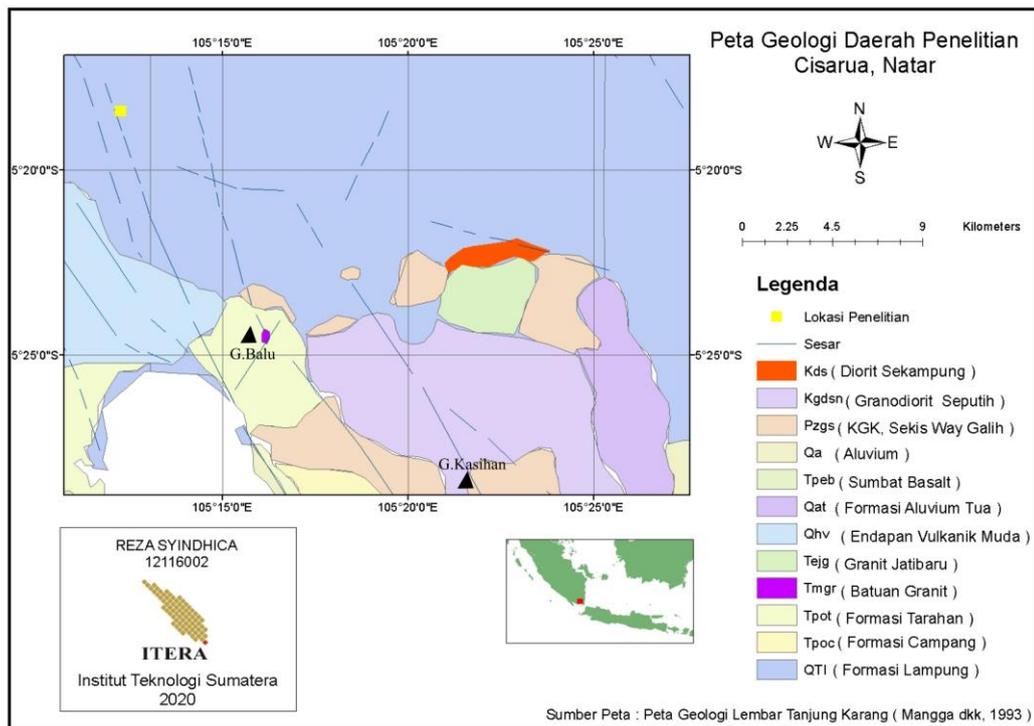
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Daerah Penelitian

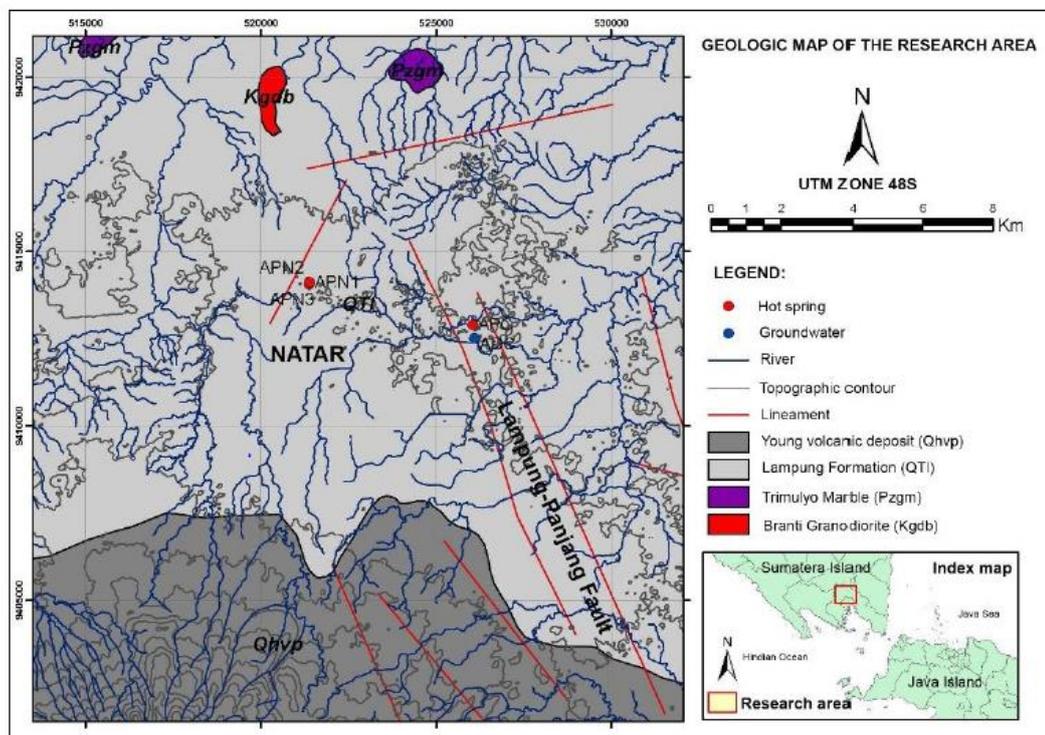
Lokasi penelitian ini berada di Cisarua, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Stratigrafi lokasi air panas Cisarua terdiri atas produk vulkanik (Qhv), Formasi Lampung (QTI). Selain itu juga dijumpai batuan malihan Kompleks Gunung Kasih (Pzg) yang diperkirakan sebagai batuan *basement local*. Adapun *Geothermal discharge* (tempat keluar mata air panas) Cisarua berkorelasi dengan sesar Lampung-Panjang yang berarah NW-SE. Batuan tertua yang tersingkap adalah runtunan batuan malihan derajat rendah-sedang, yang termasuk dalam kompleks Gunung Kasih. Komplek Gunung Kasih terdiri atas sekis kuarsa pelitik dan grafitik, pualan dan sekis gampingan, kuarsit serisit, sekis amfibol dan ortogenesis. (Suharno dkk., 2012).

Hanya ada satu formasi dalam seluruh daerah penelitian yaitu Formasi Lampung (QTI). Formasi Lampung memiliki umur Kuartar-Tersier. Formasi Lampung memiliki sebaran tuf batu apung, tuf riolitik, tuf padu, batulempung tufan dan batupasir tufan.

Daerah Penelitian ini dilalui oleh Sesar Lampung-Panjang. Sesar Lampung-Panjang telah diidentifikasi pada Peta Geologi Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993). Peta geologi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.1**, dan Peta Geologi Daerah Cisarua dan Sekitarnya (Iqbal dkk., 2019) dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.1 Peta Geologi Daerah Cisarua, Natar (Modifikasi Peta Geologi Lembar Tanjung Karang oleh Mangga dkk, 1993).



Gambar 2.2 Peta Geologi Daerah Cisarua dan Sekitarnya (Iqbal dkk, 2019).

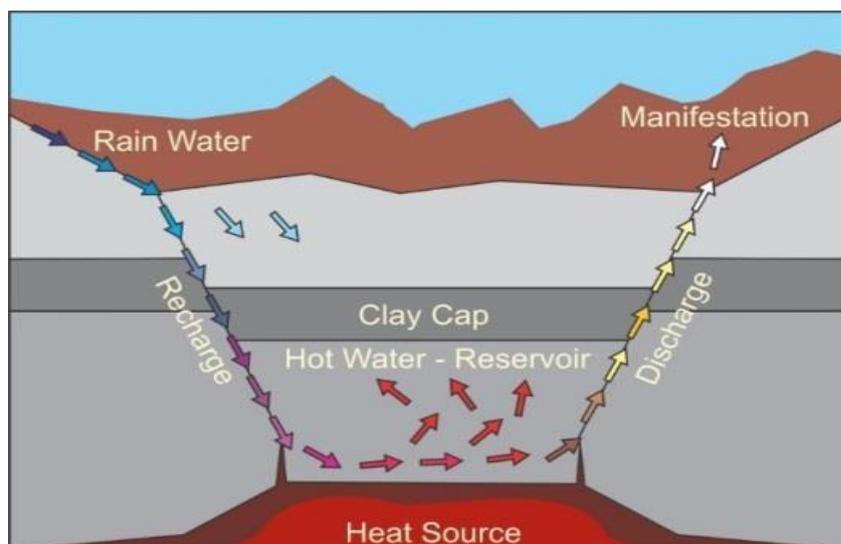
2.2. Sistem Panas Bumi

Hochstein dan Browne. (2000) mengkategorikan sistem panas bumi menjadi tiga yaitu sistem hidrotermal, vulkanik dan vulkanik-hidrotermal.

- a. Sistem hidrotermal, merupakan proses transfer panas dari sumber panas ke permukaan secara konveksi, daerah rembesan berfasa cair dilengkapi air meteorik yang berasal dari daerah resapan.
- b. Sistem vulkanik, merupakan proses transfer panas dari *magma chamber* ke permukaan yang melibatkan konveksi fluida magma.
- c. Sistem vulkanik-hidrotermal, merupakan kombinasi dua sistem di atas, yang diwakili dengan air magmatik yang naik kemudian bercampur dengan air meteorik.

Berdasarkan temperatur reservoir, temperatur suatu sistem panas bumi diklasifikasikan menjadi tiga :

1. Tinggi (temperatur reservoir lebih besar dari 225⁰C)
2. Sedang/intermediet (temperatur reservoir 125⁰C hingga 225⁰C)
3. Rendah (temperatur reservoir lebih kecil dari 125⁰C)



Gambar 2.3 Sistem Panas Bumi (Daud, 2012).

Pada **Gambar 2.3**, memperlihatkan model konseptual panas bumi seperti adanya rekahan atau patahan yang terdapat di permukaan yang membuat air dapat masuk ke dalam pori-pori batuan. Air ini lalu menembus ke bawah maupun ke samping selama ada celah untuk air dapat mengalir. Ketika air sampai ke sumber panas (*heat source*) maka temperatur air akan meningkat, maka air akan menguap sebagian dan sebagian lagi akan tetap menjadi air dengan suhu yang tinggi.

2.3. Anomali Medan Magnet

Medan magnet anomali disebut juga medan magnet lokal. Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral magnetik seperti magnetit, titanomagnetit dan lain-lain yang berada di kerak bumi. Anomali medan magnet merupakan nilai dari hasil perhitungan medan magnet total dengan medan magnet IGRF. Nilai medan magnet total yaitu H dalam satuan nT dan nilai medan magnet IGRF yaitu F dalam nT. Nilai anomali medan magnet $\Delta H \ll |H|$ di mana H dan F memiliki arah yang sama, maka dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut (Blakely, 1996).

$$\Delta H = |H| - |F| \dots \dots \dots (2.1)$$

Apabila terdapat sumber medan magnet luar, maka ΔF merupakan simpangan dari F dalam nT. Oleh karena itu, nilai anomali medan magnet dirumuskan oleh persamaan sebagai berikut (Blakely., 1996).

$$\Delta H = H - \Delta F - F \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan H merupakan nilai medan magnet total dalam nT, ΔF merupakan nilai variasi harian dalam nT, dan F merupakan nilai IGRF dalam nT.

2.3.1. Gaya Magnetik

Gaya magnet yang ditimbulkan oleh dua buah kutub yang terpisah pada jarak r dan memiliki muatan masing-masing ρ_1 dan ρ_2 . (Telford, 1990).

Dapat dinyatakan pada persamaan berikut :

$$\vec{F} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\mu r^2} \hat{r} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

\vec{F} = Gaya Magnet (newton)

r = Jarak antara Kutub ρ_1 dan ρ_2 (meter)

\hat{r} = Vektor Satuan

μ = Permeabilitas Medium (untuk ruang hampa $\mu = 1$)

ρ_1 dan ρ_2 = Kuat Kutub, banyaknya muatan magnet (coloumb)

2.3.2. Kuat Medan Magnetik

Kuat medan magnet (\vec{H}) adalah besarnya medan magnet pada suatu titik dalam ruang yang timbul akibat sebuah kutub yang berada sejauh r dari titik tersebut. Dapat dinyatakan pada persamaan berikut :

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{\rho} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

\vec{H} = Kuat Medan Magnetik (tesla)

\vec{F} = Gaya Magnet (newton)

p = Muatan Kutub 1 dan 2 dari Monopol Magnet (coloumb)

2.3.3. Intensitas Magnetik

Suatu benda magnetik yang ditempatkan pada suatu medan magnet dengan kuat medan H akan terpolarisasi magnetik pada benda tersebut yang dapat dinyatakan pada persamaan berikut :

$$I = k \cdot \vec{H} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

I = Intensitas Magnetik (tesla)

k = Suseptibilitas Magnetik SI

H = Kuat Medan Magnetik (tesla)

2.3.4. Suseptibilitas Magnetik

Nilai suseptibilitas (k) merupakan nilai yang menyatakan kemampuan suatu benda atau batuan untuk dapat termagnetisasi. Dapat dinyatakan pada persamaan berikut :

$$k = \frac{I}{H} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

k = Suseptibilitas Magnetik SI

I = Intensitas Magnetik (tesla)

H = Kuat Medan Magnetik (tesla)

Nilai suseptibilitas batuan bervariasi tergantung pada mineral yang menyusun suatu bahan. Adapun nilai suseptibilitas batuan dapat dilihat pada **Tabel 2.1** .

Tabel 2.1. Suseptibilitas Batuan (Telford, 1990).

Jenis Batuan/Mineral	Suseptibilitas ($\times 10^{-3}$ SI)	
	Interval	Rata-rata
Batuan Sedimen		
Batupasir	0-20	0,4
Lempung	0,01-15	0,6
Rata-rata Sedimen	0-18	0,9
Batuan Metamorf		
Slate	0-35	6
Rata-rata Metamorf	0-70	4,2
Batuan Beku		
Basalt	0,2-175	70
Granit	0-50	2,5
Rata-rata Beku Asam	0-80	8
Rata-rata Beku Basa	0,5-97	25
Mineral		
Hematit	0,5-35	6,5
Ilmenit	300-3500	1800
Magnetit	1200-19200	6000

2.4. Koreksi Medan Magnet

Untuk mendapatkan hasil anomali magnetik, yaitu dengan cara melakukan beberapa koreksi yaitu melakukan koreksi harian dan koreksi IGRF.

a. Koreksi Harian

Koreksi harian dilakukan untuk mengurangi pengaruh dari luar akibat adanya medan eksternal terkait sumber di luar bumi. Medan eksternal ini berasal dari aktivitas ionosfer serta terkait dengan radiasi matahari. Karena hal tersebut, medan magnet bumi akan terganggu akibat aktivitas di atmosfer. Radiasi matahari mencapai puncaknya pada siang hari, setelah itu akan mengalami penurunan kembali (Dentith dan Mudge., 2014). Dapat dilihat pada persamaan (2.7).

$$H_D = \frac{t_n - t_{awal}}{t_{akhir} - t_{awal}} (H_{akhir} - H_{awal}) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

- H_D = Nilai Medan Magnet Harian (tesla)
- t_n = Waktu pada titik ke-n (detik)
- t_{awal} = Waktu Awal
- t_{akhir} = Waktu Akhir
- H_{awal} = Nilai Medan Magnet di Titik Akhir (tesla)
- H_{akhir} = Nilai Medan Magnet di Titik Awal (tesla)

b. Koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*)

IGRF merupakan pemodelan matematis dari medan magnet utama bumi yang digunakan dengan luas dalam studi interior bumi, ionosfer, kerak bumi, dan *magnetosphere*-nya. IGRF pertama kali diperkenalkan oleh *Association of Geomagnetism and Aeronomy* pada tahun 1968. Nilai IGRF diperbaharui lima tahun sekali. Pembaharuan tersebut dilakukan karena adanya perubahan medan magnet bumi terhadap waktu. Nilai IGRF tersebut didapatkan dari kombinasi model medan magnet bumi yang didapatkan dari lembaga-lembaga di dunia yang mengumpulkan dan memberikan data medan magnet dari satelit maupun dari observatorium di seluruh dunia.

2.5. Reduce To Pole (Reduksi ke Kutub)

Proses transformasi reduksi ke kutub atau *Reduce to Pole* (RTP) merupakan tahapan yang digunakan untuk menyederhanakan interpretasi data magnet. Proses ini dapat mengurangi satu tahapan kompleks dalam interpretasi, dimana anomali medan magnet dapat menunjukkan secara langsung posisi objek penelitian. Proses transformasi ini dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi dan medan utama ke arah vertikal. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara medan potensial f dan distribusi material sumber s ditunjukkan pada persamaan berikut : (Blakely., 1996).

$$f(P) = \int_R s(Q) \psi(P, Q) dv \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana R adalah material sumber, P adalah titik observasi, Q adalah titik distribusi, dan $\psi(P, Q)$ adalah fungsi green. Terdapat hubungan umum dalam domain fourier anomali magnet yang diukur pada permukaan horizontal dan distribusi sumber penyebab yang terletak sepenuhnya di bawah permukaan. Berdasarkan Blakely (1996) Persamaan reduksi ke kutub ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$F[\psi t] = \frac{\theta' m \theta' f}{\theta m \theta f} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana $[\psi t]$ adalah hasil reduksi ke kutub, θm adalah fungsi kompleks yang tergantung pada orientasi dipol, θf adalah fungsi kompleks yang tergantung pada medan sekitar.

2.6. Kontinuasi Ke Atas

Kontinuasi ke atas dilakukan dengan cara mentransformasikan medan potensial yang diukur pada permukaan tertentu menuju medan potensial pada permukaan lain yang jauh dari sumber. Transformasi ini berfungsi untuk mengurangi anomali sebagai fungsi panjang gelombang. Semakin pendek panjang gelombang, maka semakin besar kontinuasinya, begitu pula sebaliknya. Konsep dasar ini dijelaskan pada teorema *Green* yang menyatakan bahwa apabila suatu fungsi U adalah harmonik, kontinyu, dan mempunyai turunan yang kontinyu juga di sepanjang daerah R , maka nilai U pada titik P di dalam daerah R dinyatakan dengan persamaan berikut (Blakely., 1996).

$$F(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{n} \right) dS \dots \dots \dots (2.10)$$

Persamaan di atas menjelaskan suatu medan potensial dapat dihitung pada setiap titik dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan magnet pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut, dengan S menunjukkan permukaan R , n menentukan arah normal keluar, dan r adalah jarak dari titik P ke suatu titik permukaan S .

2.7. Gaussian Filter

Gaussian Filter merupakan salah satu *filtering* yang digunakan untuk pemisahan anomali regional dan anomali residual. *Gaussian filtering* termasuk dalam kelas *low pass filter* yang didasarkan pada fungsi distribusi peluang *gaussian*. Prinsip dasar dari *filter* ini adalah operasi perkalian yang dilakukan yaitu perkalian antara matriks kernel dengan matriks gambar asli. Dapat ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut :

$$f(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana $f(x)$ adalah *Gaussian filtering* pada dimensi satu, e adalah *epsilon*, x adalah jarak dari titik asal pada sumbu horizontal, σ adalah standar deviasi.

Sedangkan fungsi gauss pada dua dimensi dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$f(x, y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana $f(x)$ adalah *Gaussian filtering* pada dimensi dua, e adalah *epsilon*, x adalah jarak dari titik asal pada sumbu horizontal, y adalah jarak dari titik asal pada sumbu vertikal, σ adalah standar deviasi. (Gonzales., 2002).

2.8. *Forward Modeling*

Pemodelan ke depan adalah pembuatan model melalui pendekatan berdasarkan geologi, medan magnet pengamatan dan medan magnet teori (IGRF) serta medan magnet harian, sehingga dapat dilakukan interpretasi berupa pemodelan bawah permukaan. Dalam interpretasi geofisika dicari suatu model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Dengan demikian, model tersebut dianggap mewakili kondisi bawah permukaan.

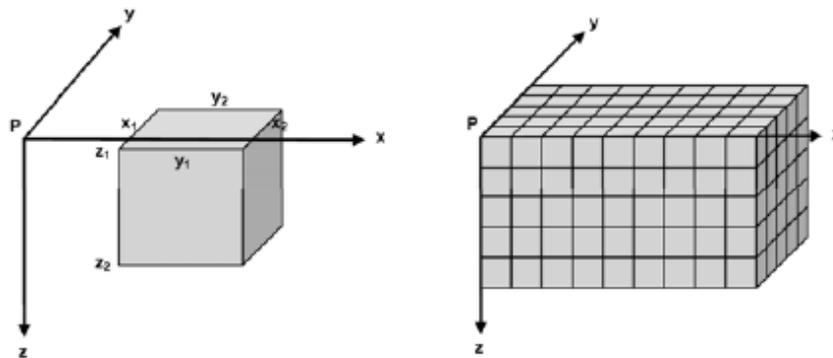
Pemodelan ke depan (*forward modeling*) data magnetik dilakukan dengan membuat benda anomali dengan geometri dan harga kemagnetan tertentu. Untuk memperoleh data, kesesuaian antara data teoritis (respon model) dengan data lapangan dapat dilakukan dengan proses coba-coba (*trial and error*) dengan mengubah harga parameter model (Grandis, 2009).

2.9. *Inverse Modeling*

Dalam aplikasi pemodelan inversi pada data magnetik yaitu dimana model bawah permukaan yang didiskretisasi menjadi susunan prisma tegak atau kubus dalam ruang 3D. Geometri model tetap sehingga yang menjadi parameter model adalah intensitas magnetisasi yang homogen untuk tiap kubus. Hubungan linear antara data d (d_i , $i= 1, 2, \dots, N$) dengan parameter model atau intensitas magnetisasi m (m_k , $k= 1, 2, \dots, M$). Maka dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$d = G (m) \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana G adalah matriks kernel ($N \times M$) yang memetakan sumber anomali menjadi data observasi, dengan N adalah jumlah data dan M adalah jumlah parameter model. Komponen matriks Kernel $G = (G_{ik})$ menyatakan kontribusi kubus ke- k dengan intensitas magnetisasi satuan pada anomali magnetik di titik ke $-i$. (Grandis., 2009).



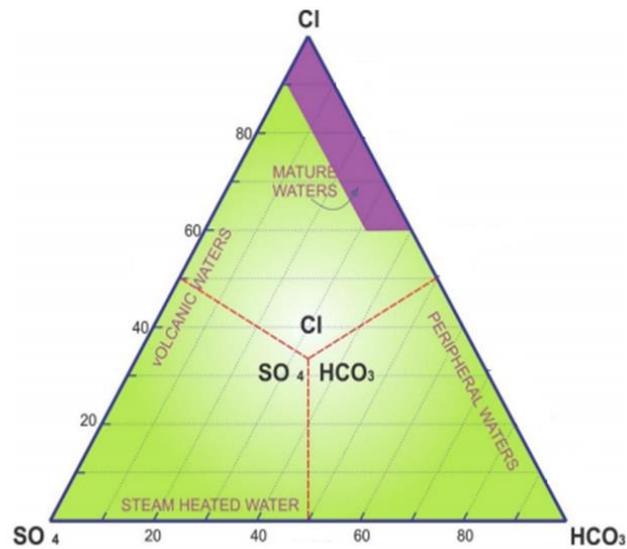
Gambar 2.4 Geometri model satuan 3-D berbentuk prisma tegak atau kubus untuk perhitungan respon magnetik di titik P , posisi sisi-sisi kubus sesuai sumbu x , y dan z yaitu $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ (kiri) dan diskritisasi medium 3-D menjadi susunan kubus dengan geometri homogen (kanan) (Grandis, 2009).

2.10. Data Geokimia

Analisis kimia bertujuan untuk mengelompokkan secara umum perbandingan antara klasifikasi dari fluida panas bumi yang terkandung dalam manifestasi sehingga dapat mengetahui tipe air panas dan perkiraan suhu reservoir.

2.10.1 Diagram Segitiga Ternary Cl - SO₄ - HCO₃

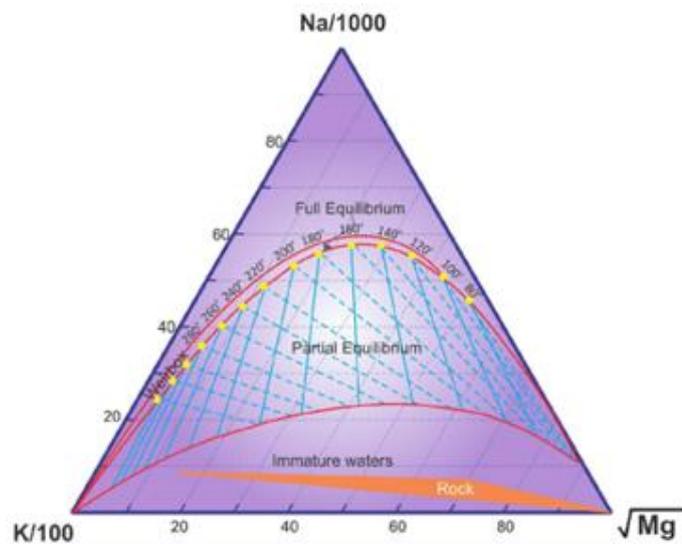
Penggunaan komponen anion yang berupa Cl, SO₄ dan HCO₃ bermanfaat untuk mengetahui komposisi fluida panas bumi karena anion-anion tersebut merupakan zat terlarut yang paling banyak dijumpai dalam fluida panas bumi. Cl, SO₄ dan HCO₃ dapat digunakan untuk menginterpretasi kondisi dan proses yang berlangsung di dekat permukaan. (Herdianita dkk., 2006). Untuk diagram ternary Cl-SO₄-HCO₃ dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Diagram Segitiga Ternary Cl-SO₄-HCO₃ (Simmons, 1998).

2.10.2 Diagram Segitiga Ternary Na-K-Mg

Diagram segitiga ternary dari Na-K-Mg merupakan sebuah metode yang digunakan untuk pendugaan temperatur reservoir dan untuk mengetahui air yang mencapai kesetimbangan dalam litologi. Untuk diagram segitiga ternary Na-K-Mg dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Diagram Segitiga Ternary Na-K-Mg (Simmons, 1998).

2.10.3 Geotermometer Na-K (Fournier, 1979 ; Giggenbach, 1988)

Untuk menentukan temperatur bawah permukaan menggunakan geotermometer dengan kandungan Na-K dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Na - K (Fournier) } T^{\circ}\text{C} = \frac{1390}{\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right)+1,75} - 273 \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\text{Na - K (Giggenbach) } T^{\circ}\text{C} = \frac{1217}{\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right)+1,483} - 273 \dots\dots\dots(2.15)$$