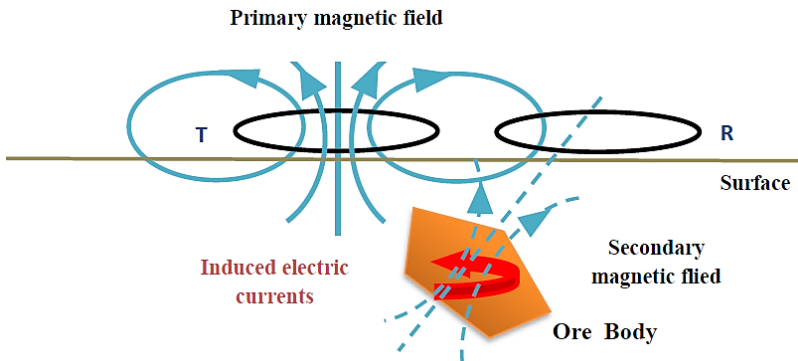


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Magnetotellurik

Metode magnetotellurik merupakan metode geofisika pasif yang digunakan untuk mencitrakan bawah permukaan berdasarkan perbedaan nilai tahanan-jenis batuan. Metode magnetotellurik memanfaatkan arus alami, yaitu arus akibat variasi medan listrik dan medan magnetik terhadap waktu. Gelombang elektromagnetik yang masuk ke dalam bumi kemudian berinteraksi dengan medium yang berbeda tahanan-jenis dan menghasilkan induksi yang akan membentuk arus Eddie dan medan magnetik sekunder. Perekam dari alat MT akan menangkap medan total. Penjalaran gelombang elektromagnetik dan interaksinya dengan medium bawah permukaan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Sulistyo dkk, 2015).



Gambar 2. 1 Penjalaran Gelombang Elektromagnetik
(Unsworth,2008)

2.2 Persamaan Maxwell

Tahanan-jenis bumi lebih kecil dari atmosfer, oleh karena itu pada saat di udara gelombang elektromagnetik akan menjalar dalam bentuk gelombang dan akan berdifusi di dalam bumi. Persamaan mendasar untuk memahami penjalaran gelombang elektromagnetik dijelaskan melalui persamaan Maxwell berikut (Xiao,2004):

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.4)$$

Keterangan:

\mathbf{E} = kuat medan listrik (V/m)

\mathbf{H} = kuat medan magnet

\mathbf{B} = fluks magnetik (W/m^2)

ρ = rapat muatan (C/m^3)

σ = konduktivitas (S/m)

ε = konstanta dielektrik (F/m)

Menggunakan operasi curl, maka akan didapatkan persamaan differensial orde kedua medan listrik sebagai berikut:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu \sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (2.5)$$

Keadaan lingkungan konduktif mengakibatkan arus konduksi mendominasi dan efek dari pergeseran arus dapat diabaikan, sehingga persamaan (2.5) dapat disederhanakan dan menghasilkan persamaan difusi sebagai berikut:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu \sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = 0 \quad (2.6)$$

Bumi dianggap sebagai suatu lingkungan konduktif, sehingga persamaan difusi tersebut dapat diaplikasikan pada analisa metode magnetotellurik. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang sinusoidal yang bervariasi terhadap waktu, sehingga nilai kuat medan listrik dapat ditulis dalam bentuk $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{-i\omega t}$. Dengan begitu, persamaan (2.6) dapat ditulis ulang menjadi:

$$\nabla^2 \mathbf{E} + i\omega \mu \sigma \mathbf{E} = 0 \quad (2.7)$$

Gelombang elektromagnetik juga akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman (z) yang diakibatkan oleh proses perubahan gelombang tersebut menjadi panas sehingga persamaan (2.7) dapat ditulis menjadi:

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial z^2} + i\omega \mu \sigma \mathbf{E} = 0 \quad (2.8)$$

Dengan $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{-i\omega t} e^{kz}$ dan \mathbf{E}_0 merupakan kuat medan listrik pada permukaan maka akan diperoleh persamaan lain untuk persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$Ek^2 + i\omega\mu\sigma E = 0 \quad (2.9)$$

Penyelesaian untuk variabel k yaitu:

$$k = \pm 1 - i\sqrt{\frac{i\omega\mu\sigma}{2}} \quad (2.10)$$

Variabel k adalah suatu bilangan kompleks yang menyatakan kondisi dari suatu medium. Sehingga, perambatan gelombang elektromagnetik di medium dinyatakan sebagai berikut:

$$E = E_0 e^{-i\omega t} e^{i\sqrt{\frac{i\omega\mu\sigma}{2}}z} e^{-\sqrt{\frac{i\omega\mu\sigma}{2}}z} \quad (2.11)$$

2.3 Skin Depth

Pada persamaan (2.11), $e^{-\sqrt{\frac{i\omega\mu\sigma}{2}}z}$ merupakan perluruhan amplitudo gelombang terhadap kedalaman (z) yang dikenal dengan istilah *skin depth* (Xiao, 2004)

Apabila medan elektromagnetik melewati lapisan konduktif, maka energinya akan teratenuasi. Jarak tempuh dari medan elektromagnetik juga akan berkurang mengikuti besarnya nilai konduktivitas dari lapisan yang dilewati. *Skin depth* menyatakan besarnya gelombang elektromagnetik terpenetrasi ke dalam bumi sehingga amplitudonya menjadi $1/e$ dari amplitudo awal. Besar nilai tahanan-jenis dan frekuensi yang digunakan akan mempengaruhi nilai *skin depth* dan dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu_0}} \quad (2.13)$$

Keterangan:

ρ = tahanan-jenis medium homogen

μ_0 = permeabilitas magnetik pada ruang hampa udara ($4\pi \times 10^{-7}$)

ω = frekuensi sudut

Substitusi semua nilai konstanta yang telah ditetapkan dan ekivalensi nilai $\omega = 2\pi f$, maka persamaan (2.13) dapat ditulis menjadi (Fitrida dkk, 2015):

$$\delta \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (2.14)$$

2.4 Impedansi

2.4.1 Impedansi bumi homogen

Gelombang elektromagnetik yang merambat di bawah permukaan dapat diketahui dengan suatu asumsi model medium.

Model bumi sederhana yaitu model *half-space* yang berarti terjadinya diskontinuitas tahanan-jenis berada pada batas udara dan bumi. Variasi lateral medan listrik dan medan magnet tidak terjadi pada medium homogen dan gelombang elektromagnetik dianggap sebagai gelombang bidang yang merambat secara vertikal sehingga setiap komponen horizontal medan listrik dan medan magnet akan bervariasi terhadap kedalaman. Impedansi merupakan rasio medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus dengan rumusan sebagai berikut (Hakim, dkk, 2011):

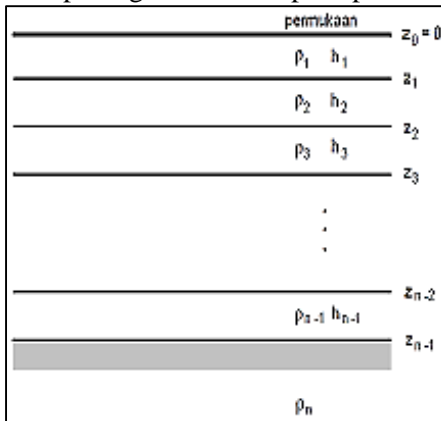
$$Z_{xy} \equiv \frac{E_x}{H_y} \tag{2.15}$$

$$Z_{yx} \equiv \frac{E_y}{H_x} \tag{2.16}$$

Untuk selanjutnya, impedansi homogen akan disebut sebagai impedansi intrinsik (ZI).

2.4.2 Impedansi bumi berlapis horizontal

Bumi dianggap sebagai beberapa lapisan horizontal dengan nilai tahanan-jenis yang berbeda. Parameter model berupa tahanan-jenis dan ketebalan tiap lapisan. Model lapisan bumi dengan beberapa lapisan horizontal dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Model Lapisan Bumi dengan n Lapisan Horizontal (Hakim dkk,2012)

Impedansi bumi berlapis horizontal dapat dinyatakan sebagai impedansi bumi homogen dengan tahanan-jenis semu. Tahanan-jenis

medium sebagai fungsi kedalaman dinyatakan dalam kurva tahanan-jenis semu (ρ_a) dan fasa sebagai fungsi periode (Hakim dkk, 2011).

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu_0} |ZI|^2 \quad (2.17)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im } ZI}{\text{Re } ZI} \right) \quad (2.18)$$

2.5 Pengolahan Data Magnetotellurik

2.5.1 Transformasi fourier

Transformasi fourier merupakan fungsi yang mampu mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi ini dapat dirumuskan sebagai berikut (Simpson dan Bahr, 2005):

$$x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{i\omega t} dt \quad (2.19)$$

Pada persamaan 2.19, fungsi gelombang dalam domain frekuensi disimbolkan dengan $x(\omega)$, sedangkan fungsi gelombang dalam domain waktu disimbolkan dengan $x(t)$.

2.5.2 Robust processing

Robust processing merupakan teknik pemrosesan secara statistik menggunakan bobot iteratif dari residual untuk menghapus data yang menyimpang oleh *noise*. *Robust processing* menggunakan beberapa pengukuran untuk merendahkan besar nilai yang menyimpang jauh dari nilai rata-rata. Oleh karena itu, *robust processing* dapat dianggap sebagai filter *noise* awal pada data MT (Simpson dan Bahr, 2005).

2.5.3 Rotasi

Arah struktur merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam kasus 2-dimensi dan 3-dimensi. Konsep tensor impedansi dapat digunakan untuk meninjau efek dari rotasi tersebut. Hubungan medan listrik dan medan magnet dituliskan sebagai berikut:

$$E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \quad (2.20)$$

$$E_y = Z_{yy}H_y + Z_{yx}H_x \quad (2.21)$$

Pada kasus 2-dimensi, apabila x atau y sejajar dengan *strike*, maka $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$, sehingga persamaan (2.20) menjadi $E_x =$

$Z_{xy}H_y$, dan rumus matematis untuk menghitung tahanan-jenis menjadi sebagai berikut:

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z_{xy}|^2 \quad (2.22)$$

Apabila x atau y tidak sejajar dengan *strike*, maka $Z_{xx} = -Z_{yy} \neq 0$. Untuk mendapatkan nilai tahanan-jenis, rumus matematis akan lebih kompleks. Oleh karena itu, penting dalam pengolahan data untuk menentukan arah struktur daerah penelitian dan melakukan rotasi data agar sejajar dengan *strike* (Xiao, 2004).

2.5.4 Koreksi Statik

Pergeseran statik merupakan perpindahan kurva MT secara vertikal yang dapat disebabkan oleh heterogenitas dekat permukaan, efek topografi dan adanya kontak dengan struktur. Ketiga penyebab ini muncul karena adanya efek galvanik yang dihasilkan dari distorsi medan magnet yang berinteraksi dengan medium yang memiliki perbedaan konduktivitas (Sulistyo dkk, 2015).

Dalam penelitian ini metode koreksi statik yang digunakan adalah metode *Averaging*. Metode ini melakukan perata-rataan beberapa stasiun pengukuran pada periode sama) di sekitar stasiun yang mengalami pergeseran statik. Nilai hasil perata-rataan dianggap sebagai nilai yang merepresentasikan keadaan homogen suatu daerah sehingga dapat dijadikan dasar untuk mengkoreksi data magnetotellurik. Setelah didapat nilai perata-rataan, data akan bergeser menuju kurva perata-rataan tersebut (Rulia, 2012).

2.5.5 Inversi

Inversi merupakan proses pengolahan data yang menggunakan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan distribusi sifat fisis bawah permukaan. Analisis data lapangan dilakukan dengan mencocokkan kurva antara model matematika dengan data lapangan (Suparno, 2007).

Hubungan antara data dan parameter model dalam permasalahan inversi dapat dituliskan menjadi (Rodi dan Mackie, 2001):

$$d = F(m) + e \quad (2.23)$$

Keterangan:

d = vektor data,

m = vektor model,

F = fungsi *forward modelling*.

Algoritma *Non-Linear Conjugate Gradient* (NLCG) yang digunakan sebagai solusi model yang meminimumkan fungsi objektif, yang dituliskan sebagai berikut:

$$\Psi(m) = (d - F(m))^T V^{-1} (d - F(m)) + \lambda m^T L^T L m \quad (2.24)$$

dengan λ merupakan parameter regularisasi dalam bentuk bilangan positif.

2.6 Mode Pengukuran Magnetotellurik

Dalam kasus pemodelan 2-dimensi data magnetotellurik, tahanan-jenis bervariasi secara horizontal dan vertikal. Persamaan yang digunakan untuk memperlihatkan geometri model 2-dimensi memunculkan persamaan medan elektromagnetik yang diidentifikasi sebagai polarisasi *transverse electric (TE)* dan *transverse magnetic (TM)*.

Pada polarisasi *TE* medan listrik sejajar dengan struktur sedangkan medan magnet tegak lurus dengan *strike*. Persamaan yang berlaku adalah (Wardhana dkk,2017):

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = i\omega\mu_0\sigma E_x \quad (2.25)$$

$$H_y = -\frac{1}{i\omega\mu_0} \frac{\partial E_x}{\partial z} \quad (2.26)$$

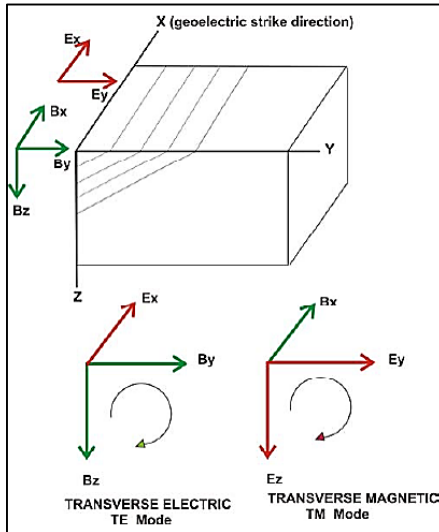
Pada polarisasi *TM*, medan magnet sejajar dengan struktur sedangkan medan listrik tegak lurus dengan *strike*. Persamaan yang berlaku adalah;

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho \frac{\partial H_x}{\partial z} \right) = i\omega\mu_0\sigma H_x \quad (2.27)$$

$$E_y = \rho \frac{\partial H_x}{\partial z} \quad (2.28)$$

Persamaan (2.25) untuk medan listrik E_x dan persamaan (2.27) untuk medan magnet H_x menggunakan pendekatan persamaan beda-hingga (*finite difference*) yang dinyatakan sebagai sistem persamaan linear.

Gambar 2.3 merupakan ilustrasi dari polarisasi *TE* dan *TM* pada model 2-dimensi



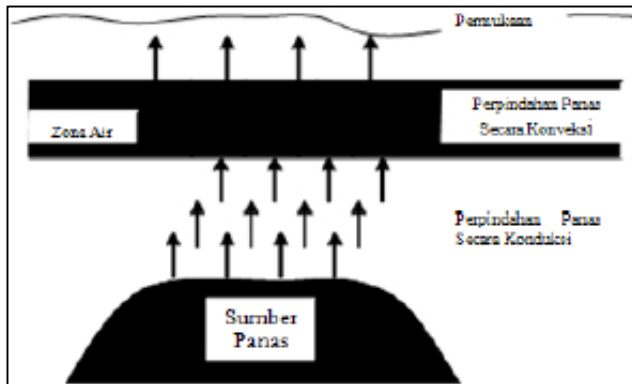
Gambar 2. 3 Konfigurasi Medan Elektromagnetik pada Model 2-Dimensi (Xiao,2004)

2.7 Panasbumi

Menurut Suhartono (2012), panasbumi merupakan energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi. Namun tidak semua sumber panas dapat dikatakan sebagai panasbumi. Ada beberapa syarat suatu daerah mampu dikategorikan sebagai daerah panasbumi, antara lain:

- Adanya batuan panas (sebagai sumber panas)
- Adanya persediaan air tanah yang bersirkulasi dengan sumber panas dan menghasilkan uap dan air panas (fluida panasbumi).
- Adanya batuan reservoir untuk menyimpan fluida panasbumi.
- Adanya batuan penudung.
- Adanya struktur yang menjadi jalan bagi fluida panasbumi untuk bergerak ke permukaan.
- Temperatur yang cukup.

Sistem panasbumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari sumber panas yang terjadi secara konduksi dan konveksi seperti yang terlihat pada **Gambar 2.3**. Perpindahan secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan secara konveksi terjadi melalui kontak antara air dengan sumber panas.



Gambar 2. 4 Perpindahan Panas (Suhartono, 2012)

Sistem panasbumi di Indonesia umumnya merupakan sistem hidrotermal. Sistem hidrotermal dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan pada jenis fluida yang terkandung, antara lain:

- a. Sistem dominasi uap (*vapour dominated system*) merupakan sistem panasbumi yang menghasilkan lebih banyak uap. Diperkirakan uap mengisi rongga-rongga rekahan, sedangkan air mengisi pori-pori batuan.
- b. Sistem dominasi air (*water dominated system*) merupakan sistem panasbumi yang menghasilkan fluida dua fasa (uap dan air).

2.8 Tinjauan Daerah Penelitian

2.8.1 Geologi

Menurut PSDMBP (2012), stratigrafi daerah MM disusun berdasarkan hubungan relatif antara masing-masing satuan batuan. Berdasarkan hasil penyelidikan di lapangan, batuan di daerah penyelidikan dikelompokkan ke dalam 14 satuan batuan, yang terdiri dari tiga satuan batuan malihan, dua satuan batuan sedimen, tujuh satuan batuan vulkanik, satu satuan batuan terobosan dan satu endapan permukaan (aluvium). Batuan malihan terdiri dari satuan batusabak, meta andesit dan meta batugamping. Batuan sedimen terdiri dari satuan batugamping kristalin dan endapan danau. Batuan vulkanik terdiri dari lava dan aliran piroklastik, sedangkan endapan permukaan terdiri dari material lepas yang termasuk dalam endapan aluvium.

- a. Satuan batusabak (Pbs) tersebar di bagian utara dan barat daerah penyelidikan. Satuan batuan ini terdiri dari

dominan batusabak, meta batulempng dan kuarsit yang termasuk dalam Formasi Kuantan berumur Permo-Karbon.

- b. Satuan meta andesit (Pma) tersebar di bagian timur daerah penyelidikan dan berupa aliran lava yang berkomporsi andesit yang termasuk dalam Formasi Vulkanik Panti berumur Permo-Trias.
- c. Satuan meta batugamping (Pmg) tersebar di bagian timur daerah penyelidikan yang tersusun oleh batugamping yang terdeformasi menjadi marmer dan termasuk dalam Formasi Silungkang berumur Permo-Trias
- d. Satuan batugamping kristalin (Pkg) tersebar di bagian timur daerah penyelidikan dan termasuk dalam Formasi Silungkang berumur Permo-Trias.
- e. Satuan intrusi Bukit Rao terletak di bagian timur penyelidikan. Satuan ini terdiri dari batuan terobosan berjenis granodiorit yang menerobos satuan meta batugamping dan termasuk dalam Formasi Ulai berumur Tersier (Eosen-Oligosen).
- f. Satuan aliran piroklastik tersebar di bagian tengah, selatan, timur laut dan tenggara daerah penyelidikan yang diperkirakan berumur Kuartar.
- g. Satuan lava Bukit Godang (Qlg) tersebar di bagian barat daya daerah penyelidikan. Satuan ini terdiri dari lava dengan komposisi diorit sampai andesit-dasitik dan berumur Kala Plistosen.
- h. Satuan lava Bukit Godombong (Qlgd) tersebar di bagian tenggara memanjang mengikuti punggung sampai ke tengah daerah penyelidikan. Satuan ini terdiri dari lava dengan komposisi basalt yang berumur Kala Plistosen.
- i. Satuan lava Bukit Bangkok (Qlb) tersebar di bagian barat daya daerah penyelidikan. Satuan ini terdiri dari lava dengan komposisi andesit yang berumur Plistosen.
- j. Satuan lava Bukit Tampakbulakan (Qlt) tersebar di bagian timur daerah penyelidikan. Satuan ini terdiri dari lava dengan komposisi dasit yang berumur Plistosen.
- k. Satuan lava Tombangpinang (Qltp) tersebar di bagian utara daerah penyelidikan. Satuan ini terdiri dari lava

dengan komposisi andesit-basaltis yang berumur Plistosen.

- l. Satuan lava Bukit Sedang (Qls) tersebar di bagian utara daerah penyelidikan. Stauan ini terdiri dari lava dengan komposisi obsidian yang berumur Plistosen.
- m. Satuan endapan danau (Qed) tersebar di bagian barat laut memanjang sampai ke tengah daerah penyelidikan. Satuan ini terdiri dari perselangan antara batulempung dengan batupasir dan konglomerat yang proses pengendapannya mulai berlangsung dari Plistosen sampai Holosen.
- n. Aluvium (Qa) yang terdiri dari material lepas berupa lempung, pasir, bongkahan andesit, asalt, kuarsit dan batusabak. Proses pengendapan masih berlangsung sampai sekarang.

Berdasarkan hasil penyelidikan, analisis peta DEM dan peta topografi, serta gejala-gejala struktur di permukaan seperti pemunculan mata air panas, kelurusan lembah dan punggung, kekar-kekar, bidang sesar, dan zona hancuran batuan, maka daerah penyelidikan teramati beberapa struktur sesar, yaitu:

- a. Sesar normal berarah barat laut-tenggara, yaitu sesar Rantau Panjang dan sesar Andilan.
- b. Sesar normal berarah barat daya-timur laut, yaitu sesar Batuampar, sesar Kuraba dan sesar Botung.

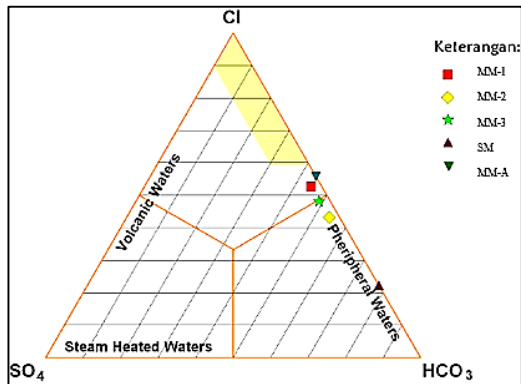
Sesar mendatar berarah barat laut-tenggara yang memotong dan mengakibatkan pergeseran pada batuan dan struktur yang sudah terbentuk sebelumnya. Gambar 2.5 merupakan peta geologi untuk daerah penelitian.

2.8.2 Geokimia

Karakteristik dan Tipe Air Panas

Komposisi kimia dan konsentrasi kimia sampel air panas daerah MM yang didapatkan dari hasil analisis kimia di laboratorium, kemudian di plot dalam diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ yang memperlihatkan mata air panas daerah MM termasuk ke dalam tipe air klorida-bikarbonat yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 (PSDMBP, 2012).

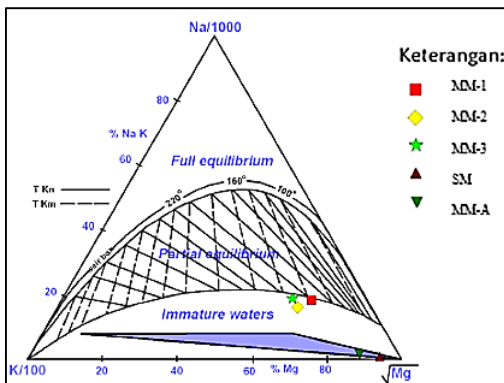
Pengelompokkan mata air panas dipengaruhi oleh kandungan dan kondisi air panas, pemunculan mata air panas, pengaruh kontaminasi dan pengenceran oleh air sekitarnya. Hasil analisa kimia mata air panas MM (MM-1, MM-2 dan MM-3) menunjukkan kandungan ion-ion, seperti bikarbonat (HCO₃), klorida (Cl) dan Natrium (Na) dengan konsentrasi HCO₃ antara 381,57 – 496,36 ppm, Cl antara 391,99 – 491,72 ppm dan Na antara 355,29 – 431,35 ppm. Kemudian diplot ke dalam diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ menunjukkan bahwa air panas di daerah MM termasuk dalam tipe air panas klorida-bikarbonat.



Gambar 2. 6 Diagram Cl-SO₄-HCO₃ (PSDMBP, 2012)

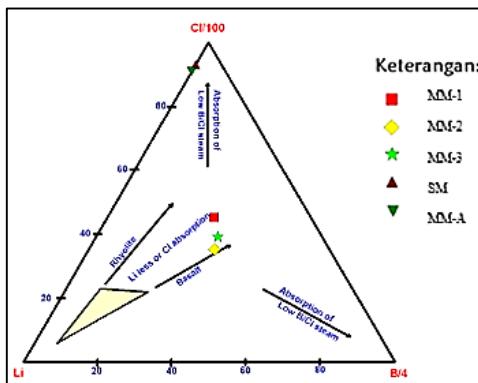
Gambar 2.7 merupakan hasil penggambaran dalam segitiga $\text{Na}/1000\text{-K}/100\text{-}\sqrt{Mg}$ yang menunjukkan mata air panas MM (MM-1, MM-2 dan MM-3) umumnya berada pada zona garis perbatasan *partial equilibrium* dan *immature water* hal ini menggambarkan kondisi air panas kemungkinan berasal langsung dari kedalaman dengan temperatur cukup tinggi serta menunjukkan bahwa kondisi mata air panas MM relatif sedikit sekali oleh adanya pengaruh air

permukaan atau pengenceran air meteorik. Sedangkan mata air panas SM berada pada zona *immature water* kemungkinan merupakan air permukaan yang terpanasi atau terpengaruh oleh pengenceran air permukaan cukup dominan, sehingga data air panas ini tidak dapat digunakan.



Gambar 2. 7 Diagram Na/1000-K/100-√Mg (PSDMBP,2012)

Gambar 2.8 merupakan hasil penggambaran dalam diagram segitiga Cl-Li-B. Mata air panas MM (MM-1, MM-2 dan MM-3) seluruhnya berada di tengah dan cenderung ke arah Cl-B yang menunjukkan lingkungan pemunculan mata air panas pada umumnya berada diantara batuan sedimen dan vulkanik.



Gambar 2. 8 Diagram Cl-Li-B (PSDMBP,2012)

Pendugaan Temperatur Bawah Permukaan

Geotermometri kimia (SiO_2 dan Na/K) umumnya digunakan untuk mengestimasi temperatur bawah permukaan di daerah panasbumi. Metode tersebut hanya mampu diaplikasikan untuk air panas yang mempunyai pH normal.

Perkiraan temperatur bawah permukaan daerah kenampakan panasbumi MM dan sekitarnya yang memungkinkan adalah menggunakan metode geotermometer SiO_2 dan Na-K sehingga didapatkan hasil yang disajikan dalam Tabel 2.1.

Perkiraan temperatur bawah permukaan daerah MM dengan menggunakan geotermometer SiO_2 (*conductive-cooling*) rata-rata berkisar antara 148 – 161 °C dan termasuk ke dalam entalphi sedang, sedangkan menggunakan geotermometer Na/K rata-rata berkisar antara 218 – 250 °C yang menunjukkan temperatur relatif cukup tinggi.

Tabel 2. 1 Perkiraan Temperatur (PSDMBP,2012)

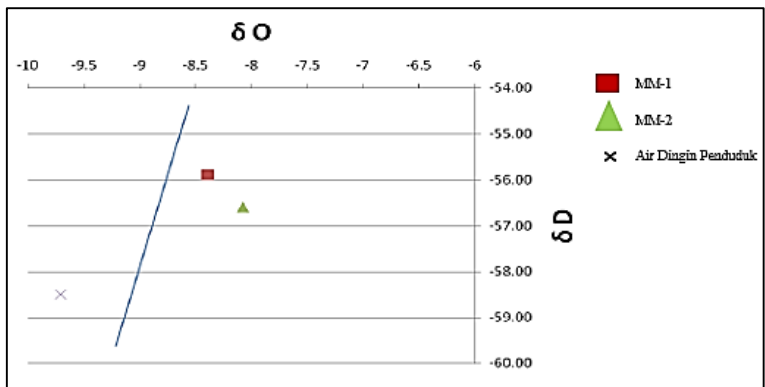
No	Lokasi	Temp. Air Panas	SiO_2	SiO_2	Na-K
			(cc)	(ac)	Giggenbach
1	MM-1	74,8	148	142	218
2	MM-2	68,4	157	149	250
3	MM-3	72,7	161	153	235
4	SM	37,1	135	131	418

Isotop ^{18}O dan ^2H

Berdasarkan data hasil isotop ^{18}O dan Deuterium yang diperoleh dari sampel mata air panas MM setelah diplot dalam diagram hubungan antara Oksigen-18 dan Deuterium yang pada umumnya cenderung menjauhi garis air meteorik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 mengindikasikan telah terjadinya pengkayaan ^{18}O karena adanya interaksi fluida panas dengan batuan di kedalaman, hal ini mencerminkan bahwa mata air panas MM kemungkinan berasal dari kedalaman dan kemungkinan pengenceran oleh air meteorik sangat kecil.

Sebagai perbandingan dilakukan pengukuran isotop untuk air dingin di daerah MM yang diambil dari air sumur penduduk yang

biasanya digunakan untuk keperluan sehari-hari. Terlihat bahwa hasil plot air dingin berada di sebelah kiri garis air meteorik yang mencerminkan bahwa telah terjadi reaksi antara batuan dengan air formasi pada kondisi temperatur yang tidak terlalu tinggi (PSDMBP, 2012).



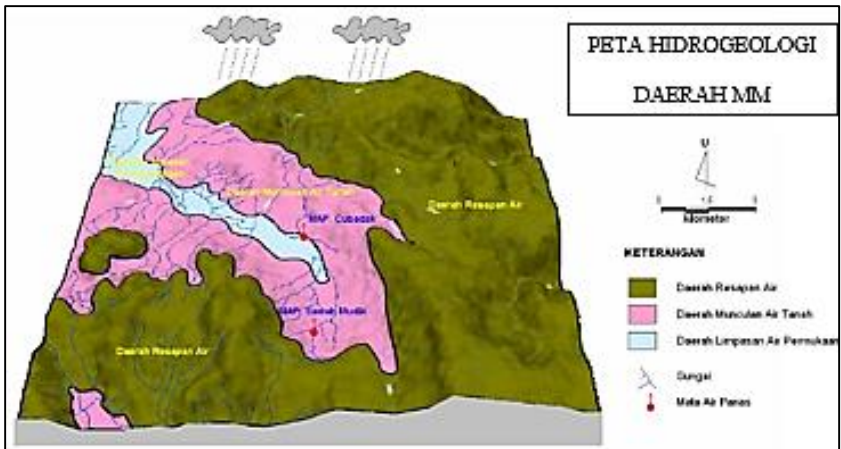
Gambar 2. 9 Diagram Hubungan ^{18}O dan 2H (PSDMBP,2012)

2.8.3 Hidrogeologi

Wilayah air tanah daerah penyelidikan terbagi tiga, yaitu wilayah resapan air, munculan air tanah dan wilayah limpasan/aliran air permukaan yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 (PSDMBP, 2012).

- Daerah resapan air (*recharged area*) mencakup 65% dari luas daerah penyelidikan. Pada daerah ini air hujan meresap ke bumi melalui permeabilitas batuan, selanjutnya terakumulasi menjadi air tanah dalam dan air tanah dangkal.
- Daerah munculan air tanah (*discharged area*) mencakup 28% dari luas daerah penyelidikan. Air hujan yang turun di daerah resapan air meresap ke bumi melalui zona permeabilitas batuan, sebagian besar masuk ke bumi dan terkumpul menjadi air tanah dalam dan dangkal. Selanjutnya pada lokasi berelevasi rendah, akan muncul berupa mata air panas dan air dingin.
- Daerah limpasan air permukaan (*run-off water area*) mencakup 7% dari luas daerah penyelidikan. Aliran air permukaan merupakan air hujan yang mengalir di permukaan tanah dan membentuk sungai.

Manifestasi panasbumi MM terdapat pada daerah limpasan air permukaan, sedangkan manifestasi SM terdapat di daerah munculan air tanah (*discharged area*). Air hujan yang meresap ke dalam bumi melalui zona permeabilitas batuan kemudian mengalami pemanasan oleh proses vulkanisme atau batuan penghantar panas secara konveksi, selanjutnya muncul ke permukaan berupa mata air panas.



Gambar 2. 10 Peta Hidrogeologi Daerah MM (PSDMBP,2012)