

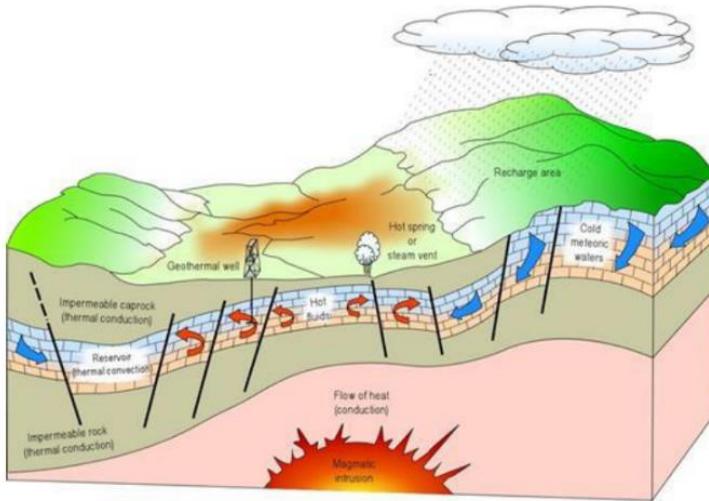
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sistem Panasbumi**

Secara singkat panasbumi didefinisikan sebagai panas yang berasal dari dalam bumi. Energi panasbumi adalah energi panas alami dari dalam bumi yang ditransfer ke permukaan bumi secara konduksi dan konveksi . Pada dasarnya sistem panasbumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (*bouyancy*). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke bawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. (Saptadji, 2003).

Sistem panasbumi dapat digambarkan sebagai konveksi fluida pada kerak bumi teratas, dimana dalam ruang terperangkap, transfer panas dari sumber panas (*heat source*) ke penyimpan panas dalam keadaan permukaan yang bebas (*free surface*). Sistem panasbumi sendiri umumnya dibangun atas lima elemen utama, yaitu *heat source*, *reservoir*, *clay cap*, struktur geologi yang biasanya berupa patahan dan terakhir adalah fluida yang merupakan pembawa panas. Dimana sistem panasbumi diilustrasikan pada **Gambar 2.1** .



Gambar 2. 1 Skema Sistem Panasbumi Ideal (Dickson et al, 2004)

Menurut Harsh (2007), sistem panasbumi banyak yang berada pada zona vulkanik (Miosen - Kuartar), dimana sumber panasnya berasal dari magma. Dimana dengan umur intrusi magma yang muda dan memiliki suhu yang tinggi ( $500 - 1000^{\circ}\text{C}$ ) dan memiliki kedalaman beberapa kilometer dari permukaan.

Struktur pada suatu sistem panasbumi struktur memiliki suatu fungsi sebagai jalur yang dilalui fluida dari permukaan menuju ke *reservoir* atau sebaliknya yaitu mengalirkan fluida panas dari *reservoir* menuju permukaan dimana nantinya dari struktur itu sendiri memungkinkan adanya suatu manifestasi yang terbentuk. Sebagian fluida lagi yang terperangkap dibawah batuan *impermeable* akan mengalami proses akumulasi panas. Lokasi dimana terjadi akumulasi panas disebut sebagai *reservoir*. Proses akumulasi panas mengakibatkan batuan *impermeable* di atasnya mengalami perubahan struktur dan sifat batuan. Batuan yang mengalami perubahan ini disebut batuan alterasi yang dalam sistem panasbumi berfungsi sebagai *clay cap* atau batuan penudung untuk menjaga proses akumulasi panas di *reservoir*.

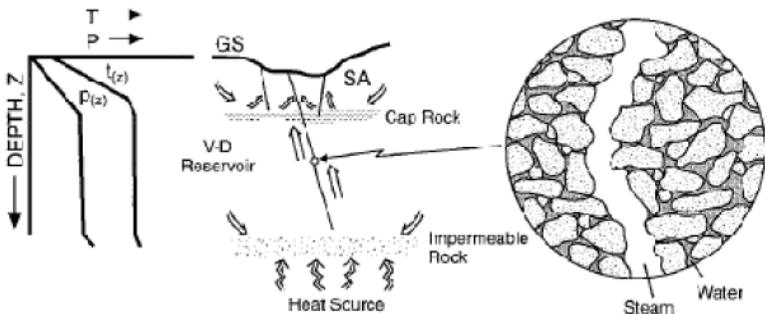
Marini (2001), mengelompokan model geologi daerah panasbumi di dunia menjadi dua yaitu:

1. Sistem magmatik vulkanik aktif
2. Sistem magmatik non-vulkanik aktif

Sistem magmatik vulkanik aktif yang memiliki temperature tinggi umumnya terdapat pada daerah pertemuan antara lempeng samudra dan benua. Dimana posisi Indonesia yang terletak antara lempeng Eurasia dan Indo-Australia menyebabkan Indonesia memiliki potensi panasbumi yang cukup besar. Sedangkan untuk sistem magmatik non-vulkanik aktif memiliki sumber panas yang salah satunya berasal dari intrusi batuan granit yang sudah lama namun masih menghasilkan panas karna adanya proses peluruhan radioaktif yang masih berlangsung.

Ditinjau dari fluida yang terdapat pada *reservoir* Goff dan Janik (2000) membaginya menjadi 2 yaitu:

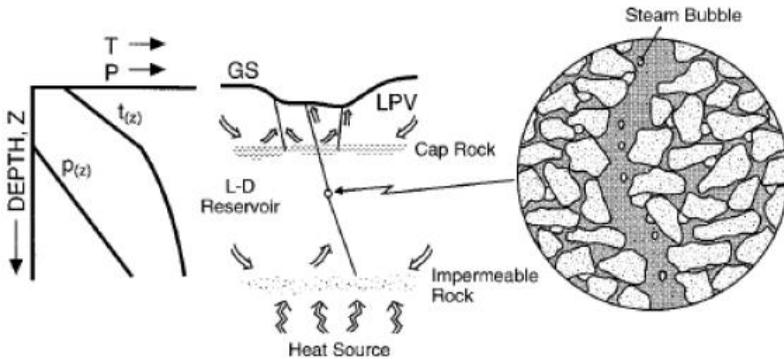
1. *Vapour-Dominated System*



Gambar 2. 2 Model Skematik *Vapour-Dominated System* (Goff & Janik, 2000)

**Gambar 2.2** ialah model skematik dari *vapour-dominated system* yang merupakan sistem tertutup dimana sangat sedikit *rechargeable water* (air bisa meresap namun sangat lama akibat permeabilitas lapisan batuan yang sangat rendah). Air yang masuk berputar-putar di *reservoir* dan tidak ada *outflow* sehingga mengakibatkan adanya arus konveksi. Hal ini lama kelamaan akan mengakibatkan batuan di *reservoir* menjadi homogen dan temperature maupun tekanan fluida menjadi relatif konstan. Fluida di *reservoir* yang didominasi oleh uap akibat temperatur dan tekanan yang sangat tinggi, menghasilkan manifestasi berupa fumarol dan *acid hot spring*.

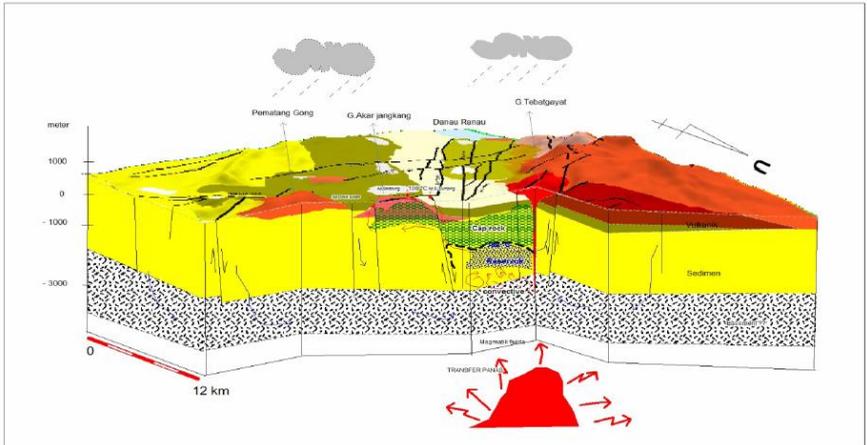
## 2. Water-Dominated System



Gambar 2. 3 Model Skematik *Water-Dominated System* (Goff & Janik, 2000)

**Gambar 2.3** ialah model dari *water-dominated system*, yang merupakan sistem terbuka yang mana terdapat *rechargeable water*. *Reservoir* mengandungi air dan uap namun lebih didominasi oleh air. Pada sistem ini terdapat *outflow* sehingga jenis manifestasinya lebih beragam. Adanya *outflow* dan *rechargeable water* membuat energi terlepas sebagian sehingga temperatur dan tekanan di reservoir berubah seiring dengan kedalamannya. Semakin dalam kedalamannya maka semakin tinggi tekanannya (*hydrostatic pressure system*). Sedangkan temperatur di *reservoir* memiliki *gradient* panasbumi yang sangat kecil. Di atas reservoir terjadi arus konduksi sama seperti pada sistem *vapour dominated*.

Pada penelitian terdahulu terkait daerah panasbumi ada beberapa banyak namun pada kesempatan kali ini penulis mengambil contoh pada lapangan Cut Sofia. Pada lapangan “Cut Sofia” termasuk kedalam sistem panasbumi vulkanik yang berada pada sistem sesar sumatera. Pembentukan sistem panasbumi “Cut Sofia” dicirikan dengan munculnya beberapa manifestasi permukaan dengan rentang suhu antara 44,4 – 92,5 °C. Dimana dari hasil survei geokimia yang kemudian dihitung dengan geotermometer didapati panas pada reservoir sebesar 176 °C yang dikategorikan dalam entalpi menengah. Sistem panasbumi pada wilayah Cut Sofia dari hasil penelitian oleh PSDG didapati model tentatif seperti pada **Gambar 2.4** (PSDG, 2011).



Gambar 2. 4 Model tentatif sistem panasbumi Cut Sofia (PSDG, 2011 dimodifikasi oleh penulis)

Hasil pengukuran metode magnetotellurik yang dilihat pada model tentatif tersebut didapati nilai tahanan jenis rendah diinterpretasikan sebagai batuan penudung atau ubahan yang tersebar di bagian tengah membentuk pola memanjang berarah barat laut – tenggara. Tahanan jenis rendah tersebut tersebar dari permukaan hingga kedalaman sekitar 1250 m. Dibawah tahanan jenis rendah tersebut diinterpretasikan sebagai zona reservoir dilihat dari nilai tahanan jenis sedang dimana puncak dari zona ini berada pada kedalaman 1250 m dan memiliki ketebalan 1000 m. Pada lapangan ini diperkirakan untuk sumber panas berasal dari aktivitas vulkanik Tebak gayat yang berumur kuartar (PSDG, 2011).

## 2.2 Geologi Regional

Menurut Pusat Sumber Daya Geologi (2011), daerah panasbumi Cut Sofia secara tektonik terletak pada busur magmatik Sumatera dan terletak pada salah satu segmen sesar Sumatera bagian selatan. Menurut Bemmelen (1949), busur magmatik dihasilkan dari hasil kegiatan tektonik yang berkaitan dengan penujaman Lempeng Indo-Australia, yang bergerak ke arah utara menuju timur laut, bergerak terhadap Lempeng Eurasia yang relative diam. Penujaman Lempeng Indo-Australia tersebut dapat mempengaruhi

keadaan batuan, morfologi, dan struktur di wilayah Sumatera Selatan sehingga menghasilkan busur magmatik Sumatera (Bemmelen, 1949).

Daerah panasbumi Cut Sofia berada pada suatu graben yang terbentuk akibat adanya aktivitas sesar Sumatera. Secara umum, daerah ini disusun oleh batuan vulkanik dan batuan sedimen klastik yang berumur Tersier hingga Kuartar dapat dilihat pada **Gambar 2.5**. Berikut adalah satuan batuan daerah Cut Sofia dengan urutan dari tua ke muda (PSDG, 2011):

- Satuan Lava Akar Jangkang: tersebar di bagian tengah berupa lava basalt kehitaman yang terkekarkan kuat.
- Satuan Batupasir: tersebar di bagian utara hingga ke bagian barat yang tersusun dari batupasir, Serpih, batupasir gampingan, dan konglomerat.
- Satuan Lava Asadimana: berada di ujung barat laut berupa lava andesit warna abu-abu hitam
- Satuan Lava Pematang Gong: tersebar dibagian utara tersusun oleh lava dan breksi lava basaltis warna kehitaman.
- Satuan Breksi Tua: berada di tengah memanjang ke selatan berupa breksi tufa berwarna keputih-putihan hingga kecokelatan yang telah mengalami deformasi intensif.
- Satuan Aliran Piroklastik Ranau: menyebar ke arah utara mengisi zona depresi yang sejajar dengan arah aliran sungai Way Selabung ke hilir.
- Satuan Aliran Piroklastik Sepatahu: mengisi bagian timur laut atau bagian barat daya dari Danau Ranau.
- Satuan Lava Laai: berada di bagian utara Danau Ranau. Membentuk morfologi tubuh vulkanik yang terisolir.
- Satuan Lava Bengkok: menempati bagian barat laut berupa batuan vulkanik lava andesit dan breksi lava.
- Satuan Lava Pandan: menempati bagian barat yang tersusun oleh lava andesit dan aliran piroklastik.
- Satuan Lava Gedang: terdiri dari lava dan breksi lava yang tersebar di baratdaya
- Satuan Lava Perean: menempati bagian tengah berupa morfologi perbukitan yang soliter.
- Satuan Lava Tebat Gayat: berada di bagian barat berupa perbukitan yang terisolir.
- Aluvium



Menurut peneliti PSDG (2011), struktur geologi yang berkembang didominasi oleh arah barat laut – tenggara yang terpotong oleh sesar dengan arah baratdaya – timur laut dan arah utara – selatan. Sesar di daerah panasbumi Cut Sofia dikelompokkan menjadi tiga pola arah utama yaitu :

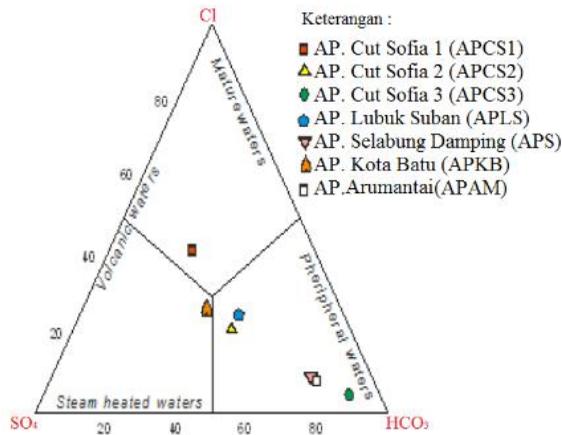
- Pola sesar barat laut – tenggara, ditunjukkan oleh sesar Asadimana, sesar kayumanis, sesar Telukagung, sesar Kotadalam, dan sesar Wai Selabung yang mengisi bagian tengah dari depresi Selabung, kemungkinan sesar ini berumur Pra-Tersier ini dipotong oleh sesar lain yang berpola utara – selatan dan baratdaya – timur laut yang diperkirakan lebih muda. Sesar Wai Selabung dan sesar Kotadalam diperkirakan mengontrol munculnya air panas Selabung Dumping yang muncul di dinding sungai Wai Selabung.
- Pola Sesar utara – selatan, diwakili oleh sesar Pematangbuluh, sesar Perean, sesar Sinarmarga, dan sesar Akarjangkang. Sesar tersebut mengikuti pola Sunda yang terbentuk pada Eosen dan diperkirakan merupakan sesar tua. Ditunjukkan dengan perubahan kelurusan aliran sungai dan juga topografi. Beberapa sesar memotong depresi yang terbentuk akibat sesar Sumatera yang berarah barat laut – tenggara di sekitar Sinarmarga dan Talanan. Sesar Akarjangkang diperkirakan merupakan salah satu sesar yang mengontrol munculnya air panas Cut Sofia 1 dan 2.
- Pola sesar baratdaya – timur laut, berlawanan dengan arah sesar Sumatera dan diperkirakan merupakan antitetiknya. Beberapa sesar yang memiliki pola ini adalah sesar Pematang Gong dan sesar Gistong.

### **2.3 Geokimia Regional**

Manifestasi panas bumi yang ada di sekitar lokasi penyelidikan terdiri dari pemunculan mata air panas di Sungai Wai Selabung (2 kelompok), di anak sungai Wai Selabung (2 kelompok), manifestasi lainnya berupa alterasi yang muncul di dekat air panas Suban (pinggir sungai Wai Selabung) (PSDG, 2011).

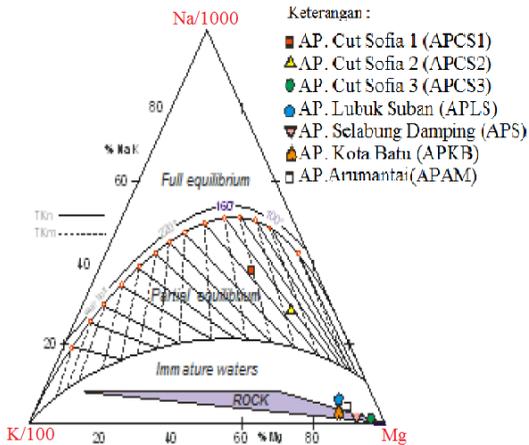
Pada penelitian terkait geokimia pada manifestasi permukaan yang dilakukan PSDG (2011), didapati beberapa hasil terkait mata air

panas, mata air panas yang terletak pada daerah penelitian yaitu mata air panas Cut Sofia 1, Cut Sofia 2, Cut Sofia 3, Selabung Damping, dan Lubuk Suban. Pada diagram  $Cl - SO_4 - HCO_3$  seperti pada **Gambar 2.6**, dimana air panas bertipe klorida bikarbonat untuk untuk mata air panas dengan temperature tinggi 89,3 – 92,5 derajat *celcius* yaitu Cut Sofia 1 dan Cut Sofia 2 dan juga bertipe bikarbonat untuk mata air panas Cut Sofia 3 dan Selabung damping dimana memiliki temperature yang cukup rendah 40,2 – 44,4 derajat *celcius* (PSDG, 2011).



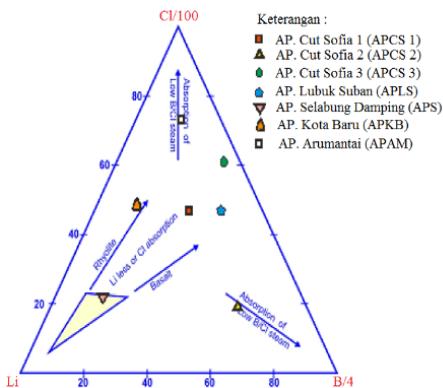
Gambar 2. 6 Diagram Cl- SO4- HCO3 (PSDG, 2011 dimodifikasi oleh penulis)

Pada diagram segitiga Na – K – Mg (**Gambar 2.7**), air panas Cut Sofia 1 dan Cut Sofia 2 berada pada zona *partial equilibrium* mengindikasikan reaksi fluida dengan batuan yang diindikasikan sebagai reservoir telah mengalami kesetimbangan sebagian, sementara untuk sample mata air panas yang lain berada pada zona *immature water* yang mengindikasikan bahwa air panas tersebut telah tercampur dengan air dingin pada permukaan dengan jumlah atau proporsi yang tinggi (PSDG, 2011).



Gambar 2. 7 Diagram segitiga Na - K - Mg (PSDG, 2011 dimodifikasi oleh penulis)

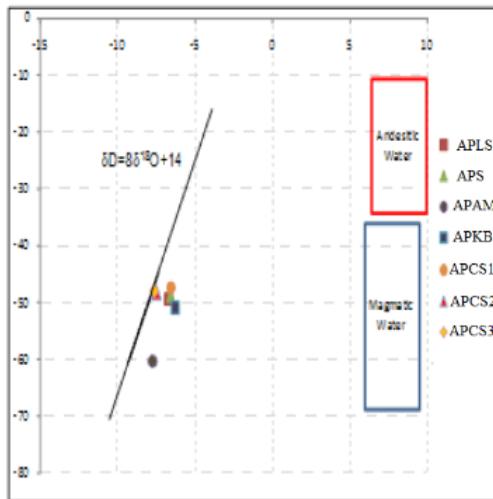
Pada digram segitiga Cl – Li – B (**Gambar 2.8**) pada mata air panas Cut Sofia menunjukkan lokasi pembentukannya berada pada lingkungan vulkanik. Namun untuk mata air panas Cut Sofia 2 dimana sedikit mendekati sudut B diperkirakan karna selama perjalanan menuju permukaan melewati atau mengalami kontak dengan batuan sedimen (PSDG, 2011).



Gambar 2. 8 Grafik Segitiga Cl- Li-B (PSDG, 2011 dimodifikasi oleh penulis)

Kemudian sample pada tiap mata air panas diploting pada grafik isotop (**Gambar 2.9**) terhadap  $\delta^{18}O$  . Memperlihatkan bahwa

air panas Cut Sofia 2 dan Cut Sofia 3 terletak sangat dekat *Meteoric Water Line* (MWL), indikasi besarnya pengaruh meteorik atau air permukaan. Sementara air panas yang lain, yaitu air panas Cut Sofia 1, Lubuk Suban, Selabung Damping, Arumatai, dan Kota Batu menunjukkan adanya pengkayaan oksigen berkisar antara 1,14 – 1,84‰ sehingga posisi pada grafik berada di sebelah kanan dari garis MWL, indikasi pembentukan mata air panas berhubungan dengan interaksi antara fluida panas pada sistem panas bumi dengan batuan yang menyebabkan terjadinya pengkayaan  $^{18}\text{O}$  (PSDG, 2011).



Gambar 2. 9 Grafik isotope

Pada wilayah penelitian pasokan fluida terbesar dari sistem panas bumi berasal dari air meteorik, namun diperkirakan terdapat pula fluida yang berasal dari magma (*juvenile*) dalam proporsi yang kecil. Untuk menjaga pasokan air meteorik tersebut perlu dijaga daerah resapan (*recharge area*) yang ada. Dimana dari hasil survei geokimia yang kemudian dihitung dengan geotermometer Na-K didapati panas pada reservoir sebesar 176 °C yang dikategorikan dalam entalpi menengah (PSDG, 2011).

## 2.4 Metode Magnetotellurik

Metode magnetotellurik (MT) merupakan metode pasif yang memanfaatkan medan elektromagnetik alam untuk menggambarkan keadaan bawah permukaan bumi, mulai dari kedalaman beberapa puluh meter hingga ratusan kilometer (Telford, Geldart, dan Sheriff; 1990). Medan elektromagnetik tersebut ditimbulkan oleh berbagai proses fisik yang cukup kompleks sehingga spektrum frekuensinya sangat lebar, yaitu antara  $10^{-5}$  Hz –  $10^4$  Hz. Umumnya frekuensi yang kurang dari 1 Hz disebabkan oleh aktivitas *solar wind* yang mengandung partikel-partikel bermuatan listrik dan berinteraksi dengan medan magnet permanen bumi sehingga menyebabkan variasi medan elektromagnetik, sedangkan untuk frekuensi lebih besar dari 1 Hz disebabkan oleh aktifitas meteorologis berupa petir (Widarto, 2014). Petir yang terjadi di suatu tempat menimbulkan gelombang elektromagnetik yang terperangkap diantara ionosfer dan bumi membentuk *wave guide* yang menjalar mengitari bumi.

Kebergantungan fenomena listrik dan magnet terhadap sifat kelistrikan terutama konduktivitas medium (bumi) dapat dimanfaatkan untuk keperluan eksplorasi menggunakan metode magnetotellurik. Hal ini dilakukan dengan mengukur secara simultan variasi medan listrik (**E**) dan medan magnet (**H**) sebagai fungsi waktu. Informasi mengenai konduktivitas medium yang terkandung dalam data magnetotellurik dapat diperoleh dari penyelesaian persamaan Maxwell menggunakan model-model yang relatif sederhana. Pada dekade 50-an untuk pertama kali hal tersebut dilakukan dan dibahas oleh Tikhonov (1950) yang kemudian menjadi dasar metode magnetotellurik. Dengan demikian metode ini masih relatif baru jika dibandingkan dengan metode geofisika lainnya. Perkembangan teori medan elektromagnetik dapat dideskripsikan melalui empat persamaan berikut, yang disebut persamaan Maxwell (Ranganayaki, 1984).

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times H = j + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot D = q \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.4)$$

dimana :

$E$  : medan listrik (volt/m)

$B$  : fluks atau induksi magnetik (weber/m<sup>2</sup> atau Tesla)

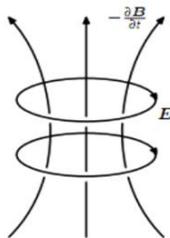
$H$  : medan magnet (Ampere/m)

$J$  : rapat arus (Ampere/m<sup>2</sup>)

$D$  : perpindahan listrik (Coulomb/m<sup>2</sup>)

$q$  : rapat muatan listrik (Coulomb/m<sup>3</sup>)

Persamaan (2.1) diturunkan dari hukum Faraday yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik ( $B$ ) menyebabkan medan listrik ( $E$ ) dengan gaya gerak listrik berlawanan dengan variasi fluks magnetik yang menyebabkannya (**Gambar 2.10 (a)**). Persamaan (2.2) merupakan generalisasi teorema Ampere dengan memperhitungkan hukum kekekalan muatan. Persamaan tersebut menyatakan bahwa medan magnet ( $H$ ) timbul akibat fluks total arus listrik ( $j$ ) yang disebabkan oleh arus konduksi dan arus perpindahan (**Gambar 2.10 (b)**).



(a)



(b)

Gambar 2. 10 (a) Hukum Faraday, (b) Hukum Ampere (Chaves dan Jones, 2012)

Persamaan (2.3) menyatakan hukum Gauss yaitu fluks elektrik pada suatu ruang sebanding dengan muatan total yang ada dalam ruang tersebut. Sedangkan persamaan (2.4) yang identik

dengan persamaan (2.3) berlaku untuk medan magnet, namun dalam hal ini tidak terdapat monopul magnetik (Chave dan Jones, 2012).

## 2.5 Skin Depth

Dalam kasus struktur homogen, komponen medan listrik dan medan magnet dapat digunakan (Simpson dan Bahr, 2005)

$$A_k = A_{k0} \cdot e^{i\omega t} \cdot e^{-iaz} \cdot e^{-az} \quad (2.5)$$

dengan  $a = \sqrt{\mu_0 \sigma \omega / 2}$  ( $m^{-1}$ ), dimana  $\mu_0$  merupakan permeabilitas magnetik (Henry/m),  $\sigma$  merupakan konduktivitas (1/Ohm.m atau Siemens/m), dan  $\omega$  merupakan frekuensi (1/s). Faktor pertama dari persamaan tersebut adalah amplitudo gelombang ( $A$ ), faktor kedua ( $e^{i\omega t}$ ) dan ketiga ( $e^{-iaz}$ ) (eksponensial imajiner) adalah waktu sinusoidal dan variasi kedalaman, serta faktor keempat ( $e^{-az}$ ) adalah eksponensial pelemahan (atenuasi). Pelemahan ini dapat diukur oleh *skin depth*  $\delta$ , harga  $z$  untuk pelemahan ini mengikuti syarat  $1/e$  (Tikhonov, 1950).

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \sigma \omega}} \approx 500 \sqrt{\rho T} \text{ (m)} \quad (2.6)$$

## 2.6 Impedansi

Kekuatan medan magnet pada suatu gelombang elektromagnetik dengan variasi waktu sinusoidal dapat dituliskan sebagai  $H = H_0 e^{-i\omega t}$ . (Simpson dan Bahr, 2005):

$$H = \frac{1}{i \omega \mu_0} \nabla \times E \quad (2.7)$$

Jadi dalam bumi, perbandingan kekuatan medan magnet dan kekuatan medan listrik dapat dituliskan sebagai:

$$E_x = E_0 e^{-kz} e^{-i\omega t} \quad (2.8)$$

$$H_y = \frac{1}{i \omega \mu_0} E_0 e^{-kz} e^{-i\omega t} \quad (2.9)$$

Medan listrik  $E_x$  orthogonal terhadap medan magnet  $H_y$ . Untuk memperoleh manfaat informasi tentang struktur resistivitas bumi dari pengukuran pada permukaan ( $z = 0$ ), digunakan rasio pengukuran E orthogonal terhadap H dan didefinisikan sebagai impedansi:

$$Z = \frac{E}{H} \quad (2.10)$$

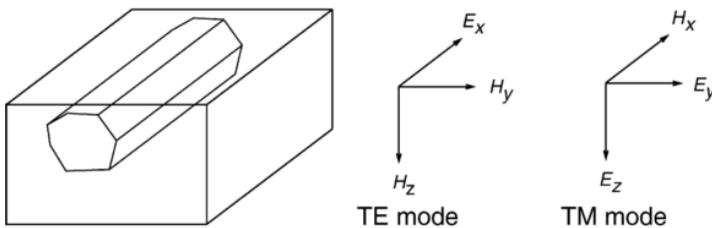
Dari persamaan (2.8) dan (2.9), impedansi  $Z_{xy}$  diberikan oleh:

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y} = \frac{(1-i)}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega \mu_0 \rho} \quad (2.11)$$

## 2.7 Mode Pengukuran

Untuk merekam gelombang elektromagnetik, maka digunakan dua jenis sensor akuisisi, yaitu sensor elektrik dan sensor magnetik yang saling tegak lurus. Cara peletakan sensor elektrik dan sensor magnetik menghasilkan dua jenis mode pengukuran, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 2.11** di bawah.

*Mode* pertama adalah *Transverse Electric Mode* (TE mode), dimana komponen medan listrik searah dengan arah strike atau searah dengan struktur (arah sumbu x) dan komponen medan magnet berada pada bidang y-z. Adapun mode yang kedua adalah *Transverse Magnetic Mode* (TM mode), dimana komponen medan listrik tegak lurus dengan arah strike atau tegak lurus terhadap struktur (bidang y-z) dan komponen medan magnet berada pada sumbu x (Vozoff, 1991).



Gambar 2. 11 Dua Jenis Mode Pengukuran Dalam Metode Magnetotellurik (Vozoff, 1991)

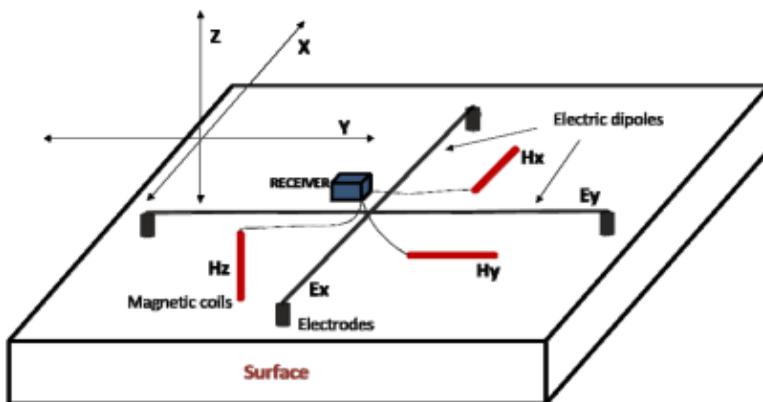
Parameter yang dianalisa adalah *apparent resistivity* ( $\rho$ ) dan *phase* ( $\emptyset$ ). Persamaan *apparent resistivity* didasari oleh nilai impedansi gelombang. Hal ini menyebabkan terdapatnya dua mode pengukuran, sehingga terdapat dua nilai *apparent resistivity* pula yaitu  $\rho_{xy}$  (TE mode) dan  $\rho_{yx}$  (TM mode).

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad \rho_{yx} = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2 \quad (2.12)$$

$$\emptyset_{xy} = \tan^{-1} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad \emptyset_{yx} = \tan^{-1} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2 \quad (2.13)$$

## 2.8 Akusisi Data Magnetotellurik

Metode Magnetotellurik (MT) adalah teknik untuk menyelidiki struktur konduktivitas listrik dari bumi untuk kedalaman sampai 600 km. Meskipun kurang dikenal dari seismologi, MT semakin digunakan baik dalam geofisika terapan dan riset dasar (Simpson dan Bahr, 2005).



Gambar 2. 12 Konfigurasi Alat Pengukuran MT .(Zanuar, 2009)

Dalam pengukuran MT, peletakan alat-alatnya harus sesuai dengan prosedur standard seperti pada **Gambar 2.12** . Alat utama di sini adalah MT unit yang terletak di tengah-tengah. Sensor elektrik berjumlah 5 buah. Satu di masing-masing arah utara, timur, selatan,

dan barat, dan satu lagi berada di titik tengah dari keempatnya. Sensor magnetik berjumlah 3 buah, satu diletakkan sejajar sumbu x, satu diletakkan sejajar dengan sumbu y, dan satu lagi dikubur dalam arah vertikal. Alat lainnya yang digunakan adalah kabel untuk menghubungkan MT unit dengan sensor elektrik maupun magnetik, dan power supply untuk menghidupkan alat MT unit. (Rulia, 2012).

Alat utama yang digunakan adalah MT unit. Alat inilah yang akan membaca besarnya nilai medan listrik maupun medan magnet yang terekam di sensor elektrik dan magnetik. MT unit akan bekerja merekam data dalam waktu yang lama. Karena semakin lama waktu perekaman, semakin rendah frekuensi yang diperoleh, semakin dalam pula penetrasinya yang didapatkan. Oleh sebab itu dibutuhkan power supply yang mampu menghidupkannya dalam selang waktu yang diinginkan. (Rulia, 2012)

Penentuan sistem koordinat yang digunakan dalam merangkai peralatan MT harus diperhatikan. Arah sensor medan listrik dan sensor medan magnet didefinisikan dengan  $y$  sejajar/ Paralel dengan *strike*,  $x$  tegak lurus dengan *strike*, dan  $z$  menunjukkan secara vertical ke bawah. Secara umum Green (2003) mendefinisikan arah *strike* adalah arah utara-selatan dalam sistem koordinat ini (Zanuar. 2009).

Tiga buah coil sensor medan magnet ( $H_x$ ,  $H_y$ , dan  $H_z$ ) diletakkan dalam kuadran berbeda. Sehingga coil dapat merekam orthogonal komponen medan magnet  $x$ ,  $y$ ,  $z$  secara murni untuk setiap coil. Dua buah coil dipasang secara horizontal, coil  $H_x$  menghadap arah utara sedangkan kabel konektor coil ke MTU ke arah selatan. Coil  $H_z$  menghadap ke timur dan kabel konektornya menghadap ke arah barat. dan satu buah coil menghadap vertical menuju pusat bumi. Coil perlu dilapisi dengan plastic untuk melindungi dari *noise* yang akan mengganggu alat. Misalnya air hujan, binatang dalam tanah dan lainnya. (Zanuar, 2009).

Dua buah sensor medan listrik ( $E_x$  dan  $E_y$ ) diletakkan parallel dengan sensor medan magnetic yang horizontal ( $H_x$  dan  $H_y$ ). Elektroda  $E_x$  diletakkan dalam arah utara-selatan sepanjang 100 meter dari elektroda  $E_y$  diletakkan dalam arah barat-timur sepanjang 100 meter juga. Satu buah *porous pot* yang berfungsi sebagai *ground* ditanam di dekat titik tengah dan dihubungkan dengan kabel ke MTU dengan jarak 1 meter. GPS dipasang pada ketinggian tertentu (sekitar

2 meter diatas tanah) di dekat titik tengah dan dihubungkan dengan MTU. (Zanuar, 2009).

## 2.9 Pengolahan Data Magnetotellurik

Dalam prose pengolahan data magnetotellurik terdapat beberapa tahapan antara lain *fourier transform* untuk mengubah data hasil perekaman yang berdomain waktu menjadi domain frekuensi, *robust processing* adalah tahapan awal dalam mengurangi *noise* pada data magnetotellurik, koreksi *static shift* untuk menghilangkan efek pergeseran statik akibat adanya beberapa kondisi geologi pada daerah penelitian, dan Inversi 2-D yang bertujuan untuk membuat peta penampang bawah permukaan 2-dimensi.

### 2.9.1 Fourier Transform

*Fourier transform* merupakan suatu fungsi yang dapat mengubah *signal* dari *timeseries* menjadi *frequency domain*. *Fourier transform* hanya dapat digunakan untuk *space* atau *time-series* yang merupakan fungsi kontinu (Simpson & Bahr, 2005). Fungsi dari *Fourier transform* dengan  $x(\omega)$  adalah fungsi gelombang dalam *frequency domain*,  $x(t)$  adalah fungsi gelombang dalam *time domain*,  $i$  adalah bilangan imajiner,  $\omega = 2\pi f$  adalah frekuensi angular, dan  $t$  adalah waktu. Sehingga di hasilkan persamaan sebagai berikut

$$x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{i\omega t} dt \quad (2.14)$$

### 2.9.2 Robust Processing

*Robust processing* bobot *iterative* dari residual untuk mengidentifikasi dan menghapus data yang menyimpang oleh karena *noise* non-Gaussian. *Robust Processing* menggunakan pengukuran dari *departure* suatu kontribusi individual dari rata – rata untuk merendahkan bobot outlier pada iterasi selanjutnya (Simson & Bahr, 2005). *Outlier* adalah data dengan nilai yang menyimpang jauh dari nilai rata – rata, umumnya data tersebut dapat dianggap sebagai *noise*

sehingga *robust processing* dapat berperan sebagai filter *noise* awal bagi data magnetotellurik.

### 2.9.3 Koreksi Static Shift

Fenomena *static shift* dapat terjadi karena adanya heterogenitas permukaan, efek topografi, dan kontak vertikal. Heterogenitas permukaan dapat terjadi karena adanya lapisan yang tidak homogen di bawah permukaan yang dapat menyebabkan arah medan listrik terakumulasi pada batas heterogenitas tersebut. Dampaknya adalah medan listrik yang dihasilkan dari batas resistivitas akan mengurangi pengukuran medan listrik sehingga membuat nilai impedansi yang diukur berkurang dan menurunkan nilai resistivitas semu dari bagian resistif. Selain itu, pada bagian dimana medan listriknya resistif akan diperkuat sehingga bagian resistif tersebut menjadi semakin resistif. Hal ini mengakibatkan efek heterogenitas permukaan akan mempengaruhi semua frekuensi pada titik-titik pengukuran. Dampaknya adalah pengukuran MT akan tergeser ke atas jika melewati lapisan yang resistif dan sebaliknya akan tergeser ke bawah jika melewati lapisan konduktif.

Perbedaan topografi yang mencolok juga mengakibatkan terjadinya *static shift*. Perbedaan topografi akan menghasilkan medan listrik paling rendah berada di puncak dan paling tinggi berada di lembah sehingga resistivitas terendah yang terukur berada di puncak dan resistivitas tertinggi yang terukur berada di lembah. Semakin besar perbedaan ketinggian antara puncak dan lembah maka semakin besar pula pergeseran static yang terjadi.

Sedangkan kontak vertikal adalah kondisi dimana dua buah formasi batuan yang memiliki nilai resistivitas yang kontras dan saling kontak satu sama lain secara vertikal. Pada bagian yang lebih resistif, kurva *TM* akan berada di atas kurva *TE*, sebaliknya pada bagian yang kurang resistif maka kurva *TM* berada di bawah kurva *TE*. Pada kasus ini, *static shift* tersebut tidak terjadi pada periode rendah, namun terjadi pada periode tinggi. *Static shift* akan terjadi pada semua periode jika stasiun pengukuran terletak tepat pada kontak vertikal.

#### **2.9.4 Inversi 2D**

Inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk memperoleh distribusi sifat fisis bawah permukaan. Analisis terhadap data lapangan dilakukan dengan cara melakukan pencocokan kurva antara model matematika dengan data lapangan (Suparno, 2007).