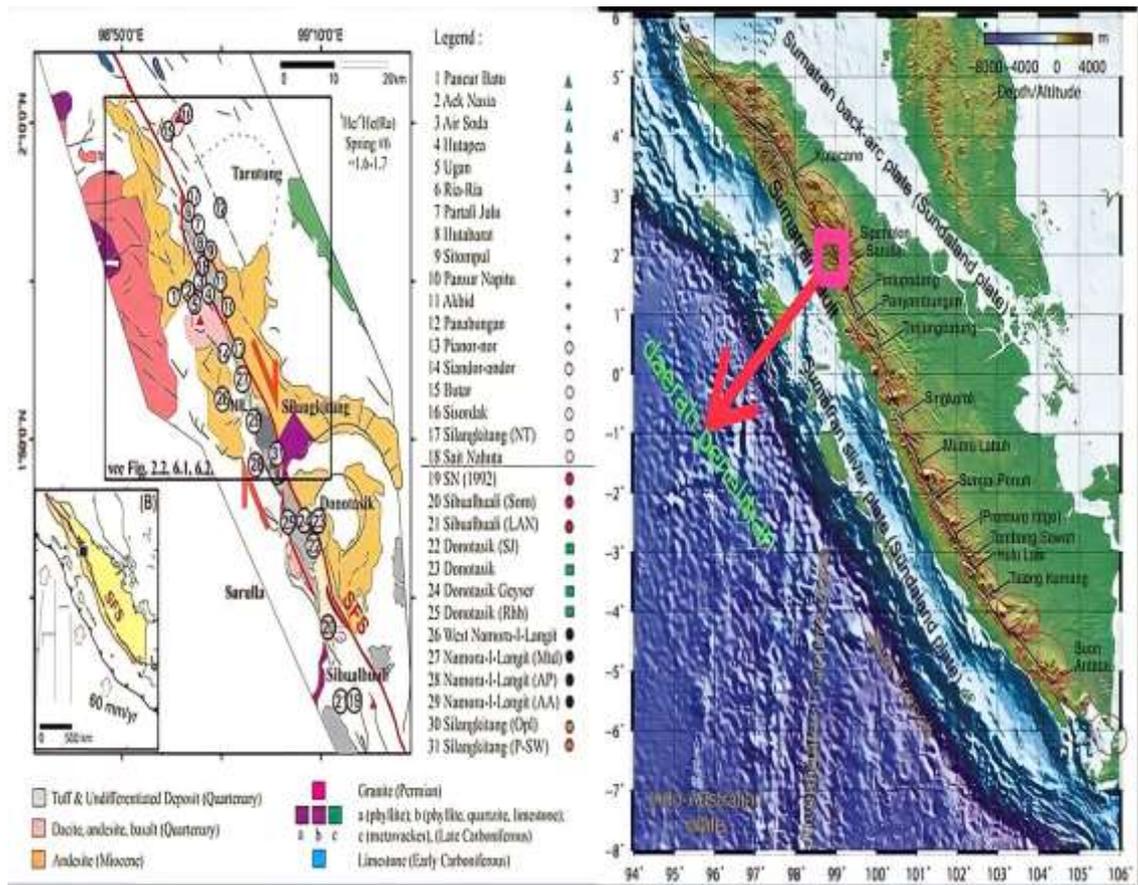


BAB II TEORI DASAR

2.1 Geologi Regional

Secara regional, daerah Sumatera Utara tersingkap beberapa jenis batuan seperti batuan sedimen, beku, metasedimen bahkan malihan yang berumur karbon sampai pleistosen. Batuan vulkanik diperkirakan terdapat di bagian tengah yang merupakan sebagai jalur vulkanik aktif dari zaman Oligosen sampai Resen yang digambarkan adanya Gunung Api aktif seperti Sinabung, Sibayak, Sarula, Sorik Marapi. Komponen batuan vulkanik yang ada di sepanjang jalur ini beragam mulai basaltik hingga riolitik. Batuan piroklastik Toba adalah produk terbesar secara volume dan luas penyebarannya di Sumatera Utara. Satuan batuan seperti tufa dan ignimbrit dan berkomposisi dasitik sampai riolitik ini merupakan hasil dari pengaruh letusan Gunung Toba tua. Gunungapi Toba bersifat sangat eksplosif yang berproses pada zaman awal pleistosen sehingga terbentuk kaldera yang sekarang ini menjadi danau Toba (Situmorang, 2005).

Berdasarkan regionalnya, struktur geologi pada daerah penelitian berada dalam jalur Sistem Sesar Sumatera (SFS) yang arahnya Barat Laut – Tenggara dan membentang dari P. Weh sampai Teluk Semangko, Lampung. Akibat pergerakan sesar tersebut, ditemukan struktur (graben) terutama di daerah pertemuan antara segmen sesar akibat pengaruh komponen gaya tarik (*extention*) atau disebut dengan *pull-apart basin* yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut ini.



Gambar 2.1 Peta geologi regional topografi sepanjang Sesar Sumatera (modifikasi dari Muraoka dkk,2010)

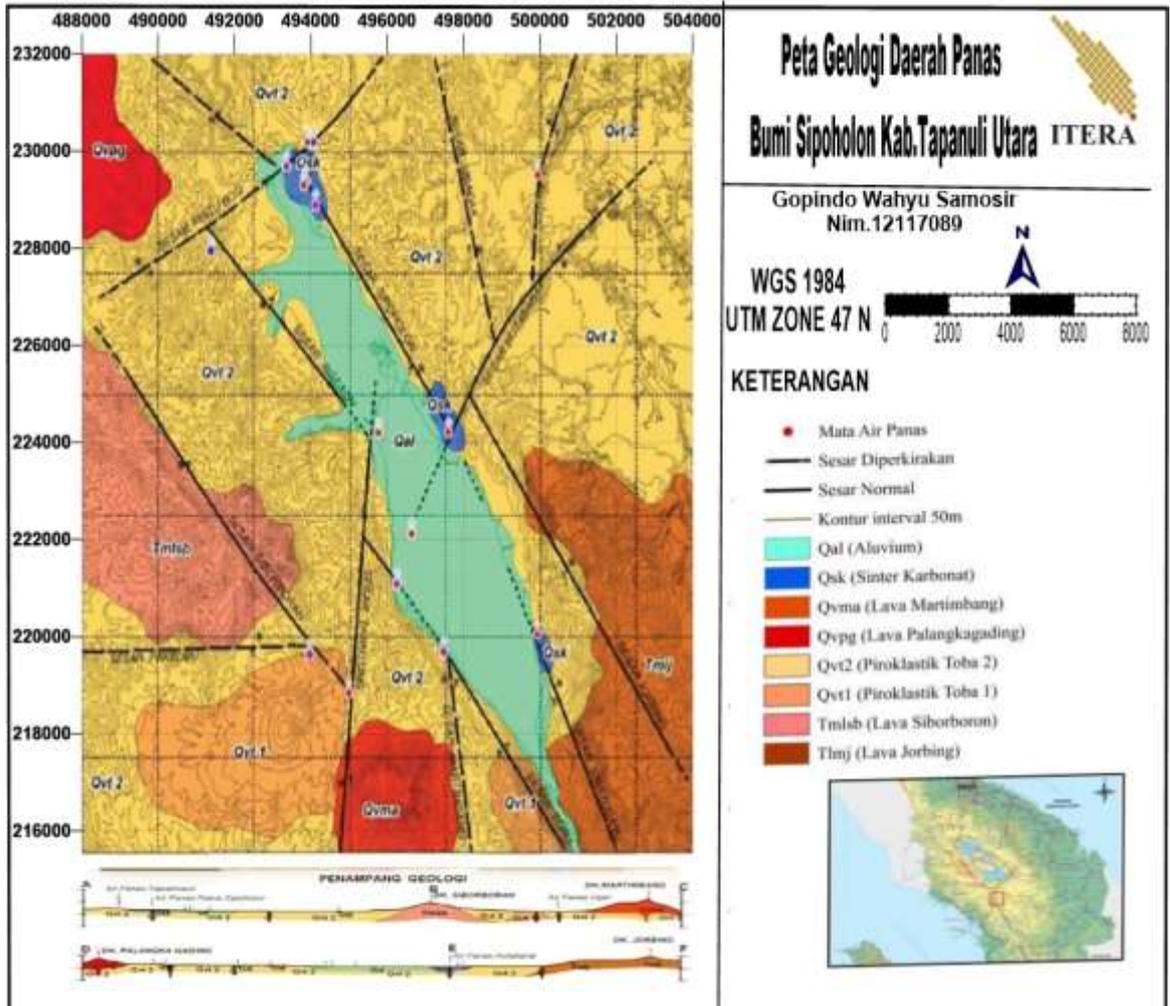
2.2 Geologi Daerah Penelitian

Geologi daerah panas bumi Sipoholon berdasarkan administratifnya berada di Kecamatan Sipoholon bagian Tenggara serta Kecamatan Tarutung bagian Utara, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara. Secara geografis berada pada koordinat $98^{\circ} 54' 00''$ BT - $99^{\circ} 01' 30''$ BT dan $1^{\circ} 56' 30''$ LU – $2^{\circ} 06' 00''$ LU dalam sistem koordinat UTM zone 47 N (belahan bumi Utara).

2.2.1 Struktur Geologi Sipoholon

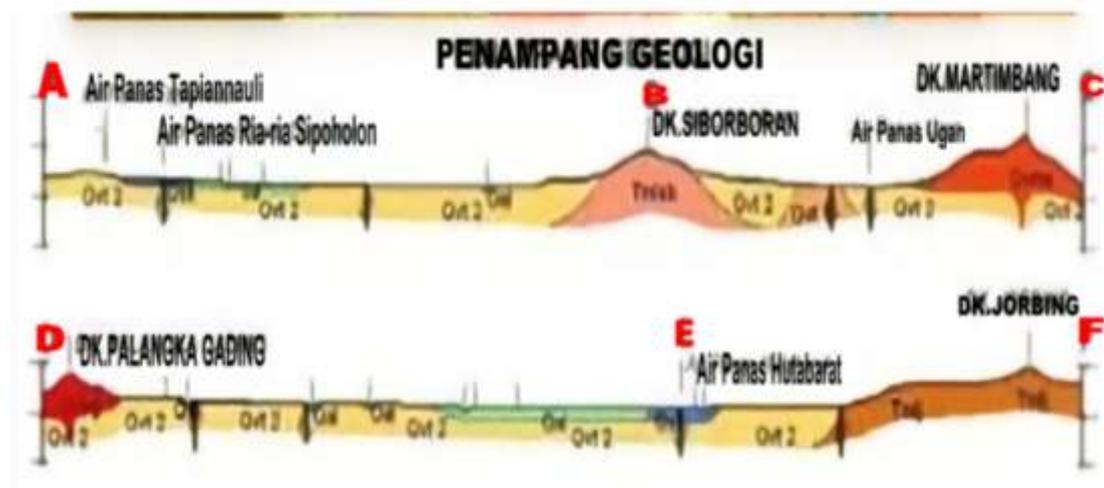
Struktur geologi pada daerah penelitian ditandai oleh keberadaan manifestasi berupa mata air panas yang berkaitan dengan adanya struktur sesar aktif di daerah penelitian. Hasil observasi langsung yang dilakukan (Tim Penyelidikan Terpadu PSDG, 2005) dan hasil dari citra landsat menunjukkan adanya duabelas struktur sesar, antara lain: Sesar Sibatu-batu, Sesar Sipoholon, Sesar Sibadak, Sesar Sigeaon, Sesar Pintubosi, Sesar Toru, Sesar Tarutung, Sesar Siborboron, Sesar

Hutabarat, Sesar Parbubu, Sesar Martimbang, dan Sesar Jorbing. Struktur tersebut terdapat pada **Gambar 2.2**



Gambar 2.2 Peta geologi daerah Sipoholon (Modifikasi dari PSDG, Badan Geologi, KESDM RI 2017)

Batuan-batuan vulkanik yang ada pada daerah penelitian diduga akibat dari lima buah pusat titik erupsi yang berbeda-beda yaitu Dolok Palangka Gading, Gunung Api Tua Toba, Dolok Martimbang, Dolok Siborboron dan Dolok Jorbing (lihat **Gambar 2.3**).



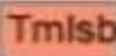
Gambar 2.3 Model penampang geologi daerah penelitian (Modifikasi dari PSDG, Badan Geologi, KESDM RI 2017)

2.2.2 Stratigrafi Daerah Sipoholon

Berdasarkan pemetaan dan pengamatan yang telah dilakukan Hasan dkk (2005) diperkirakan litologi daerah penelitian digolongkan menjadi delapan litologi batuan. Menurut penelitian Hasan dkk (2005), delapan satuan litologi batuan tersebut diurutkan dari tua hingga muda seperti berikut ini (lihat **Tabel 2.1**):

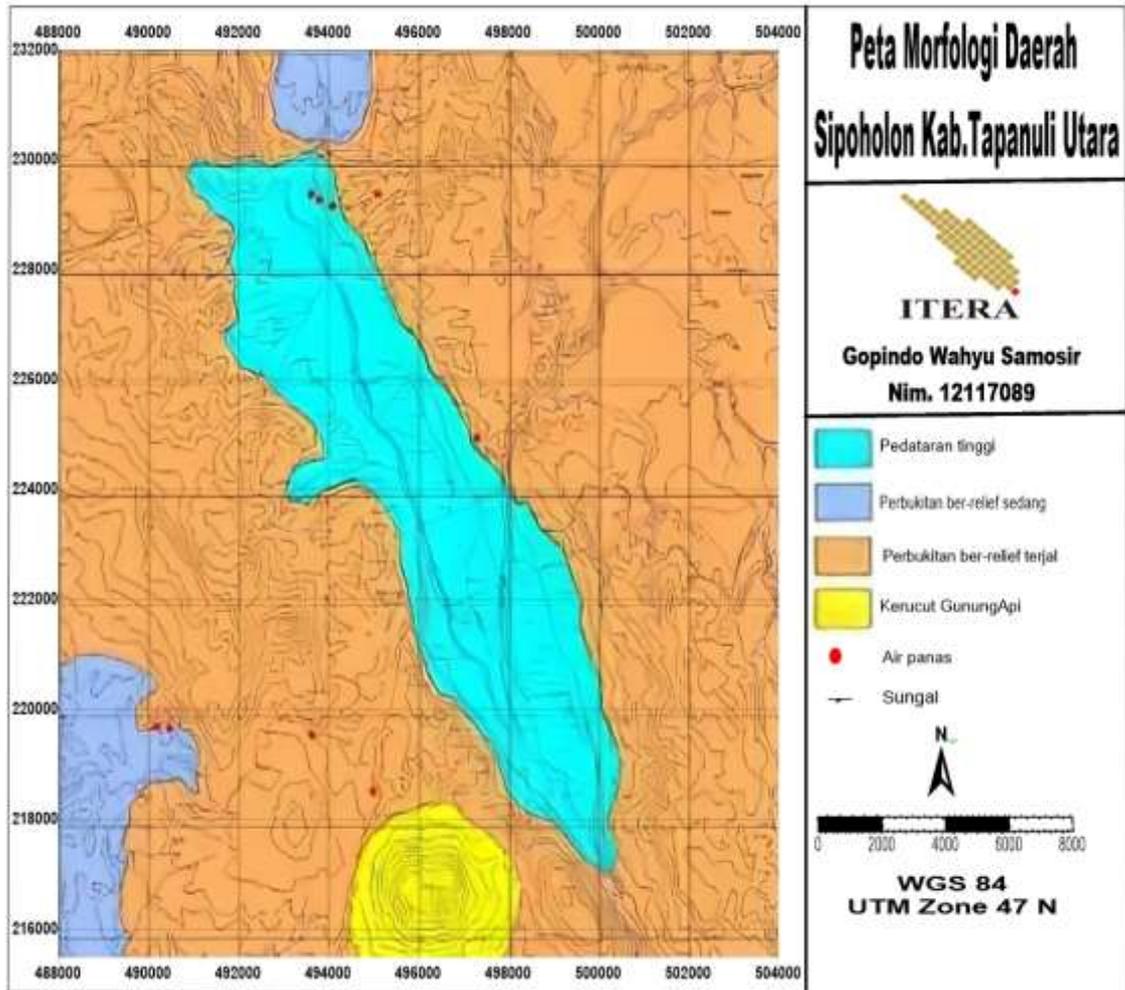
1. Satuan Lava Jorbing (Tmlj)
2. Satuan Lava Siborboron (Tmlsb)
3. Satuan Piroklastik Toba 1 (Qvt 1)
4. Satuan Piroklastik Toba 2 (Qvt 2)
5. Satuan Lava Palangka Gading (Qvpg)
6. Satuan Kubah Lava Martimbang (Qvma)
7. Satuan Sinter Karbonat (Qsk)
8. Satuan Endapan Alluvial (Qal)

Tabel 2.1 Stratigrafi daerah panas bumi Sipoholon (Modifikasi dari PSDG, Badan Geologi KESDM RI 2017)

Zaman	Kala	Satuan Batuan	
		Endapan permukaan	Batuan Gunung Api
Kuartar	Holosen	 	-
	Pleistosen	-	   
Tersier	Pliosen	-	-
	Miosen		 

2.2.3 Gemorfologi

Morfologi pada daerah penelitian didominasi perbukitan yang bergelombang sedang hingga kuat dan terbentuk dari kerucut-kerucut vulkanik tua maupun vulkanik muda dan dataran tinggi, memiliki ketinggian dari 900 meter -1650 meter dari permukaan. Morfologi pada daerah penelitian terbagi menjadi satuan Perbukitan Terjal pada kemiringan lereng sekitar 30-45° juga di tempat lainnya mencapai 90° , lembah sungai memiliki dinding terjal, aliran sungai berpola radial hingga berpola trellis. Satuan Perbukitan Relief Sedang pada kemiringan lereng sekitar 15 - 30° . Morfologi Kerucut Gunung Api dan juga Pedataran Tinggi ada pada bagian tengah di sepanjang lembah graben Tarutung. Peta geomorfologi daerah Sipoholon dapat dilihat pada **Gambar 2.4** berikut ini.



Gambar 2.4 Peta geomorfologi Sipoholon (Modifikasi dari PSDG, Badan Geologi KESDM RI 2017)

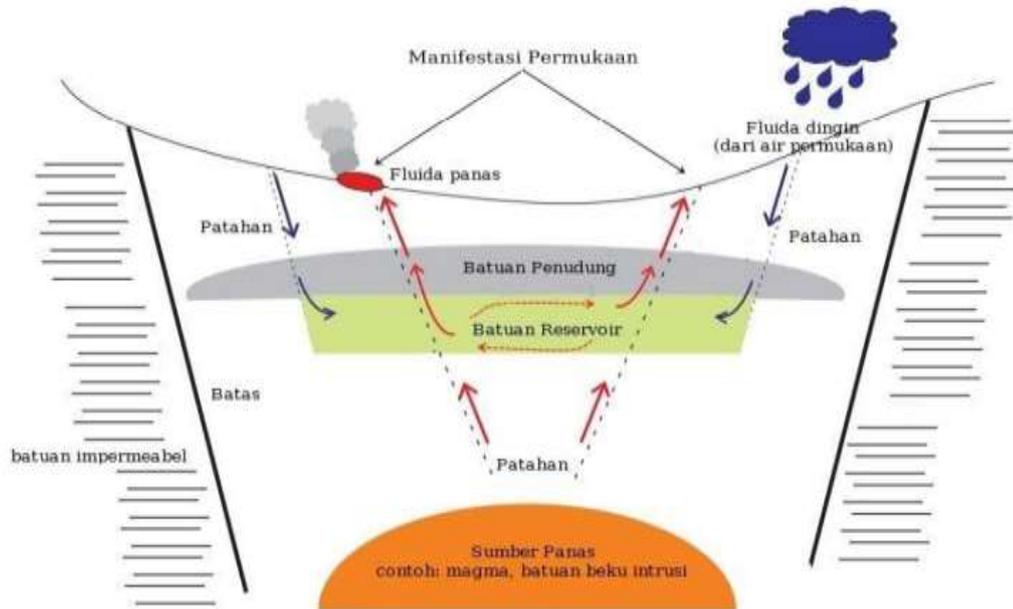
2.3 Panas Bumi

Geotermal atau panas bumi merupakan sumber daya energi panas yang ada di dalam air panas, uap air dan batuan bersama mineral bawaan dan gas lainnya yang secara genetik keseluruhan tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan juga penggunaannya diperlukan proses penambangan (Broto, 2011) ; (Pasal 1 UU No.27 Tahun 2003) tentang panas bumi.

2.3.1 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi didefinisikan sebagai perpindahan panas secara alami dalam volume tertentu pada kerak bumi dengan cara panas dipindahkan dari zona sumber panas ke zona pelepasan panas (Hochstein dan Browne, 2000) dan muncul berupa manifestasi di permukaan. Sistem dari panas bumi melingkupi sistem

hydrothermal atau disebut juga sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi pada sistem dengan keadaan air yang terpanasi terkumpul. Pada akhirnya, persyaratan sistem panas bumi adalah tersedianya air, batuan/magma yang menjadi sumber panas, batuan yang menjadi sarang serta batuan penutup (lihat **Gambar 2.5**)



Gambar 2.5 Ilustrasi sistem panas bumi hidrotermal (Niasari, 2012)

2.3.2 Komponen Sistem Panas Bumi

Ada tiga yang menjadi komponen utama sistem panas bumi antara lain : batuan reservoir yang bersifat *permeable*, ketersediaan air untuk membawa panas, dan sumber panas itu sendiri. Ketiga komponen tersebut berhubungan dan membentuk sistem yang dapat membawa energi panas dari bawah permukaan hingga ke permukaan bumi. Sistem tersebut bekerja dengan cara konduksi dan konveksi (Hochstein & Brown, 2000).

a. Sumber panas

Tubuh intrusi magma umumnya menjadi sumber panas dari suatu sistem hidrotermal. Namun, terdapat sumber panas hidrotermal yang bukan bersumber dari batuan beku tetapi dari proses *uplift basement rock* yang masih panas, diakibatkan oleh perlipatan maupun patahan.

b. Batuan reservoir

Batuan reservoir merupakan batuan yang berperan menyimpan dan meloloskan air dalam jumlah yang cukup besar dan signifikan. Batuan ini mempunyai permeabilitas dan porositas yang baik dan hal ini berpengaruh pada kecepatan sirkulasi fluida yang digunakan dalam sistem panas bumi. Selain itu, batuan reservoir juga berpengaruh akan komposisi kimia juga fluida hidrotermal dikarenakan fluida hidrotermal akan bereaksi dengan batuan reservoir sehingga mengubah kimiawi fluida. Dalam Nicholson (1993), batuan vulkanik, sedimen klastik, dan batuan karbonat akan menghasilkan fluida hidrotermal dengan karakter kimia masing-masing.

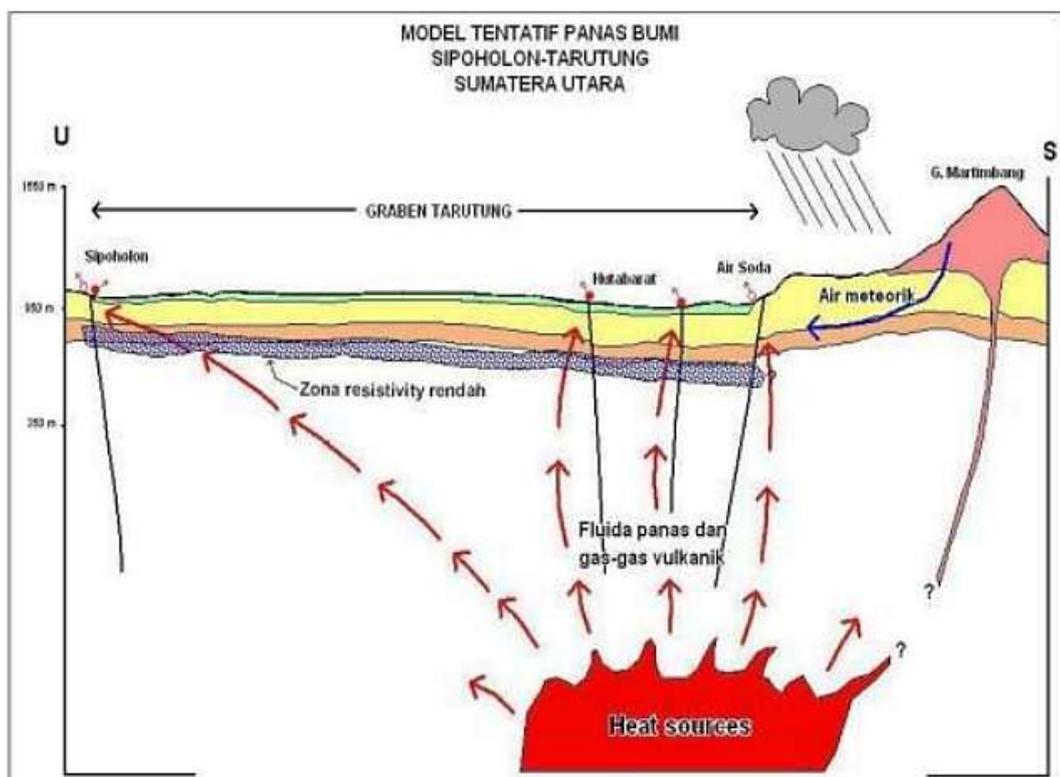
c. Fluida

Menurut Nicholson (1993) disebutkan terdapat empat macam asal fluida panas bumi, yaitu : (1) Air permukaan, adalah air dari presipitasi atmosferik atau hujan yang bersirkulasi dalam sampai beberapa kilometer. (2) Air formasi atau *connate water* adalah air meteorit yang terjebak pada formasi batuan sedimen dengan jangka waktu yang lama. Air *connate* berinteraksi secara intensif dengan batuan dan menyebabkan air ini menjadi lebih *saline*. (3) Air metamorfik, berasal dari modifikasi khusus dari air *connate* yang berasal dari proses perubahan mineral *hydrous* menjadi mineral yang kurang *hydrous* selama metamorfisme batuan. (4) Air magmatik, terbagi menjadi dua yaitu air magmatik yang berasal dari magma namun pernah menjadi bagian air meteorit dan juga air juvenil yang belum pernah menjadi bagian dari meteorit.

2.3.3 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi sumber daya panas bumi di daerah penelitian ini antara lain (Situmorang, 2005) terdiri dari: Mata Air Panas Ria-Ria, Sipoholon, Mata Air Panas Hutabarat, Batuan Ubahan Habinsaran Situmeang, Mata Air Panas Sitompul, Mata air panas Tapian Nauli yang berada di tepi sungai Tapian nauli atau Sigeaon, Mata Air Panas Sipolhas, Mata Air Panas Parbubu dua, Mata Air Panas Pansur Batu, Mata Air Panas Simamora, Mata Air Panas Ugan, Mata air panas Panabungan, dan Mata Air panas Sait Nihuta.

Keberadaan sumber daya panas bumi dicirikan dengan adanya manifestasi di permukaan yang artinya fluida hidrotermal dari reservoir keluar melalui zona rekahan batuan. Penjelasan Broto dkk (2011), area panas bumi untuk manifestasinya terdapat tanah yang panas atau tanah dengan temperatur yang cukup tinggi dibandingkan sekitarnya, tanah yang beruap, kolam air panas, kolam lumpur panas, air panas yang muncul dikarenakan air tanah keluar dari kerak bumi yang terpanaskan dengan mekanisme geothermal, fumarol atau uap panas (*vapour*) yang terdiri dari butiran-butiran air dan keluar melalui celah-celah batuan yang berkomposisi SO_2 dan CO_2 , dan juga *geyser*. Untuk gambar model konseptual sistem panas bumi Sipoholon dapat dilihat dalam **Gambar 2.6**



Gambar 2.6 Model konseptual sistem panas bumi Sipoholon (PSDG, Badan Geologi KESDM RI 2017)

2.4 Struktur Geologi

Struktur geologi adalah pembahasan terkait bentuk atau formasi batuan yang menceritakan suatu proses perubahan dari bentuk maupun ukuran dikarenakan adanya gaya yang bekerja pada batuan. Perubahan dari bentuk batuan dapat

berupa lipatan dan ada juga berupa patahan atau sesar. Tujuan mempelajari struktur geologi sangat banyak, diantaranya :

- a. Mengetahui struktur geologi proses terbentuknya batuan, proses-proses atau siklus batuan, mengetahui proses terperangkapnya sumber daya pada litologi batuan seperti kandungan air, minyak bumi, gas serta bahan mineral.
- b. Dapat memahami status batuan apakah batuan tersebut masih tergolong aktif atau tidak, dapat mengetahui beberapa struktur batumannya.
- c. Dapat mengetahui tingkat kerentanan batuan dilalui getaran gelombang gempa bumi.
- d. Dapat mengetahui jenis struktur pada batuan seperti lipatan atau sesar. Dalam hal untuk mengetahui kestabilan konstruksi dalam bangunan terhadap bencana longsoran dan sebagainya.

Patahan adalah struktur berupa rekahan yang bergeser dengan disertai beberapa struktur lain misalnya lipatan, rekahan dan lain sebagainya. Saat dilapangan, keberadaan dari patahan itu bisa dilihat pada bidang sesar, deretan mata air, sumber air panas, pergerseran kedudukan lapisan yang terjadi, adanya peristiwa cermin sesar, gores garis, lipatan dan sebagainya.

2.5 Metode Magnetik

Metode geomagnetik adalah metode yang digunakan untuk survei geofisika dalam mengetahui sifat-sifat kemagnetan batuan dibawah permukaan akibat dari batuan yang mengalami magnetisasi dan juga digunakan untuk mengukur variasi dari medan magnetik di permukaan bumi. Variasi intensitas dari medan magnetik terukur digunakan sebagai penafsiran distribusi magnetik dari batuan di bawah permukaan dan sebagai dasar pendugaan mengetahui kondisi geologi daerah penelitian. Pada metode magnetik juga cukup dipengaruhi oleh variasi arah dan besarnya vektor magnetisasi batuan. Berdasarkan teoritisnya, medan magnetik utama bumi berasal oleh sumber dari dalam bumi dan luar bumi. Gauss, pada tahun 1838 telah menerangkan bahwa medan magnetik utama bumi terukur yang di permukaan bumi hampir seluruhnya bersumber dari dalam bumi (Telford dkk.,1990).

2.5.1 Gaya Magnet

Bumi memiliki dua buah kutub magnet, yaitu utara dan selatan. Benda lain juga memiliki 2 buah kutub yang biasa disebut kutub positif dan kutub negatif. Dengan kutub yang berbeda ini akan timbul yang dinamakan gaya magnet. Metode magnetik didasari dengan gaya Coulomb F (N) yang secara fisis didefinisikan jika ada dua kutub magnetik p_1 dan p_2 (emu) yang memiliki jarak r , sehingga terjadi gaya Coulomb yang dapat dituliskan di persamaan 2.1 (Telford dkk, 1990)

$$\mathbf{F} = \frac{(p_1.p_2)}{\mu.r^2} \mathbf{r} \quad (2.1)$$

Dengan :

\mathbf{F} = gaya magnet atau coulumb (N)

μ = permeabilitas magnetik dari medium, biasanya di udara bernilai 1

\mathbf{r} = vektor satuan

p = kuat kutub (emu)

r^2 = jarak (m) Bila kuat kutub berbeda tanda, maka gaya akan tarik menarik dan sebaliknya.

2.5.2 Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnet adalah perbandingan antara besar gaya terhadap besaran dari kutub magnet, digunakan untuk pengaruh dari kutub terhadap kutub kutub yang lain. Kuat medan magnet yang terukur (\mathbf{H}) di suatu titik yang berjarak dari kutub magnet diartikan sebagai gaya \mathbf{F} persatuan kuat kutub magnet dan dapat dituliskan pada persamaan 2.2 (Telford dkk, 1990)

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{F}}{p_2} = \frac{p_1}{\mu.r^2} \mathbf{r} \quad (2.2)$$

Keterangan :

\mathbf{H} = kuat medan magnet terukur (Tesla)

\mathbf{F} = gaya magnet (N)

r^2 = jarak (m)

2.5.3 Intensitas Magnet

Besar intensitas kesearahan arah momen magnetik pada suatu material yang berasal dari medan magnet luar bumi disebut besaran intensitas magnetisasi. Menurut Telford dkk (1990), material magnet yang berada pada medan magnet dengan kuat medan magnet H , akan mengalami magnetisasi akibat induksi. Besar intensitas suatu magnet merupakan momen dipole (m) persatuan volume (v) yang dituliskan pada persamaan (2.3)

$$I = m / V \quad (2.3)$$

Dimana, I adalah intensitas magnetik (nT).

2.5.4 Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik berfungsi dalam menentukan besarnya kemampuan suatu material magnetik untuk termagnetisasi (Telford dkk., 1990). Persamaan suseptibilitas dituliskan sebagai berikut :

$$I = k H \quad (2.4)$$

Dimana I adalah magnetisasi atau intensitas magnet (nT) dari bahan, k adalah suseptibilitas dari bahan dan H adalah kuat suatu medan magnet bumi (6×10^4 nT). Persamaan 2.4 diatas menerangkan bahwa besar suseptibilitas magnetik mempengaruhi besar magnetisasi akibat medan magnet eksternal atau luar. Tabel nilai suseptibilitas magnetik dari suatu batuan ataupun mineral bisa dilihat dalam **Tabel 2.2** berikut ini.

Tabel 2.2 Harga suseptibilitas magnetik batuan dan mineral (Telford et al.,1990).

Jenis Batuan	Niali Suseptibilitas x 10 ³ (SI)
Dolomite	0 – 0,9
Limestones	0 – 3,0
Sandstones	0 – 20
Shales	0,01 – 15
Amphibolite	0,7
Schist	0,3 – 3,0
Phyllite	1,5
Gneiss	0,1 – 25
Quartzite	4,0
Serpentine	3 – 17

Granite	0 – 50
Rhyolite	0,2 – 35
Dolorite	1 - 35
Diabase	1 – 160
Porphyry	0,3 – 200
Gabbro	1 - 90
Basalts	0.2 - 175
Diorite	0.6 - 120
Peridotite	90 - 200
Andesite	160
Jenis Mineral	Nilai Suseptibilitas x 10³(SI)
Graphite	0.1
Quartz	-0.01
Rock salt	-0.01
Gypsum	-0.01
Calcite	-0,001 – 0,01
Coal	0.02
Clays	0.2
Chalcopyrite	0.4
Siderite	1 – 4
Pyrite	0,05 – 5
Limonite	2,5
Hematite	0,5 – 35
Chromite	3 – 110
Ilmenite	300 – 3.500
Magnetite	1.200 – 19.200

Besarnya nilai k pada batuan akan semakin tinggi jika pada batuan semakin banyak kandungan mineral-mineral bersifat magnetik. Berdasarkan parameter suseptibilitas k , benda- benda yang bersifat magnetik dapat digolongkan menjadi diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik. Diamagnetik merupakan benda yang bernilai k kecil dan negatif. Paramagnetik merupakan benda yang bernilai k kecil dan positif. Sedangkan untuk ferromagnetik yaitu benda yang bernilai k lebih positif dan lebih besar.

2.5.5 Induksi Magnetik

Induksi magnetik merupakan kuat dari medan magnet dikarenakan arus listrik yang mengalir pada konduktor. Jika suatu benda magnetik diletakkan pada medan magnet luar \mathbf{H} maka akan termagnetisasi dan menghasilkan medan magnet sendiri \mathbf{M} yang berperan menaikkan nilai total medan magnetik terinduksi \mathbf{B} benda tersebut. Nilai induksi dari medan magnet total \mathbf{B} dapat diukur dengan

magnetometer sebagai resultan medan magnet dari benda dengan medan magnet utama. Persamaan medan magnet induksi dapat dilihat pada persamaan (2.5)

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0(1 + k)\mathbf{H} = \mu \mu_0 \mathbf{H} \quad (2.5)$$

Dengan \mathbf{B} dalam satuan cgs adalah gauss dan pada SI adalah $nT = 10^{-9}$ Tesla. Medan magnet yang terukur di permukaan bumi oleh sensor magnetometer yaitu medan magnet induksi.

2.6 Pengolahan data Magnetik

2.6.1 Koreksi Data Magnetik

Untuk memperoleh anomali medan magnetik daerah penelitian, maka data magnetik yang didapat harus dilakukan koreksi akibat pengaruh dari beberapa medan magnet lain. Koreksi-koreksi yang sering dilakukan pada survei magnetik adalah :

1. Koreksi Diurnal/Harian

Koreksi diurnal/harian bertujuan menghilangkan pengaruh medan magnet luar atau variasi harian dari data medan magnet yang terukur

$$\Delta H = H \text{ total} \pm \Delta H \text{ harian} \quad (2.6)$$

2. Koreksi IGRF

Koreksi IGRF bertujuan menghilangkan efek dari medan utama magnet bumi dimana medan magnet IGRF merupakan referensi medan magnet di suatu tempat. Jadi, nilai anomali medan magnet total atau output dalam penelitian adalah :

$$\vec{H}_A = \vec{H}_T - \vec{H}_M - \vec{H}_L \quad (2.7)$$

Dengan :

\vec{H}_A : medan magnet anomali

\vec{H}_T : medan magnet total

\vec{H}_M : medan magnet utama

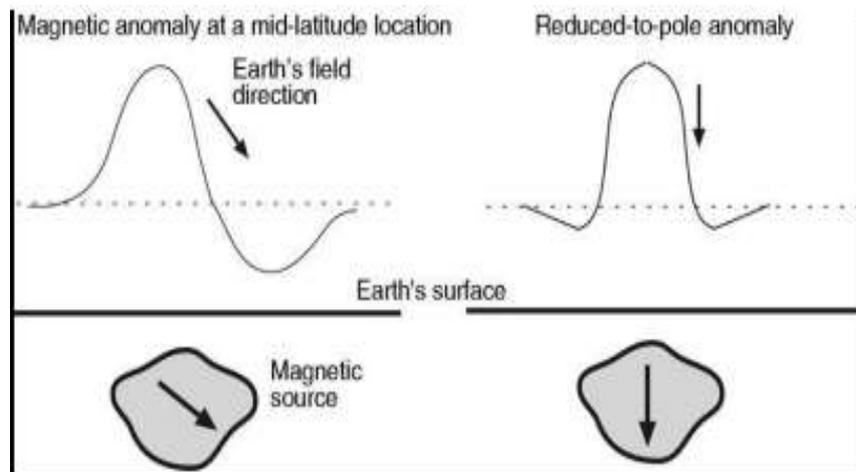
\vec{H}_L : medan magnet luar/eksternal

3. Koreksi Topografi

Koreksi topografi hanya digunakan apabila efek dari topografi penelitian dalam survei magnetik sangat besar.

2.6.2 Reduksi ke Kutub (*Reduce to Pole*)

Reduksi ke Kutub (RTP) bertujuan membantu dalam interpretasi dikarenakan sifat dipol anomali magnetik masih sulit untuk interpretasi data penelitian yang secara umum berpola asimetrik. Setelah di reduksi ke kutub, anomali magnetik akan tertarik ke satu kutub. Mekanisme dari transformasi ini dengan mengubah arah dari magnetisasi dan medan magnet utama ke arah yang vertikal dan akan membentuk sudut inklinasi berubah menjadi 90° dan juga sudut deklinasi menjadi 0° . Perhatikan pada **Gambar 2.7** ilustrasi pada data magnetik setelah dan sesudah ditransformasi dengan filter RTP.



Gambar 2.7 Ilustrasi anomali magnetik sebelum dan sesudah di transformasi RTP

Hubungan antara medan potensial f dan distribusi material s dapat ditunjukkan dalam persamaan (2.8) berikut ini (Blakely, 1996):

$$F[\Delta T r] = F[\psi r] F[\Delta T] \quad (2.8)$$

Dengan :

$f(\Delta T_r)$ = anomali magnetik hasil RTP

$f[\Delta T]$ = anomali medan magnet

$f[\psi_r]$ = filter reduksi ke kutub

2.6.3 Kontinuasi ke Atas

Filter *upward continuation* atau kontinuasi ke atas digunakan agar mampu mengurangi pengaruh dari sumber anomali dangkal. Tujuan lainnya adalah memfilter anomali lokal dan menghasilkan anomali regional saja. Adapun perhitungannya dapat dirumuskan sebagai berikut (Blakely,1996):

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (2.9)$$

Dengan :

S = sebagai permukaan di daerah R

n = sebagai arah normal keluar

r = merupakan jarak titik P ke titik di permukaan S

2.6.4 Gaussian Filter

Filter *Gaussian regional/residual* merupakan filter yang bertujuan memisahkan anomali regional atau anomali yang dalam dengan anomali residual atau anomali yang dangkal. Filter gaussian bersifat *low pass* filter, dimana didasari dengan fungsi distribusi peluang gaussian yang secara matematis dapat dituliskan :

$$G(i, j) = c \cdot e^{-\frac{(i-u)^2 + (j-v)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.10)$$

dimana $G(i, j)$ merupakan matriks kernel, c merupakan konstanta, i, u, j , dan v merupakan komponen pada matriks dan σ merupakan konstanta nilai yang disesuaikan pada ukuran matriks kernel gauss (Karunianto dkk., 2017). Kemudian matriks kernel dikonvolusikan dengan matriks data yang ada dalam lingkup frekuensi.

2.6.5 *Second Vertikal Derivative (SVD)*

Second vertical derivative (SVD) bertujuan memunculkan anomali yang bersifat dangkal ataupun lokal. Metode SVD tergolong *high pass filter* yang dapat mendeskripsikan anomali residual tersebut berasosiasi dengan struktur yang dangkal untuk dilakukan identifikasi terkait sesar yang ada pada daerah survei. Metode SVD cukup baik dalam mengetahui diskontinuitas struktur bawah permukaan, seperti indikasi patahan di daerah survei. Berdasarkan teoritisnya, metode SVD diturunkan dari teorema *Laplace* pada anomali magnetik di permukaan. Adapun persamaannya dapat dilihat:

$$\nabla^2 \Delta H = 0 \quad (2.11)$$

Dimana,

$$\nabla^2 \Delta H = \frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial z^2} \quad (2.12)$$

Sehingga persamaannya akan menjadi :

$$\frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial z^2} = 0 \quad (2.13)$$

sehingga formula *second vertical derivative* diberikan,

$$\frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial z^2} = - \left[\frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial y^2} \right] \quad (2.14)$$

Dalam studi dua dimensi (2D) salah satu koordinat horizontal seperti koordinat y dapat diabaikan. Dalam permasalahan ini persamaan *Laplace* akan menjadi,

$$\frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial z^2} = 0 \quad (2.15)$$

Sehingga,

$$\frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial z^2} = - \frac{\partial^2(\Delta H)}{\partial x^2} \quad (2.16)$$

dimana ΔH adalah anomali magnetik, untuk x,y merupakan komponen secara horizontal, sedangkan z merupakan komponen secara vertikal.

Berdasarkan persamaan (2.14) yang diatas dapat diketahui untuk *second vertical derivative (SVD)* anomali magnetik permukaan merupakan negatif dari *second horizontal derivative (SHD)* yang memiliki nilai konstan. Maksudnya adalah

anomali SVD diperoleh melalui derivatif horizontal dengan lebih praktis dan juga mudah. Untuk menentukan nilai SVD, perlu menggunakan turunan orde kedua yang dituliskan dalam persamaan:

$$SVD = \frac{H_{(i-1)} - 2H_i + H_{(i+1)}}{\Delta z^2} \quad (2.17)$$

Dimana :

$SVD = \text{second vertikal derivative (nT/m}^2\text{)}$

$H = \text{nilai anomali magnetik (nT)}$

Untuk memisahkan anomali magnetik dengan metode SVD dengan konsep beberapa persamaan yang ada, terdapat juga operator-operator yang sering dipakai yaitu operator Elkins (1951), Rosenbach (1952), serta Henderson dan Zeits (1949). Penelitian tugas akhir ini, penulis lebih memilih untuk menggunakan filter dari Henderson dan Zietzt (1949) dapat dilihat pada **Tabel 2.3** berikut ini.

Tabel 2.3 Operator koefisien untuk filter SVD (Henderson,1949)

Operator koefisien filter SVD menurut Henderson dan Zietzt				
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
-0.0838	-2.6667	+17.0000	-2.6667	-0.0838
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000

2.6.6 Pemodelan Inversi 3D

Pemodelan 3D inversi adalah metode yang bertujuan dalam memperkirakan model respon magnetik yang sangat cocok pada data hasil observasi atau data pengamatan. Pencocokan data tersebut dinyatakan dalam fungsi objektif yang juga adalah fungsi dari selisih antara teoritis dengan hasil pengamatan. Anomali magnetik (ΔT) di suatu tempat penelitian berkaitan dengan tingkat suseptibilitas

(k) bawah permukaan bumi. Adapun untuk persamaannya dapat diberikan dalam persamaan dibawah :

$$d = G \cdot m \quad (2.18)$$

Apabila pengukuran terletak hanya pada permukaan jumlah data juga lebih kecil daripada jumlah parameter model yang diinginkan (*under-determined*) maka persamaannya menggunakan :

$$m = G^T [G \cdot G^T]^{-1} d \quad (2.19)$$

Dengan G merupakan matriks kernel (N x M) yang bermaksud memetakan sumber anomali magnetik sehingga menjadi data observasi/pengamatan, dimana N merupakan jumlah dari data dan M merupakan jumlah dari parameter model (Grandis,2009).

2.7 Kajian Pustaka Penelitian Sebelumnya

2.7.1 Analisis dan Pemodelan Inversi 3D Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Sipoholon Berdasarkan Data Gaya Berat

Survei dengan metode gaya berat sudah dilakukan pada daerah sipoholon di tahun 2005 oleh Tim Penyelidikan Terpadu PSDG dan dikembangkan oleh Parapat (2017). Adapun banyaknya data berjumlah 230 data gaya berat dengan luas pengukuran 14 km x 16 km. Penulis (Parapat ,2017) melakukan pemodelan 3D inversi untuk mengembangkan pemodelan 2D sebelumnya. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran geologi bawah permukaan dari distribusi densitas batuan daerah Sipoholon secara 3D. Hasil dari inversi 3D pada data gaya berat memperlihatkan adanya blok batuan dengan densitas tinggi (2,80 – 3,00 g/cm³) terletak di bagian Selatan dan Timur pada kedalaman > 2 km. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk referensi pembuatan model konseptual sistem panas bumi/geotermal daerah Sipoholon.

2.7.2 Pemodelan Isotermal Secara Tiga Dimensi (3D) pada Daerah Sipoholon

Telah dilakukan survei oleh Permana dkk (2011) terkait pemodelan isotermal pada daerah Sipoholon dengan dimensi 3D bertujuan memberikan visualisasi yang cukup baik yang nantinya membantu dalam memahami keadaan temperatur bawah permukaan daerah penelitian. Penelitian ini lebih diarahkan pada pengolahan data-data geokimia seperti mata air panas dan juga didukung data geologi/geofisika, selanjutnya dilakukan pemodelan secara 3D isotermal dan dilakukan analisis atau interpretasi kondisi temperatur bawah permukaan di daerah Sipoholon. Berdasarkan pemodelan yang dilakukan menunjukkan pola isotermal Sipoholon dipengaruhi oleh adanya sumber panas, beberapa struktur geologi dan juga pola resistivitas.

2.7.3 Penyelidikan Geolistrik Daerah Panas Bumi Sipoholon-Tarutung Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara

Penyelidikan geolistrik telah dilakukan di daerah Sipoholon-Tarutung oleh Mustang dkk (2005). Penelitian ini bertujuan mendapatkan gambaran terkait potensi panas bumi didasari nilai resistivitas lapisan-lapisan batuan bawah permukaan daerah penelitian. Luas area dari sebaran panas bumi di lokasi survei diduga hampir mencapai 12 km². Rentang kedalaman 200 – 800 m pada bagian Barat adanya resistiviti yang rendah ($< 8 \Omega\text{m}$) yaitu endapan danau Toba. Rentang nilai resistiviti antara 12 – 30 Ωm dan di atasnya dengan kedalaman 300 m hingga ± 1200 m di bagian sebelah Barat adalah *claycap* dari sistem panas bumi daerah penelitian. Reservoir berada pada lapisan yang resistif dengan harga resistiviti $> 30 \Omega\text{m}$ yang tersebar di bawah kedalaman 500 m (Timur) dan 1400 m (Barat).