



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN SISTEM PANAS BUMI PINCARA
KABUPATEN LUWU UTARA SULAWESI SELATAN
BERDASARKAN DATA GEOFISIKA**

TESIS

NOVA SUSANTI

0806470680

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI PASCA SARJANA ILMU FISIKA**

JAKARTA

JAN 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN SISTEM PANAS BUMI PINCARA
KABUPATEN LUWU UTARA SULAWESI SELATAN
BERDASARKAN DATA GEOFISIKA**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister

NOVA SUSANTI

0806470680

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI PASCA SARJANA ILMU FISIKA
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOIR**

JAKARTA

JAN 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Nova Susanti

NPM : 0806470680

Tanda Tangan :

Tanggal : 5 Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Nova Susanti
NPM : 0806470680
Program Studi : Pasca Sarjana Ilmu Fisika
Judul Tesis : Pemodelan Sistem Panas Bumi Pincara Kabupaten
Luwu Utara Sulawesi Selatan Berdasarkan data geofisika

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Pasca Sarjana Ilmi Fisika kekhususan Geofisika Reservoir, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Eng Supriyanto, M. Sc (.....)

Penguji : Dr. Eng. Yunus Daud, M. Sc (.....)

Penguji : Dr. Jatmiko Prio Atmojo (.....)

Penguji : Dr. Syamsu Rosid (.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 3 Januari 2011

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis ini, yang berjudul **“Pemodelan Sistem Panas Bumi Pincara Kabupaten Luwu Utara Sulawesi Selatan Berdasarkan Data Geofisika ”**.

Dalam penyelesaian tesis ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Eng Supriyanto, M.Sc selaku pembimbing yang telah dengan sabar memberikan pengarahan, bimbingan, dan petunjuk yang sangat berharga bagi penulis dalam penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Dr. Eng Yunus Daud, M. Sc, Dr. Djatmiko Prio Atmojo, dan Dr. Syamsu Rosid selaku penguji yang telah memberikan masukan – masukan dan kritik yang membangun untuk perbaikan tesis.
3. Bapak Dr. Muhammad Aziz selaku wakil ketua program Pasca Sarjana Ilmu Fisika
4. Bapak Asep Badan Geologi Bandung atas bantuannya dalam pengambilan data di Badan Geologi.
5. Teristimewa suami tercinta (Uju Junaedi), *my little boys* (Ilmi dan Ilhaam) dan Ayah tersayang yang mengiringi langkah penulis dengan do'a dan kesabarannya dalam memberikan dorongan dan semangat dalam penulisan tesis ini.
6. Fitri Sulistyaningrum yang telah banyak memberikan masukan dan bantuan saat akuisisi data.
7. Rekan – rekan angkatan 2008 program Pasca Sarjana kekhususan Geofisika Reservoir beserta staff atas dukungan dan semangatnya, juga untuk pak Parman dan pak Sumidi yang telah banyak direpotkan.
8. Teman – temanku Jimmi Daniel, Wambra, Aldi, Mika, Surya, Lendri, pak yanto, Bei untuk bantuan dan dorongan semangat dan do'anya.
9. Semua pihak telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga bantuan dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis diterima oleh Allah SWT sebagai amalan kebajikan.

Akhir kata penulis mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak guna memberikan kesempurnaan tulisan ini. Penulis juga mengharapkan semoga tulisan ini dapat berguna bagi pembaca dan penulis sendiri.

Jakarta, 5 Januari 2011

Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nova Susanti
NPM : 0806470680
Program Studi : Pasca Sarjana Ilmu Fisika
Departemen : Kekhususan Geofisika Reservoir
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

”Pemodelan Sistem Panas Bumi Pincara Kabupaten Luwu Utara Sulawesi Selatan Berdasarkan Data Geofisika”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengambil media/formatkan, mengelolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 5 Januari 2011

Yang menyatakan

(Nova Susanti)

ABSTRAK

Nama : Nova Susanti
Program Studi : Magister Fisika, Kekhususan Geofisika Reservoir
Judul : Pemodelan Sistem Panas Bumi Pincara Kabupaten Luwu Utara Sulawesi Selatan Berdasarkan Data Geofisika

Telah dilakukan *reprocessing* data mentah dari Badan Geologi yaitu : data geolistrik, data geomagnet dan data gravity, diperoleh model konseptual Sistem Panas Bumi daerah Pincara, kabupaten Luwu utara, Propinsi Sulawesi Selatan. Sistem panas bumi Pincara adalah sistem yang didominasi oleh air. Daerah panas bumi Pincara terletak di Masamba, Kabupaten Luwu Utara Propinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis berada pada posisi diantara $02^{\circ} 27' 00''$ - $02^{\circ} 35' 00''$ Lintang Selatan dan $120^{\circ} 18' 00''$ - $120^{\circ} 26' 00''$ Bujur Timur. Pada Model konseptual sistem panas bumi Pincara, diduga merupakan sistem panas bumi outflow berdasarkan pada penyelidikan geokimia oleh badan geologi, dimana mata air panas yang terdapat dipermukaan bersifat bikarbonat dengan pH netral. Sumber panas dan reservoir diduga berada di tenggara penyelidikan hal ini berdasarkan pada data geologi dan peta geologi bahwa di tenggara diperkirakan merupakan pusat erupsi magma yang menyebabkan terbentuknya pegunungan Baliase. Disebelah tenggara daerah penyelidikan diperkirakan terdapat lapisan impermeabel yang menahan fluida hydrothermal sampai kepermukaan, namun dengan diperkirakan terdapatnya sesar/patahan pada beberapa titik pengukuran berdasarkan pada pemodelan gravity dan data geomagnet, maka fluida hydrothermal tersebut dapat muncul kepermukaan.

Kata Kunci :

Model Konseptual, Pincara, Resistivity Schlumberger.

ABSTRACT

Name : Nova Susanti
Study Program : Master of Physics, Specialize Reservoir Geophysics
Judul : Modeling of System Hydrothermal Pincara District North
Luwu South Sulawesi Based on Geophysics Data

The reprocessing data from Geology Office was done to be processed, they are: data geolistrik, data geomagnet and data gravity. It is got the conceptual model system hydrothermal Pincara, district luwu north, province south. System hydrothermal pincara that is dominated by water.

The system hydrothermal Pincara is located in Masamba, district Luwu North, South Sulawesi. Based on geographically it is between 020 27 00 - 020 35 00 latitude south and 1200 18 00 - 1200 26 00 longitude east.

Conceptual model system hydrothermal pincara, guessed to be earth hot system outflow based on geokimia survey by geology office, where does hot spring found has bicarbonate with ph neutral. hot source and reservoir guessed to reside in south east this matter quest based on in geology data and geology map that is at south east be centre erupsi magma that causes bentuknya pengunungan baliase. beside south east quest region is estimated found layer impermeabel that hold back fluid hydrothermal until kepermukaan, but with estimated dapatnya fault/fracture in several measurements points based on in pemodelan gravity and data geomagnet, so fluid hydrothermal can appear kepermukaan such as those which be seen in picture 5.6 menyekitar points measurement - points sounding

Keyword :

Conseptual model, Pincara, Resistivity Schlumberger.

DAFTAR ISI

ABSTRAK
DAFTAR ISI
DAFTAR GAMBAR
DAFTAR TABEL

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Lokasi Panas Bumi Pincara	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
1.6. Metodologi Penelitian	4

BAB II TEORI DASAR

2.1. Kajian Umum Sistem Panas Bumi	6
2.1.1 Sistem Panas Bumi di Indonesia	6
2.1.2 Model Sistem Panas Bumi	7
2.2. Geolistrik	
2.2.1 Prinsip Pengukuran Tahanan Jenis	9
2.2.2 Potensial pada Médium yang Homogen	9
2.2.3 Konfigurasi Elektroda	11
2.3. Gravity	
2.3.1 Sferoid Referensi	15
2.3.2 Geoid	15
2.3.3 Reduksi Gravitasi	15
2.3.4 Anomali Bouguer	20
2.3.5 Anomali Residual dan Regional	21
2.3.6 Densitas Batuan	23
2.3.7 Interpretasi Data Gravity	25
2.4. Metode Magnetik	
2.4.1 Koreksi Data	27
2.4.2 Interpretasi Medan Anomali	27

BAB III DATA PENUNJANG

3.1 Data Geologi Daerah Pincara	
3.1.1 Geologi Umum	29
3.1.2 Morfologi	30
3.1.3 Stratigrafi	30
3.1.4 Struktur Geologi	30
3.2 Manifestasi Panas Bumi	31
3.3 Hasil Analisis Tanah dan Udara Tanah	32

3.4	Analisis Densitas Batuan	34
3.5	Hidrogeologi	35
3.6	Tipe Air Panas	36
BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PEMODELAN		
4.1	<i>Reprocessing</i> Data Geolistrik	
4.1.1	Data Mapping	38
4.1.2	Data Sounding	39
4.2	Pengolahan Data Gravity	
4.2.1	Konversi Nilai Baca	44
4.2.2	Reduksi Nilai Gravitasi	44
4.2.3	Pembuatan Peta Anomali Bouguer	46
4.2.4	Pemodelan Bawah Permukaan	49
4.2	Pengolahan Data Geomagnet	48
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		
5.1	Geologi	51
5.2	Hidrogeologi dan Geokimia	51
5.3	Interpretasi kualitatif	
5.3.1	Geolistrik	53
5.3.2	Gravity	59
5.3.3	Geomagnet	61
5.4	Interpretasi kuantitatif	
5.4.1	Geolistrik	62
5.4.2	Gravity	63
5.4.3	Geomagnet	64
5.4.4	Model Sistem Panas Bumi Pincara	68
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	Kesimpulan	73
6.2	Saran	74

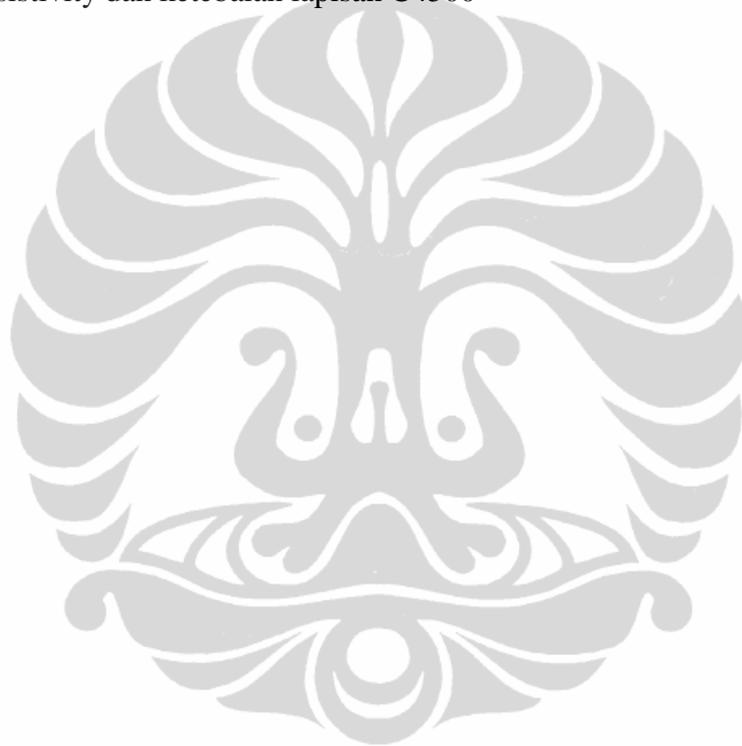
DAFTAR ACUAN

DAFTAR GAMBAR

1.1	Lokasi sebaran daerah panas bumi dan gunungapi di Indonesia	2
1.2	Lokasi penyelidikan panas bumi Pincara	3
1.3	Diagram alir penelitian	5
2.1	Sistem panas bumi	7
2.2	Model sistem panasbumi	8
2.3	Konfigurasi elektrode Schlumber	12
2.4	Gaya tarik antara dua benda	13
2.5	Prinsip kerja alat gravitimeter	14
2.6	Perbandingan sferoid referensi dan geoid	16
2.7	Topografi dengan ketinggian	18
2.8	lempeng Bouguer dan titik amat	19
2.9	Grafik Smoothing	22
2.10	Gambaran Teknik Surface	22
3.1	Peta geologi daerah panas bumi Pincara	28
3.2	Lithologi batuan daerah Pincara	29
3.3	Komposisi kimia air panas desa Pincara dan Lero	34
4.1	Citra landsat lokasi titik <i>sounding, mapping</i> dan mata air panas	37
4.2	Peta tahanan jenis $AB/2 = 250$ m dan 500 m	38
4.3	Peta tahanan jenis $AB/2 = 750$ m dan 1000 m	39
4.4	Model resistivity titik B4000	40
4.5	Model resistivity titik C3900	41
4.6	Model resistivity titik C4500	41
4.7	Model resistivity titik C5000	42
4.8	Model resistivity titik C5500	43
4.9	Model resistivity titik D4500	43
5.1	Peta tahanan jenis semu $AB/2 = 250$ s/d 1000 m	56
5.2	Penampang tahanan jenis semu lintasan B, C dan D	58
5.3	Anomali Bouguer	59
5.4	Anomali gravitasi regional dan residual	60
5.5	Peta anomali magnetik	61
5.6	Penampang tahanan jenis sebenarnya lintasan C	62
5.7	Anomali Residual dan struktur sesar	64
5.8	Penampang anomali magnetik lintasan A, B dan C	66
5.9	Penampang anomali magnetik lintasan D dan E	67
5.10	Model geologi penampang lintasan C	69
5.11	Model konseptual sistem panas bumi Pincara	70
5.12	Peta dugaan reservoir dan heat source	71

DAFTAR TABEL

2.1	Resistivity batuan	10
2.2	Densitas batuan	24
3.1	Densitas sampel batuan air panas Pincara	35
3.2	Perhitungan Anomali Magnetik	50
4.1	Nilai resistivity dan ketebalan lapisan B4000	40
4.2	Nilai resistivity dan ketebalan lapisan C3900	41
4.3	Nilai resistivity dan ketebalan lapisan C4000	41
4.4	Nilai resistivity dan ketebalan lapisan C5000	42
4.5	Nilai resistivity dan ketebalan lapisan C5500	42
4.6	Nilai resistivity dan ketebalan lapisan C4500	43



BAB I

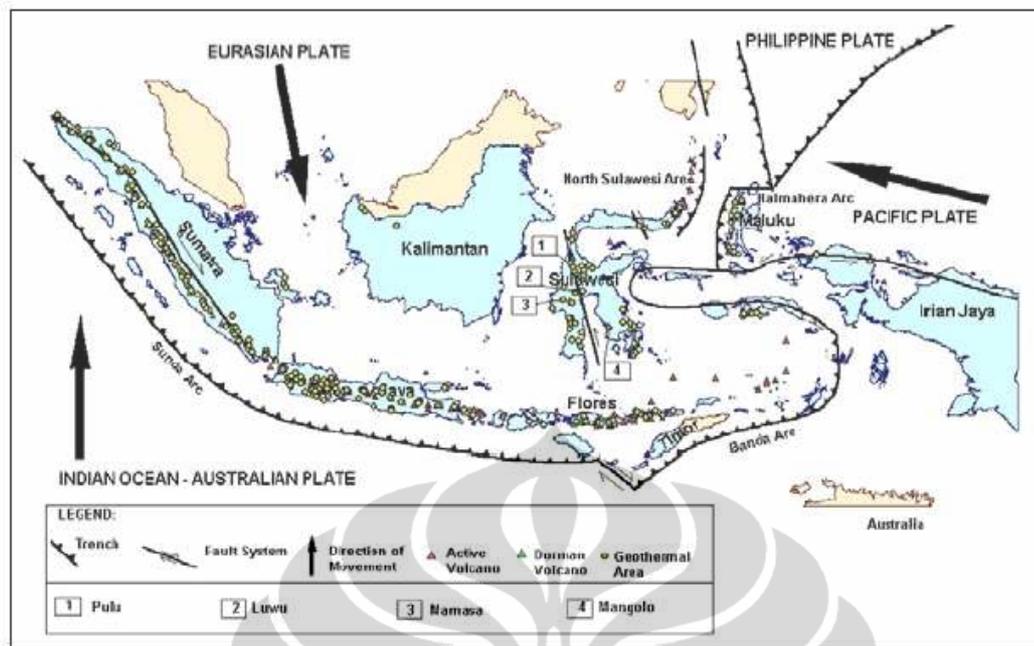
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki sekitar 250 daerah kenampakan panas bumi dengan potensi sekitar 27.000 MWe, yang sebagian besar tersebar sepanjang jalur gunungapi Sunda – Banda yang terentang mulai dari Sumatera, Jawa, Bali, Nusatenggara, Banda, Maluku, Sulawesi Utara, dan kepulauan Sangir (Gambar 1.1). Sekitar 20 persennya terletak di luar jalur gunungapi, sebagian besarnya tersebar di Sulawesi Tengah, Selatan dan Tenggara (Suhanto & Bakrun, 2003). Dari sekitar 1000 MWe total potensi panas bumi wilayah Sulawesi Tengah, Selatan dan Tenggara baru sekitar 160 MWe (atau < 20%) yang merupakan potensi terduga (Suhanto dan Bakrun, 2003).

Daerah panas bumi Pincara yang terletak di Masamba, Kabupaten Luwu Utara, Propinsi Sulawesi Selatan adalah satu dari sekitar 43 daerah panas bumi non-vulkanik di Sulawesi (Suhanto dan Bakrun, 2003). Secara geografis berada pada posisi $02^{\circ} 27' 00''$ - $02^{\circ} 35' 00''$ Lintang Selatan dan $120^{\circ} 18' 00''$ - $120^{\circ} 26' 00''$ Bujur Timur. Keberadaan daerah panas bumi Pincara ditandai dengan ditemukan kelompok mata air panas di Desa Pincara di ketinggian 100 m dpl dengan suhu 83°C , suhu udara 29°C , pH 7-8, warna jernih, rasa air tawar dengan bau belerang lemah dan beruap tipis, dijumpai endapan sinter dan muncul pada batuan granit. Daerah ini secara umum berlingkungan granitik meski terdapat batuan vulkanik sebagai batuan tertua (Suhanto dan Bakrun, 2005).

Pada daerah panas bumi Pincara ini telah dilakukan penyelidikan geologi, geokimia, geofisika, geolistrik, geomagnet dan gravity. Tesis ini memanfaatkan data mentah dari Badan geologi untuk diolah kembali dengan metode pengolahan data yang lebih baik lalu diinterpretasikan sehingga diperoleh model sistem panas bumi di Pincara.



Gambar 1.1 Lokasi sebaran daerah panas bumi dan gunungapi Indonesia, kerangka tumbukan lempeng tektonik di Indonesia (Katili, 1978)

1.2. Maksud dan Tujuan

Penelitian ini dibuat sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Magister Fisika kekhususan Geofisika Reservoir, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Sedangkan tujuannya untuk membuat model sistem panas bumi dengan menggunakan data geofisika di Pincara – Masamba, Kabupaten Luwu Utara, Propinsi Sulawesi Selatan.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai yaitu membuat model sistem panas bumi Pincara berdasarkan data geofisika, maka dilakukan beberapa langkah dalam penelitian ini. Diantaranya mengumpulkan referensi dan mengolah data – data dari penelitian terdahulu yaitu : data magnetik, data gravity dan gaya geolistrik. Data resistivitas diolah secara 1-dimensi. Dengan bantuan data penunjang, dilakukan pemodelan penampang struktur tahanan jenisnya. Selanjutnya, pemodelan penampang 2- dimensi diharapkan dapat memperjelas

interpretasi 1-dimensi. Kemudian dilakukan pemodelan dari data gravity dan data geomagnet yang nantinya akan digabungkan dengan pemodelan yang ada dari data resistivitas. Kombinasi data tersebut untuk menghasilkan model sistem panas bumi di Pincara.

Batasan masalah pada tesis ini yaitu data yang digunakan hanya beberapa data penyelidikan yang sudah dilakukan oleh Badan Geologi dan mengolah kembali dan dilakukan interpretasi hingga diperoleh model sistem panas bumi di Pincara.

1.4. Lokasi Panas Bumi Pincara

Daerah panas bumi Pincara terletak 10 km dari Ibu Kota Masamba, Kabupaten Luwu Utara kearah Utara atau Timurlaut, Propinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1.2).



Gambar 1.2 Lokasi penyelidikan panas bumi Pincara
(Sumardi dan Sundhoro, 2005)

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk sistematika yang digunakan dalam penyusunan tesis adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi hal-hal yang menjelaskan latar belakang penulisan tesis ini, maksud dan tujuan, metode penelitian dan batasan masalah, serta daerah penelitiannya.

BAB II : TEORI DASAR

Meliputi teori yang mendasari metode penyelidikan dan teori interpretasi yang akan digunakan dalam pengolahan data.

BAB III : DATA PENUNJANG

Pada bagian ini memberikan gambaran secara umum geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi (sesar), geokimia panas bumi, serta manifestasi panas bumi Pincara.

BAB IV : PENGOLAHAN DATA

Membahas pengolahan (*reprocessing*) data geofisika daerah penelitian panas bumi Pincara dengan penjelasan secara singkat dan jelas.

BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi pembahasan gabungan antara hasil dari penelitian resistivity, gravity dan geomagnet yang telah dilakukan dengan data penunjang baik secara kualitatif maupun kuantitatif dan model sistem panas bumi di Pincara.

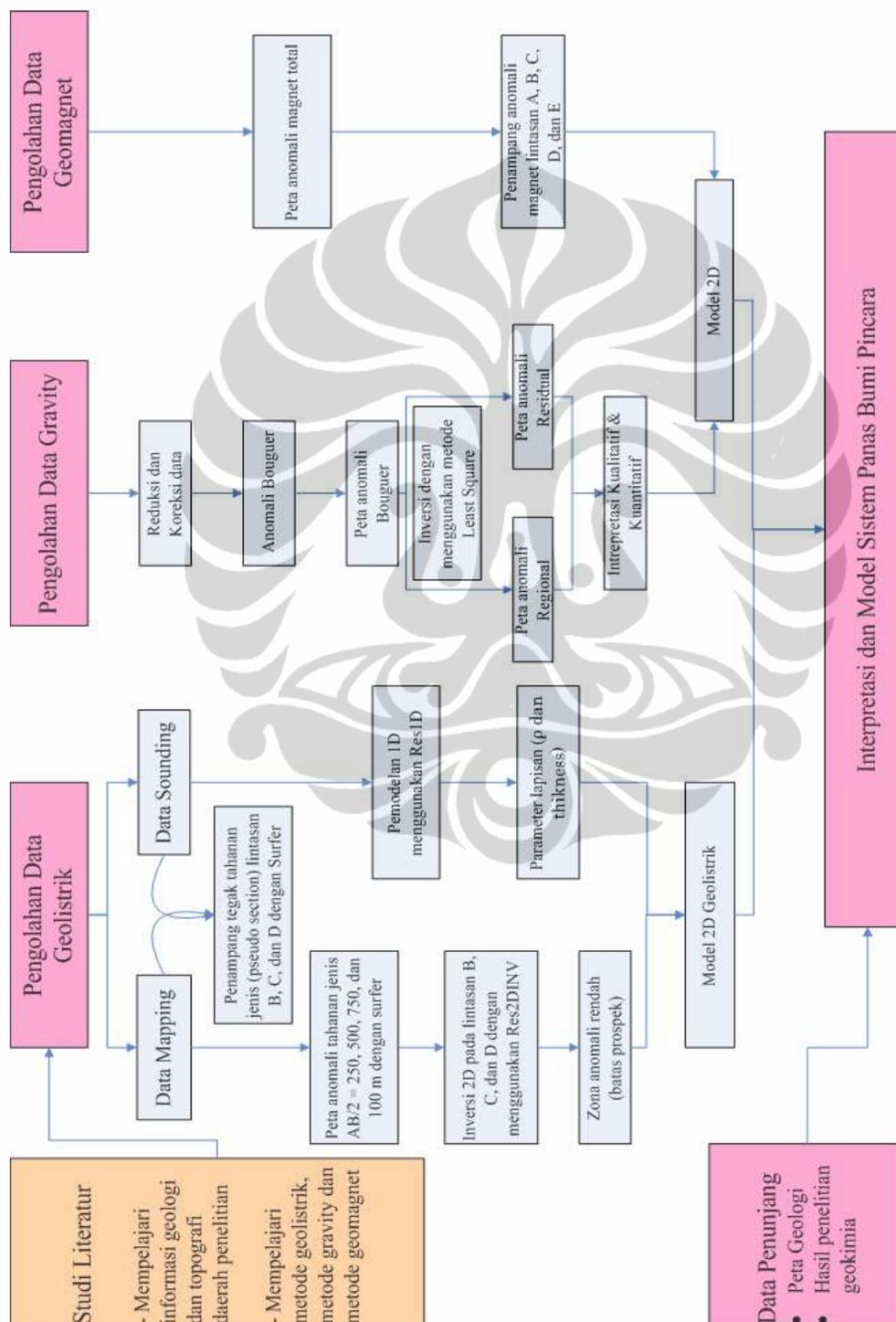
BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Di akhir bab ditulis mengenai kesimpulan dan saran – saran penulis untuk pengembangan hasil penelitian selanjutnya.

1.6. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur mengenai kondisi daerah penelitian dan metode – metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini, lalu dengan menggunakan data geolistrik dilakukan pemodelan 2D untuk memperkirakan harga sebaran *low resistivity* untuk kemudian dibuat model

tentatif. Model tersebut kemudian diinterpretasikan untuk mengetahui daerah yang banyak mengandung banyak rekahan, lebih lanjutnya daerah yang mempunyai nilai anomali residual dikorelasikan dengan data – data geologi maupun geokimia, sehingga diperoleh model sistem panas bumi. Berikut ini diagram alir penelitian yang dilakukan pada penulisan tugas akhir ini.



Gambar 1.3 Diagram alir penelitian

BAB II

TEORI DASAR

2.1. Kajian Umum Sistem Panas Bumi

Kajian geologi utama yang dapat menghasilkan uap panas adalah adanya sumber panas. Akan tetapi sumber panas tanpa didukung oleh adanya kondisi geologi yang memungkinkan maka tidak akan didapatkan akumulasi panas (Hochstein, 1982).

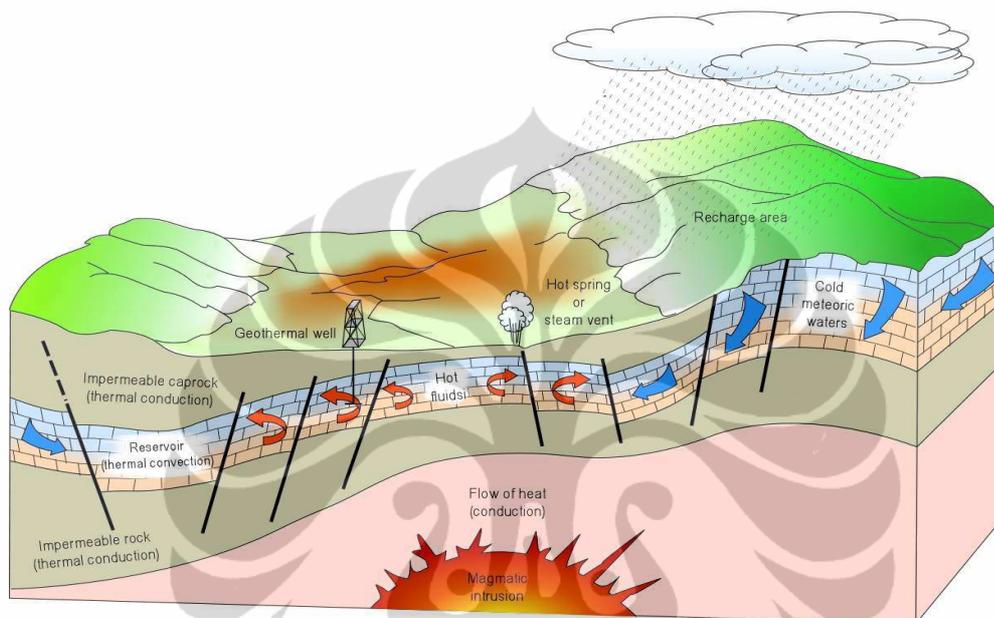
Berdasarkan sumber panas (Tonani, 1982) membagi lapangan panas bumi menjadi tiga tipe yaitu :

- Tipe Larderello dimana sumber panas berasal dari pluton granit yang tidak diketahui tempatnya akan tetapi tidak terlalu dalam. Tubuh magma tersebut dapat berupa Batholit maupun Lakolit.
- Tipe Mount Amiata dimana sumber panas berasal dari tubuh magma yang telah mencapai kerak bumi dan dengan energi yang cukup besar dapat memberikan kenampakan gunung api pliocen dan quarter yang sekarang telah padam.
- Tipe Wairabe dimana lapangan panas bumi berhubungan dengan gunung api yang masih aktif.

2.1.1. Sistem Panasbumi di Indonesia

Umumnya sistem panas bumi di Indonesia merupakan sistem hidrothermal yang mempunyai temperatur tinggi ($>225^{\circ}\text{C}$), hanya beberapa diantaranya yang mempunyai temperatur sedang ($150\text{-}225^{\circ}\text{C}$). Sistem panas bumi jenis hidrothermal terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Perambatan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perambatan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung. Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, 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. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi.



Gambar 2.1 Sistem panasbumi (Dickson and Fanelli, 2004)

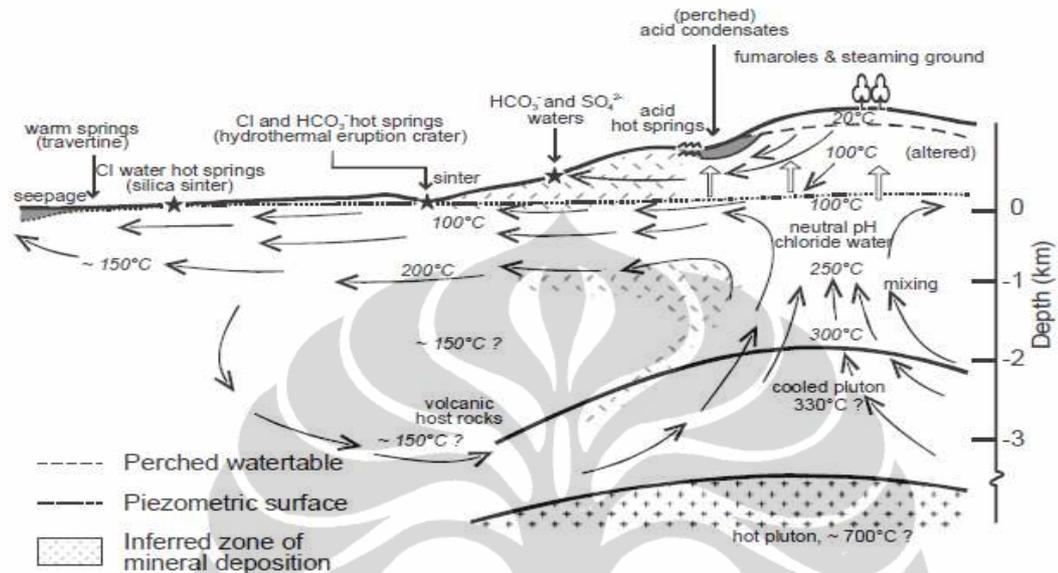
Sistem panasbumi terdiri atas beberapa unsur utama, yaitu :

1. Sumber panas (*heat source*) yang biasanya berasal dari batuan yang terbentuk akibat intrusi magma.
2. Lapisan reservoir merupakan tempat terakumulasinya fluida *hydrothermal*.
3. Lapisan batuan yang bersifat permeable, lapisan ini berperan sebagai batuan penutup (*cap rock*) yang juga berfungsi menjaga tekanan reservoir.
4. Adanya aliran *upflow* dan *outflow* dari reservoir.

2.1.2. Model Sistem Panasbumi

Komponen – komponen lain yang sering diperlihatkan dalam model adalah penyebaran batuan, jenis dan arah aliran air dibawah permukaan. Model

sistem panasbumi atau biasa disebut "conceptual model" dibuat berdasarkan hasil evaluasi data geologi, hidrologi, geofisika, geokimia dan data sumur.



Gambar 2.2 Model sistem panasbumi (Hochstein and Browne, 2000)

Dapat dijelaskan bahwa sumber energi panasbumi berasal dari magma yang berada di dalam bumi yang berperan seperti kompor yang menyala. Magma tersebut menghantarkan panas secara konduktif pada batuan disekitarnya. Panas tersebut juga mengakibatkan aliran konveksi fluida *hydrothermal* di dalam pori-pori batuan. Kemudian fluida *hydrothermal* ini akan bergerak ke atas melalui rekahan – rekahan yang memungkinkan uap dan air panas mengalir ke permukaan, namun fluida *hydrothermal* tidak sampai ke permukaan karena tertahan oleh lapisan batuan yang bersifat impermeabel. Lokasi tempat terakumulasinya fluida *hydrothermal* disebut reservoir atau reservoir panasbumi tepatnya. Agar panas tidak hilang ke permukaan maka reservoir ditutupi oleh lapisan batuan yang solid atau impermeable sebagai lapisan penudung (*cap rock*).

2.2. Geolistrik

Tujuan dari survei tahanan jenis (resistivitas) untuk menentukan sebaran resistivitas bawah permukaan dengan melakukan pengukuran di permukaan

tanah. Ada beberapa macam metode geolistrik, antara lain : metode potensial diri (*SP*), arus *telluric*, *magnetotelluric*, elektromagnetik, *IP (induced polarization)*, dan resistivitas (tahanan jenis). Dalam penelitian ini, pembahasan dikhususkan pada metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas).

Umumnya metode tahanan jenis ini lebih efektif digunakan untuk eksplorasi yang bersifat dangkal hingga sedang seperti akuifer air bawah tanah. Jika kedalaman lapisan lebih dalam informasi yang diperoleh kurang akurat, hal ini disebabkan melemahnya arus listrik untuk jarak bentangan yang semakin besar. Karena itu, metode ini jarang digunakan untuk eksplorasi dalam, seperti eksplorasi minyak. Metode tahanan jenis ini lebih banyak digunakan dalam bidang geologi (seperti penentuan kedalaman batuan dasar), pencarian reservoir air, pendeteksian intrusi air laut dan eksplorasi geothermal.

2.2.1 Prinsip pengukuran Tahanan Jenis

Prinsip pengukuran dalam metoda tahanan jenis adalah dengan menginjeksikan arus listrik (*I*) (dalam satuan mA) ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, kemudian beda potensial (*V*) yang terjadi (dalam satuan mV) diukur melalui dua elektroda potensial (Loke, 2000). Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda kemudian dilakukan perhitungan nilai tahanan jenis semu (ρ_a) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_a = k \left(\frac{V}{I} \right) \quad (2.1)$$

dimana *k* merupakan faktor geometri yang tergantung kepada susunan elektrodanya (konfigurasinya). Nilai tahanan jenis yang terukur merupakan nilai tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) yang merupakan nilai tahanan jenis dari suatu litologi di bawah permukaan yang homogen.

2.2.2 Potensial pada Medium yang Homogen

Pertama, anggap arus mengalir pada medium yang homogen dan Isotropik. Jika δA adalah elemen luas dan **J** adalah rapat arus dalam A/m^2 , maka arus yang melewati luasan δA adalah **J x δA** .

Tabel 2.1 Resistivity batuan (Mussett and Khan, 2000)

Rocks, mineral dan ores	Resistivity (ohm-m)
<i>Sediments</i>	
chalk	50-150
clay	1-100
gravel	100-5000
limestone	50-10 ⁷
marl	1-100
quartzite	10-10 ⁸
shale	10-1000
sand	500-5000
sandstone	1-10 ⁸
<i>Igneous and metamorphic rocks</i>	
basalt	10-10 ⁷
gabbro	1000-10 ⁶
granite	100-10 ⁶
marbite	100-10 ⁸
schist	10-10 ⁴
slate	100-10 ⁷
<i>Minerals and ores</i>	
silver	1.6 x 10 ⁻⁸
graphite, massive oral	10 ⁻⁴ - 10 ⁻³
galena (Pbs)	10 ⁻³ - 10 ²
magnetite ore	1-10 ⁵
sphalerite (ZnS)	10 ³ -10 ⁶
pyrite	1 x 100
chalcopryrite	1 x 10 ⁻⁵ - 0.3
quartz	10 ¹⁰ - 2 x 10 ¹⁴
rock salt	10-10 ¹³
<i>Water and effect of water and salt content</i>	
pure water	1 x 10 ⁶
natural waters	1-10 ³
sea water	0.2
20% salt	5 x 10 ⁻²
granite, 0% water	10 ¹⁰
granite, 0.19% water	1 x 10 ⁶
granite, 0.31% water	4 x 10 ³

Hubungan antara rapat arus dengan medan listrik **E** dijelaskan oleh Hukum Ohm dimana untuk membuat adanya aliran arus diperlukan dorongan

pada suatu medium, semakin besar dorongan yang diberikan semakin besar kecepatan muatan tersebut, juga bergantung dengan medium yang dilewatinya (Griffiths, 1999).

$$J = \sigma E \quad (2.2)$$

dimana \mathbf{E} dalam V/m dan σ adalah konduktivitas medium dalam S/m . Medan listrik adalah gradien dari potensial skalar,

$$E = -\nabla V \quad (2.3)$$

sehingga didapat,

$$J = -\sigma \nabla V \quad (2.4)$$

karena pada medium yang homogen $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$, maka :

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad (2.5)$$

atau

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (2.6)$$

Jika σ hanya merupakan konstanta, maka suku pertama sama dengan nol dan didapatkan persamaan Laplace, dimana potensial merupakan fungsi harmonik :

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.7)$$

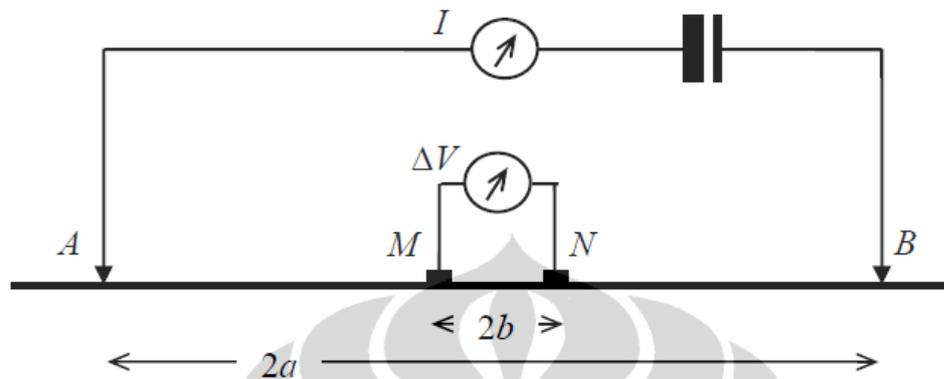
2.2.3 Konfigurasi Elektroda

Berdasarkan letak (konfigurasi) elektroda – elektroda potensial dan elektroda – elektroda arus, dikenal beberapa jenis metoda resistivitas tahanan jenis, antara lain :

2.2.3.1. Metoda Schlumberger

Konfigurasi ini diambil dari nama Conrad Schlumberger yang merintis metoda geolistrik pada 1920-an. Pada konfigurasi Schlumberger sering digunakan penamaan elektroda yang berbeda yaitu A dan B sebagai C_1 dan C_2 , M dan N sebagai P_1 dan P_2 . Konfigurasi Schlumberger ini (Gambar 2.3) dimaksudkan untuk mengukur gradien potensial sehingga jarak antar elektroda

yang membentuk dipol potensial MN dibuat sangat kecil dan berada di tengah – tengah antara A dan B.



Gambar 2.3 Konfigurasi elektroda Schlumberger

faktor geometri konfigurasi elektroda Schlumberger adalah :

$$K = \pi \left(\frac{a^2 - b^2}{2b} \right) = \pi \frac{a^2}{2b} \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \quad (2.8)$$

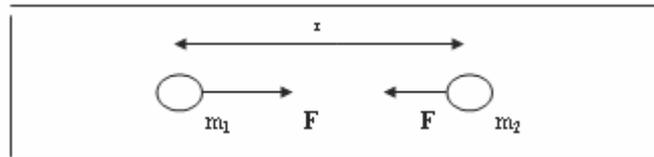
dimana $a = AB/2$ dan $b = MN/2$.

2.3. Gravity

Metoda gravitasi (*gravity*) merupakan salah satu metoda geofisika yang digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan bumi (*subsurface*) dengan cara mengukur variasi percepatan gravitasi bumi yang diakibatkan oleh variasi distribusi nilai rapat massa (*densitas*) dari material di bawah-permukaan bumi (batuan).

Percepatan gravitasi memiliki satuan, dalam Sistem Internasional (SI) adalah m/s^2 , sedangkan dalam cgs dinyatakan dalam gal yang diambil dari nama Galileo dimana $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$. Pemahaman mengenai percepatan gravitasi diawali oleh Aristoteles (384 – 322) yang menyatakan bahwa benda-benda ada yang bergerak bebas menuju pusat bumi dengan kecepatan yang sebanding dengan beratnya. Berdasarkan hal tersebut Isaac Newton pada tahun 1687 menerangkan bahwa benda jatuh bebas tersebut adalah kasus khusus mengenai gravitasi yang kemudian hal tersebut berkembang menjadi Hukum Gravitasi

Universal yang menyatakan bahwa “Dua benda dengan massa m_1 dan m_2 (Gambar 2.4) saling tarik menarik dengan gaya yang sama besar, namun berlawanan arah”.



Gambar 2.4 Gaya tarik antara dua benda bermassa m_1 dan m_2 .

Besarnya gaya tarikan tersebut (F) berbanding langsung dengan hasil kali massa benda tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak (r) dari kedua benda yang memisahkannya. Jika massa (m) itu berupa massa titik (atau benda yang menunjukkan simetri bola) gaya tarik tersebut secara matematis memenuhi persamaan:

$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.9)$$

dengan: F : Gaya gravitasi pada masing-masing partikel (Newton).
 G : Konstanta gravitasi ($6,673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$).
 R : Jarak antara titik pusat kedua massa (m_1 dan m_2).

Benda yang jatuh bebas dengan massa m_1 maka yang mempercepatnya adalah beratnya dengan percepatannya adalah percepatan gravitasi g , dan gaya yang bekerja adalah gayaberat benda tersebut yaitu W . Jika hukum II Newton, yaitu $F = m a$ maka percepatan (a) yang timbul oleh gaya ini merupakan percepatan akibat gravitasi (g) sehingga :

$$a = g \quad (2.10)$$

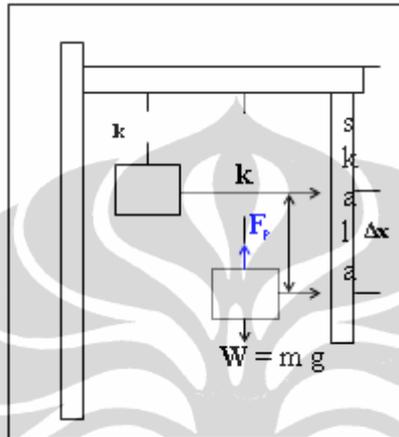
dari persamaan 2.9 dan 2.10 maka percepatan massa m_1 yang mengarah ke massa m_2 (m_2 dimisalkan massa bumi) dapat diketahui dengan persamaan :

$$g = \frac{F}{m_1} \quad (2.11)$$

besar gaya persatuan massa m_1 terhadap m_2 yang berjarak r disebut medan gravitasi dari partikel m_2 yang diperoleh dari persamaan 2.9 dan 2.11 adalah:

$$g = -G \frac{m_2}{r^2} \quad (2.12)$$

jadi dalam metoda gravity, percepatan gravitasi bumi adalah gaya yang dialami oleh suatu satuan massa akibat tarikan bumi.



Gambar 2.5 Prinsip kerja alat gravimeter

$$(m \times g) = (k \times s) \quad (2.13)$$

$$\Delta g/s \Delta \approx dg/ds = k/m \quad (2.14)$$

Dalam persamaan gaya gravitasi pada bahasan sebelumnya, bentuk Bumi diasumsikan bulat sempurna (*spheroid*) dengan densitas seragam. Namun dalam kenyataannya akibat rotasi bumi maka Bumi mengalami pemipihan/*flattened* sehingga secara matematik berbentuk *ellipsoid* yang berotasi (*oblate spheroid*), akibatnya jari-jari bumi di katulistiwa lebih besar ± 21 km daripada jari-jari kutub, sehingga besarnya nilai percepatan gravitasi di daerah katulistiwa akan lebih kecil daripada di kutub. Menurut Hammer perbedaan nilai gravitasi di kedua daerah tersebut $\pm 5,17$ gal dengan distribusi massa di katulistiwa lebih besar dari pada di kutub. Selain bentuk bumi yang ternyata *ellipsoid*, topografi permukaan Bumi juga pada kenyataannya berundulasi sehingga memiliki relief yang tidak rata dan tidak homogen terutama karena adanya variasi densitas pada kerak Bumi (*Crust*), maka variasi nilai gravitasi di tiap titik pengamatan

dipengaruhi juga oleh distribusi volume massa Bumi yang dinyatakan dengan fungsi densitas (ρ) dan bentuk Bumi yang sesungguhnya. Hal yang juga sama-sama mempengaruhi nilai pengukuran gaya gravitasi yaitu fenomena alam pasang surut yang biasanya memberikan efek pasang surut (*Tides Effect*) dan kondisi alat gravimeter itu sendiri sehingga untuk mendapatkan nilai gravitasi yang sebenarnya diperlukan koreksi untuk komponen non geologis tersebut terhadap nilai hasil pengukuran gravity di lapangan, baik di darat, di laut maupun di udara.

2.3.1. Sferoid Referensi

Bentuk permukaan bumi dari hasil pengukuran geodesi dan jejak satelit, hampir mendekati bentuk sferoid, menggebu di ekuator dan hampir datar di kedua kutub. Sferoid referensi adalah suatu ellipsoid yang merupakan perkiraan permukaan muka laut rata – rata (geoid), dengan menghilangkan daratan yang ada di atas geoid.

2.3.2. Geoid

Elevasi rata – rata benua sekitar 500 m, dan elevasi maksimum daratan dan depresi dasar laut memiliki orde 9.000 m terhadap muka laut (Ishaq, 2008). Muka laut dipengaruhi oleh variasi elevasi dan perubahan densitas secara lateral. Muka laut rata – rata didefinisikan sebagai geoid.

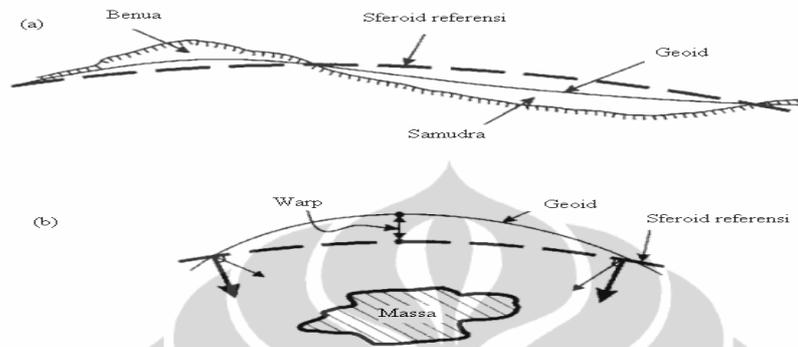
Perubahan densitas berdasarkan gambaran bentuk bumi menyebabkan terjadinya peningkatan densitas terhadap kedalaman, bukan perubahan densitas secara lateral sebagaimana yang dicari dalam eksplorasi gravitasi. Karena terdapat variasi lateral, geoid, dan sferoid referensi tidak sama.

Anomali lokal menyebabkan geoid berubah (Gambar 2.6b), pada benua geoid tertarik ke atas karena tarikan material yang ada di atasnya, dan tertarik ke bawah pada basin laut karena densitas air yang kecil (Gambar 2.6a).

2.3.3. Reduksi Gravitasi

Dalam survei gaya gravitasi pada suatu lokasi (titik), data percepatan gravitasi yang terukur di lapangan secara umum masih dipengaruhi oleh keadaan

mulai dari letak titik pengamatan (*latitude*), pengaruh topografi di sekitarnya, pengaruh kompensasi isostatik, dan keadaan geologi di daerah tersebut (kerapatan batuan).



Gambar 2.6 Perbandingan sferoid referensi dan geoid
(a) skala besar (b) massa lokal

Reduksi data percepatan gravitasi dilakukan setelah data dikoreksi dari kesalahan yang disebabkan karena kesalahan sistematis dan kesalahan pembacaan. Koreksi pembacaan gravitasi meliputi : koreksi drift, koreksi letak terhadap lintang bumi, koreksi ketinggian (udara bebas dan Bougeur), dan koreksi topografi (medan).

a. Koreksi Lintang (g_n)

Koreksi lintang dimanfaatkan karena bentuk bumi yang elipsoid akibat berotasi sehingga jari-jari di katulistiwa lebih besar dari jari-jari di kutub yang memberikan efek perubahan nilai gravitasi pengamatan di lapangan terhadap lintang geografis, istilah lain untuk pendekatan bentuk bumi *spheroid* akibat rotasi tersebut dikenal juga dengan nama *spheroid referensi* (Subagio, 2000) dengan koreksi lintang maka dapat diperoleh nilai gravitasi normalnya/gravitasi teoritik (g_n) dari suatu titik pengukuran.

Rumusan medan gravitasi normal pada bidang *spheroid* tersebut telah ditetapkan oleh *International Union Geodesy and Geophysics* di tahun 1930, dan tahun 1980

digantikan oleh *Geodetic Reference System/GRS 1980* (Untung, 2001) dengan rumusan:

$$g_n = 978.032,7(1 + 0,0053024 \sin^2 \theta - 0,0000058 \sin^2 2\theta) \quad (2.13)$$

dengan: g_n : Gravitasi Normal.
 θ : Lintang titik amat dalam sistem ellipsoid WGS'84 (*Word Geodetic System 1984*).

b. Koreksi Pasang Surut (*Tide Correction*)

Koreksi pasang surut atau dikenal dengan *Tides Correction* muncul akibat adanya efek medan gravitasi bulan dan matahari/gaya pasang surut (*tidal force*) terhadap Bumi, sehingga nilai gravitasi bumi mengalami penyimpangan secara periodik dari nilai normalnya. Koreksi pasang surut dapat dihitung dengan persamaan berikut (Sulistyningrum, 2009) :

$$\delta g_T = \frac{3}{2} \rho G R \left[\frac{M_m}{r_m^3} (\cos 2\theta_m + \frac{1}{3}) + \frac{M_s}{r_s^3} (\cos 2\theta_s + \frac{1}{3}) \right] \quad (2.14)$$

δg_T = Koreksi Pasut

ρ = 1,16 (peregangan bumi karena gaya pasut)

R = Jari-jari bumi.

θ_m = Sudut yang dibentuk oleh garis yang menghubungkan titik pusat bumi dan bulan dengan garis antara titik pusat bumi dengan titik pengamatan.

θ_s = Sudut yang dibentuk oleh garis yang menghubungkan titik pusat bumi dan matahari dengan garis antara titik pusat bumi dan titik pengamatan.

r_s = Jarak matahari ke bumi.

r_m = Jarak bulan ke bumi.

M_m = Massa bulan

M_s = Massa matahari

θ_m dan θ_s dihitung dengan suatu formula dengan program komputer berdasarkan pengukuran alat astronomi.

c. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi apungan digunakan untuk menghilangkan efek perubahan sifat elastisitas pada komponen mekanik gravitometer yaitu pegas yang sangat sensitif yang dapat diakibatkan oleh pengaruh gaya luar seperti guncangan atau tekanan dan perubahan suhu sehingga nilai pembacaan berangsur angsur dapat berubah terhadap waktu.

Secara matematis nilai drift dapat dihitung dengan persamaan berikut:

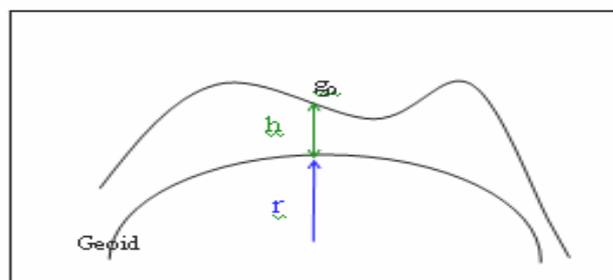
$$c = \frac{(p - q)}{(r - q)}(x - y) \quad (2.15)$$

dengan :

- c = koreksi drift untuk stasiun n
- p = waktu pembacaan di stasiun n
- q = waktu pembacaan di stasiun awal
- r = waktu pembacaan di stasiun akhir
- x = nilai pembacaan di stasiun akhir
- y = nilai pembacaan di stasiun awal

d. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction* / Δg_{FAC})

Koreksi udara bebas merupakan koreksi yang dipakai untuk menghilangkan efek topografi atau efek perubahan ketinggian yang mempengaruhi nilai pembacaan nilai gravitasi tanpa memperhatikan efek dari massa batuan. Dengan kata lain koreksi udara bebas merupakan proses pengalihan nilai gravitasi normal spheroid referensi ke gravitasi di permukaan topografi.



Gambar 2.6 Topografi dengan ketinggian h dan Geoid

Percepatan gayaberat pada titik di permukaan bumi (g_o) dan pada bidang datum atau *geoid* (g_n) adalah:

$$g_n = \frac{Gm}{r^2} \quad (2.16)$$

$$g_o = \frac{Gm}{(r+h)^2}$$

$$g_o - g_n = \frac{Gmr^2 + Gmh^2 + 2Gmrh - Gmr^2}{r^2(r+h)^2} \quad (2.17)$$

tetapi $h \ll r$ maka $Gmh^2 = 0$

$$r+h = r$$

Bila rata-rata jari-jari bumi (r) = 6.356,77 km dan gravitasi teoritis (g_o) = 980,629 mGal maka :

$$g_o - g_n = \frac{2Gmrh}{r^4} = \frac{2Gmh}{r^3} = \frac{2g_o h}{r} = 0,3086h \text{ mGal} \quad (2.18)$$

Koreksi udara bebas merupakan proses pengalihan nilai gravitasi normal spheroid referensi ke nilai gravitasi di permukaan topografi. Sehingga nilai koreksi udara bebas adalah:

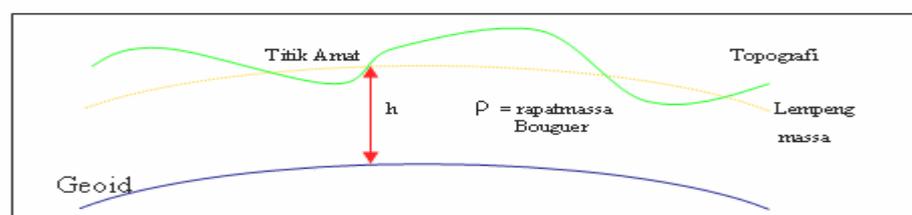
$$\Delta g_{\text{FAC}} = 0,3086 h \quad (2.19)$$

dengan : Δg_{FAC} : Koreksi udara bebas (mGal).

H : Ketinggian titik amat (m).

e. Koreksi Bouguer (Δg_B)

Koreksi Bouguer merupakan koreksi ketinggian yang memperhitungkan adanya efek dari massa batuan yang berada di antara bidang datum (*geoid*) dan titik amat dengan asumsi memiliki jari-jari tak berhingga dengan tebal h (meter) dan densitas ρ (gr/cc).



Gambar 2.7 Lempeng Bouguer/massa diantara
Geoid dan titik amat (Untung, 2001)

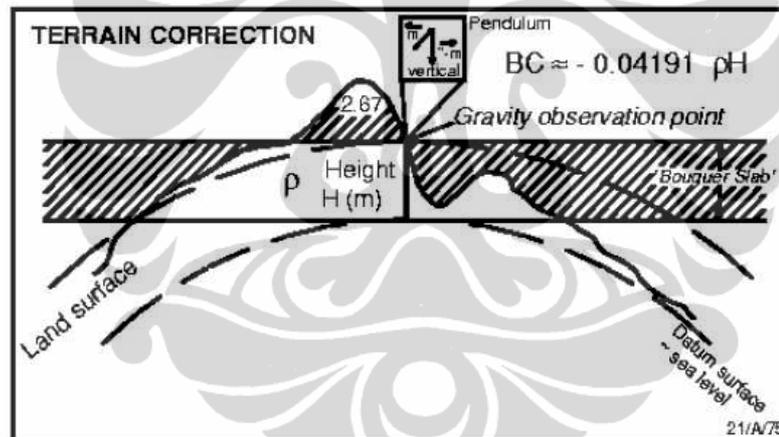
Nilai koreksi Bouger dapat dicari dengan persamaan $\Delta g_B = 2\pi G \rho h$
Jika nilai konstanta gravity universal $G = 6,673 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ maka
$$\Delta g_B = 0,0419 \rho h \text{ mGal} \quad (2.20)$$

dengan : h : Ketinggian titik amat (m).

ρ : Rapatmassa rata-rata daerah penelitian (gr/cc).

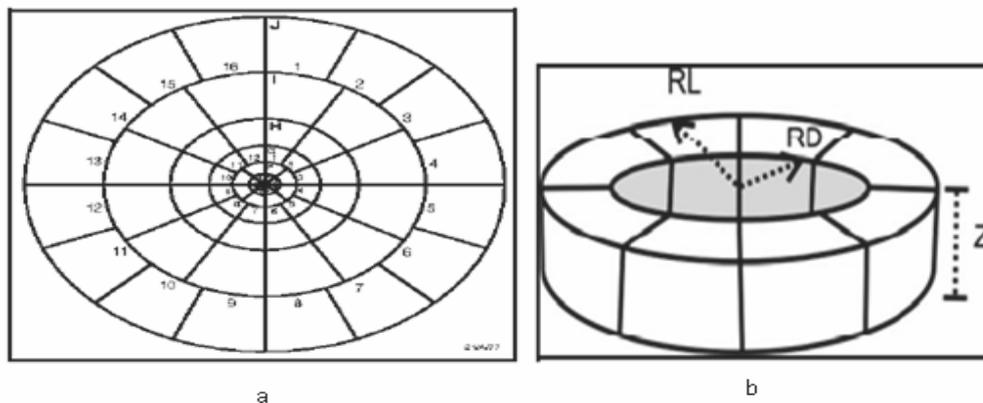
f. Koreksi Medan

Koreksi medan muncul dikarenakan permukaan bumi di sekitar titik pengukuran tidak semuanya rata, namun berundulasi atau berlembah dan bergunung. Kondisi tersebut dapat mempengaruhi nilai gravitasi saat pengukuran.



Gambar 2.7 Sketsa koreksi medan terhadap data gaya berat

Salah satu cara untuk mengetahui nilai koreksi medan adalah dengan menggunakan Hammer Chart (Gambar 2.8a).



Gambar 2.8 (a) Hammer Chart, (b) Cincin silinder yang terbagi 8 segmen
Secara matematis koreksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut dengan pendekatan cincin silinder dapat dilihat pada Gambar 2.8b:

$$\Delta g_T = \frac{2\pi G \rho}{n} (r_L - r_D) + \left(\sqrt{r_L^2 - z^2} \right) - \left(\sqrt{r_D^2 - z^2} \right) \quad (2.21)$$

Dengan:

- G : Konstanta gayaberat ($6,673 \times 10^{-8}$ dyne $\text{cm}^2 \text{gr}^{-2}$).
- r_L dan r_D : radius luar dan radius dalam kompartemen
- z : perbedaan elevasi rata – rata kompartemen
- n : jumlah segmen dalam zona tersebut
- ρ : densitas batuan rata - rata

2.3.4. Anomali Bouguer

Setelah dilakukan koreksi – koreksi terhadap data percepatan gravitasi hasil pengukuran (koreksi lintang, koreksi *drif*, koreksi udara bebas, dan koreksi boguer, koreksi *terrain*) maka diperoleh anomali percepatan gravitasi (anomali gravitasi Bouguer lengkap) yaitu :

$$g_{AB} = g_{obs} - g_n \pm 0,3086h \pm 0,04192\rho h + \Delta g_T \quad (2.22)$$

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan anomali Bouguer dengan menggunakan persamaan dibawah ini, dengan asumsi kondisi bahwa stasiun terletak diatas datum.

$$g_{AB} = g_{obs} - g_n + \Delta g_{FA} - \Delta g_B + \Delta g_T \quad (2.23)$$

dengan :

- g_{AB} = Pembacaan gravitasi di stasiun
- g_n = nilai gravitasi teoritis
- Δg_{FA} = koreksi udar-bebas,
- Δg_B = koreksi Bouguer, dan
- Δg_T = koreksi terrain.

2.3.5. Anomali gavitasi Regional dan Residual

Nilai anomali gravitasi/ anomali Bouguer yang diperoleh pada dasarnya mengandung dua komponen informasi anomali, yaitu:

1. Anomali residual yang mengandung informasi geologi permukaan daerah penelitian. Diindikasikan sebagai anomali yang berfrekuensi tinggi dan digunakan untuk mendapatkan informasi geologi bawah permukaan yang relatif dangkal/lebih dekat ke permukaan bumi.
2. Anomali regional yang mencerminkan informasi geologi batuan dasar (*basement*). Dicitrakan sebagai anomali yang berfrekuensi rendah dan biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi geologi bawah permukaan yang sangat dalam.

Ada beberapa cara grafis yang dapat digunakan dalam memisahkan anomali residual dari regional, diantaranya :

a. Metoda Smoothing

Metoda smoothing merupakan metoda yang menggunakan cara grafis. Anomali regional memiliki tendensi lebih halus dibandingkan dengan anomali Bouguer.

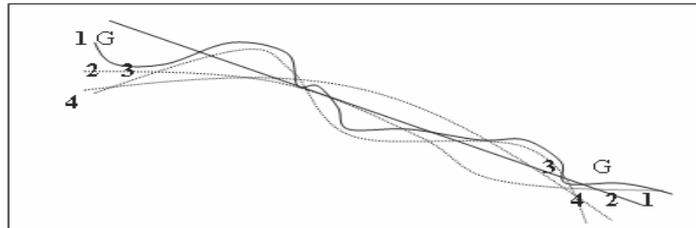


Gambar 2.9 Grafik Smoothing.

Pada Gambar 2.9 jika kita menggunakan cara smoothing, garis menerus yang menunjukkan anomali bouguer dikurangi anomali regional yang ditunjukkan garis putus-putus akan menghasilkan selisih antara nilai anomali Bouguer dan regional, selisih ini yang disebut anomali residual/lokal.

b. Metoda Surface Fitting

Metoda *surface fitting* merupakan metoda data processing yang menggunakan *last square* yang dapat menentukan potensial permukaan dari nilai gayaberat yang diamati. Secara umum teknik tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.10 Gambaran Teknik Surface

Dalam Gambar 2.10 tampak kurva gayaberat yang diamati (G), jika kita tarik surface fitting orde 1, maka akan berupa garis lurus. Surface fitting orde 2 merupakan garis lengkung yang memotong dua titik pada garis lurus tersebut, orde 3 memotong di tiga buah titik, orde 4 memotong di empat buah titik, dan seterusnya.

2.3.6. Densitas Batuan

Dalam metoda Gravity, distribusi parameter fisika yaitu densitas dari material di bawah-permukaan bumi berasosiasi dengan kondisi dan struktur geologi di dalam bumi, sehingga mengetahui karakteristik densitas dari tiap jenis batuan patut diketahui oleh para geofisikawan, karena nilai percepatan gravitasi yang terukur di permukaan bumi akan bervariasi dipengaruhi oleh variasi distribusi densitas material (batuan) yang berada di bawah-permukaan bumi.

Tiga jenis batuan utama yang mempengaruhi percepatan gravitasi (Untung, 2001), yaitu:

1. Batuan Sedimen

Densitas batuan sedimen dipengaruhi oleh tekanan karena gaya tektonik, porositas, serta mineral atau fluida yang dikandungnya sehingga nilai densitasnya sangat bervariasi.

2. Batuan Beku

Densitas batuan beku dipengaruhi oleh kandungan silika. Pada umumnya semakin tinggi kandungan silikanya, maka nilai densitasnya akan mengecil dan sebaliknya. Sedangkan batuan pluton ataupun batuan vulkanik nilai densitasnya mengikuti garis keasaman. Semakin tinggi garis keasaman maka densitasnya akan semakin tinggi dan sebaliknya.

3. Batuan Metamorf

Berdasarkan metode Gravity batuan metamorf variasi densitasnya sangat bervariasi dan tidak mengikuti aturan yang berlaku. Meskipun demikian densitasnya cenderung membesar dengan derajat ubahan (*degree of metamorphism*), dimana nilai densitasnya akan semakin besar seiring dengan bertambahnya derajat ubahan, dan sebaliknya. Hal ini terjadi karena adanya proses rekristalisasi bahan-bahan yang kemudian berubah menjadi mineral yang lebih padat.

Densitas yang digunakan dalam perhitungan data gravity merupakan densitas rata-rata yang dapat ditentukan dengan beberapa cara, diantaranya; Laboratorium Core/Surface sampling, metode Nettleton dan Parasnis.

1) **Metode Core atau Sampling**

Metode ini merupakan metode pengukuran langsung terhadap nilai densitas batuan di lapangan dengan menganalisa langsung terhadap batuan hasil pemboran (core) atau hasil sampling lapangan di laboratorium. Nilai densitas dengan metode ini cukup akurat. Meskipun begitu, masih terdapat beberapa kelemahan pada metode ini, antara lain membutuhkan biaya yang besar, ada kemungkinan terdapat perbedaan nilai densitas saat diukur di laboratorium dengan densitas saat di lapangan (*in situ*), selain itu pengukuran dengan metode ini tidak bisa mencakup seluruh daerah survey.

2) **Metode Nettleton**

Pada metode ini, dibuat grafik anomali Bouguer dengan berbagai macam nilai densitas kemudian dibandingkan dengan lintasan profile nilai topografi pada suatu lintasan yang sama.. Nilai densitas yang memiliki variasi paling minimum dengan profile topografi dianggap sebagai densitas rata-rata yang mewakili daerah penelitian.

Tabel 2.2 Densitas Batuan (Telford *et. al*,1990)

Type Batuan	Rentang Densitas (gr/cc)	Densitas rata – rata (gr/cc)
Batuan Sendimen		
Overburden	-	1.92
Soil	1.20 – 2.40	1.92
Clay	1.63 – 2.60	2.21
Gravel	1.70 – 2.40	2.00
Sand	1.70 – 2.30	2.00
Sandstone	1.61 – 2.76	2.35
Shale	1.77 – 3.20	2.40
Limestone	1.93 – 2.90	2.55
Dolomite	2.28 – 2.90	2.70
Batuan Beku		
Rhyolite	2.35 – 2.70	2.52
Andesite	2.40 – 2.80	2.61
Granite	2.50 – 2.81	2.64
Granodiorite	2.67 – 2.79	2.73
Porphyry	2.60 – 2.89	2.74
Quartz diorite	2.62 – 2.96	2.79
Diorite	2.72 – 2.99	2.85
Lavas	2.80 – 3.00	2.90
Diabase	2.50 – 3.20	2.91
Basalt	2.70 – 3.30	2.99
Gabbro	2.70 – 2.50	3.03
Peridotite	2.78 – 3.37	3.15
Acid igneous	2.30 – 3.11	2.61
Basic Igneous	2.09 – 3.17	2.79
Batuan Metamorf		
Quartzite	2.50 – 2.70	2.60
Schists	2.39 – 2.90	2.64
Graywacke	2.60 – 2.70	2.65
Marble	2.60 – 2.90	2.75
Serpentine	2.40 – 3.10	2.78
Slate	2.70 – 2.90	2.79
Gneiss	2.59 – 3.00	2.80
Amphibolite	2.90 – 3.04	2.96
Eclogite	3.20 – 3.54	3.37
Metamorphic	2.40 – 3.10	2.74

3) Metode Parasnis

Pendekatan analitik untuk menentukan rapat massa telah dikembangkan oleh Parasnis. Dengan menulis persamaan anomali Bouguer dalam bentuk:

$$g_{\text{obs}} - g_N + 0,3086h = (0,04193 h - TC) \rho + BA \quad (2.24)$$

Dengan mengasumsikan harga anomali Bouguer yang nilai random errornya untuk daerah survey sama dengan nol, diplot data ($g_{\text{obs}} - g_N + 0,3086h$) terhadap $(0,04193 h - TC)$ untuk mendapatkan garis regresi linear yang tepat dengan kemiringan ρ yang dianggap sebagai densitas rata-rata yang mewakili daerah penelitian.

2.3.7. Interpretasi Data Gravity

Penafsiran terhadap data gravity dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara kualitatif dan kuantitatif. Tujuannya adalah untuk menafsirkan informasi geologi yang ada dan terjadi di bawah-permukaan pada daerah penelitian seperti struktur geologi dan jenis batuan.

1. Penafsiran Kualitatif

Penafsiran secara kualitatif dapat dilakukan dengan cara menginterpretasi secara langsung pada peta anomali Bouguer, peta anomali regional dan peta anomali residual suatu daerah penelitian. Tujuannya adalah untuk menafsirkan secara lateral struktur geologi di bawah permukaan melalui gambaran sebaran bentuk atau pola kontur anomali yang ada. Pada beberapa hasil penelitian, biasanya bentuk kontur yang melingkar menunjukkan adanya intrusi, sinklin/cekungan atau antiklin, bentuk kontur punggung atau sejajar dan rapat dapat mengindikasikan adanya sesar, horst, dan lain-lain.

2. Penafsiran Kuantitatif

Penafsiran secara kuantitatif dilakukan untuk memberi gambaran secara matematis mengenai geometri dari benda penyebab anomali. Penafsiran secara kuantitatif biasanya dilakukan berdasarkan hasil proses pemodelan geologi dan geofisika.

2.4. Metoda Magnetik

Metoda magnetik didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Variasi yang terukur (anomali) berada dalam latar belakang medan yang relatif besar. Variasi intensitas medan magnetik yang terukur kemudian ditafsirkan dalam bentuk distribusi bahan magnetik di bawah permukaan, yang kemudian dijadikan dasar bagi pendugaan bawah permukaan, yang kemudian dijadikan dasar bagi pendugaan keadaan geologi yang mungkin.

Metoda magnetik sering digunakan dalam eksplorasi pendahuluan minyak bumi, panas bumi, dan batuan mineral serta bisa diterapkan pada pencarian prospeksi benda – benda arkeologi.

2.4.1. Koreksi Data

2.4.1.1 Koreksi harian (diurnal)

Koreksi harian dilakukan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar pada harga medan hasil pengukuran.

2.4.1.2 Koreksi Topografi (Terrain)

Koreksi terrain adalah koreksi yang dilakukan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet yang ditimbulkan oleh bukit – bukit yang termagnetisasi terhadap harga medan hasil pengamatan. Belum ada aturan umum dalam koreksi ini, jika topografi dianggap tidak termagnetisasi, maka yang dilakukan adalah hanya koreksi ketinggian dengan mengacu pada harga gradien vertikal medan magnet bumi, yaitu diperkirakan :

- di daerah kutub sekitar $-0,3 \gamma / \text{meter}$
- di daerah ekuator sekitar $-0,15 \gamma / \text{meter}$

2.4.1.3 Koreksi lainnya, misalnya :

- Koreksi normal adalah koreksi untuk menghilangkan perbedaan harga medan normal bumi di daerah pengukuran. Koreksi ini mirip dengan koreksi lintang dalam metoda gravity.
- Koreksi suhu pada alat.

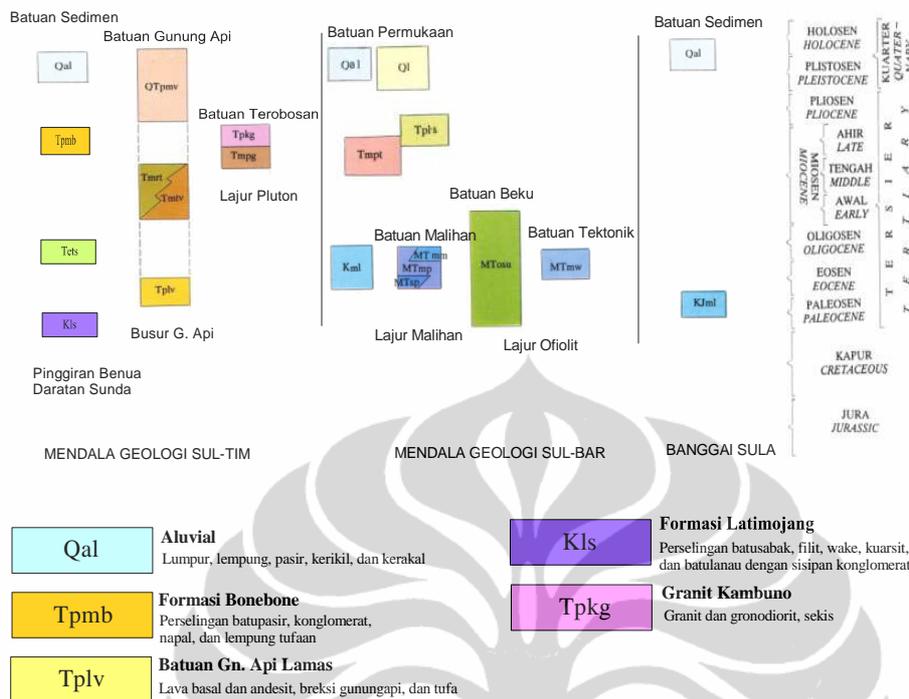
2.4.2. Interpretasi Medan Anomali

Dari harga intensitas medan magnet teramati dihitung harga medan anomali ΔH :

$$\Delta H = H^+ - H_o \quad (2.12)$$

H^+ = intensitas medan yang diamati telah dikoreksi harian

H_o = harga rata – rata intensitas medan magnet bumi untuk daerah tersebut (dapat menggunakan harga IGRF = *International Geomagnetic Reference Field*).



Gambar 3.2 Lithologi batuan daerah Pincara (Simandjuntak dkk., 1991)

3.1.1 Geologi umum

Berdasarkan peta geologi lembar Malili (Simandjuntak dkk., 1991), skala 1 : 250.000, geologi umum daerah penelitian dapat dibagi kedalam 5 satuan formasi yaitu : Formasi Latimojong (Kls), batuanannya terdiri dari batusabak, filit, kuarsit, batugamping dan batulanau dengan sisipan konglomerat. Satuan batuan gunungapi Lamas (Tplv) batuanannya terdiri dari lava, basalt breksi gunungapi, tufa dan andesit. Formasi Bonebone (Tpmv) batuanannya terdiri dari batupasir, konglomerat, napal dan lempung tufaan. Granit Kambuno (Tpkg) batuanannya terdiri dari granit, granodiorit dan sekis (batuan terobosan Granit, granodiorit) dan batuan Alluvium (Qal) terdiri dari lumpur, lempung, pasir, kerikil dan kerakal.

Dari hasil pengamatan lapangan daerah penelitian secara garis besar batuanannya terdiri dari batuan sedimen, alluvium, granit, granodiorit, diorit, batuan lava , breksi dan andesit. Batuan intrusi berupa granit dan granodiorit

(berumur miosen atas) dan batuan lava, breksi dan andesit (berumur paleosen). Sedangkan dari hasil pengamatan geologi lapangan batuan didaerah penelitian didominasi oleh batuan granit dan granodiorit (batuan granitik), batuan lava, batuan breksi, batuan sedimen dan satuan batuan aluvium yang menempati bagian selatan daerah penelitian.

3.1.2 Morfologi

Morfologi daerah panas bumi Pincara dibagi 4 (empat) satuan morfologi, yaitu : satuan pedataran/SP yang mengisi bagian daerah penyelidikan dengan ketinggian antara 0–58 m (dpl) dengan kemiringan lereng $<3^\circ$, satuan perbukitan bergelombang lemah/SL yang menempati bagian tengah selatan memanjang arah barat – timur dengan kemiringan 60–100 m (dpl) dan kemiringan lereng antara $5-13^\circ$, satuan perbukitan bergelombang sedang/SS dengan ketinggian antara 100–250 m (dpl) dan kemiringan lereng $10-18^\circ$, dan satuan perbukitan terjal/ST menempati daerah paling utara dengan arah memanjang barat–timur dengan ketinggian 250–750 m (dpl) dan kemiringan lereng antara $25-30^\circ$ (Sumardi dan Sundhoro, 2005).

3.1.3 Stratigrafi

Secara stratigrafi daerah panas bumi Pincara tersusun oleh tiga satuan batuan yaitu :

- Satuan batuan malihan (batu sabak, filit, sekis, dan gneiss)
- Satuan batuan – batuan terobosan (granit dan granodiorit).
- Satuan aluvium (Qal).

3.1.4 Struktur Geologi

Berdasarkan hasil Berdasarkan hasil analisis citra *landsat* dan peta topografi, gejala – gejala struktur yang ditemukan dipermukaan adalah : a). pemunculan mata air panas, b). kelurusan sungai, lembah, bukit dan punggung,

c). dinding patahan, cermin sesar, *off-set* batuan tua, d). zona hancuran batuan/breksiasi (*fracture*). Pada daerah penyelidikan terdapat 3 sesar utama, yaitu :

- Sesar tertua berarah utara timurlaut-selatan baratdaya (N 20-30°E) di namakan **Sesar Baluase** dengan kemiringan $> 70^\circ$ ke arah barat. Sesar ini menyebabkan kelurusan morfologi pada S. Baluase dan pemunculan mata air panas Pemandian dan Kanan Tedong-Desa Pincara.
- Sesar Kedua mempunyai arah timurlaut-baratdaya (N 45-50° E) dengan kemiringan 45-60° sesar ini mengakibatkan kemunculan batuan tua (sedimen Pangkase/Tmsp).
- Sesar termuda berarah baratlaut-tenggara (N 320-340° E), sesar ini dinamakan Sesar Balakala, Sesar Masamba dan Sesar Kula dengan berkemiringan $> 80^\circ$.
 - Sesar Balakala membentuk *joint-joint* pada batuan (zona fraktur), kelurusan lembah/S.Balakala, tebing patahan, paset segitiga (*triangular-pacet*) dan pemunculan mata air panas Pemandian dan Kanan Kedong-Desa Pincara.
 - Sesar Masamba menyebabkan *joint-joint* di batuan (zona fraktur), kelurusan lembah/S. Masamba, tebing patahan dan paset segitiga (*triangular-pacet*).
 - Sesar Kula menyebabkan *joint-joint* pada batuan (zona fraktur), kelurusan lembah/S. Kula, tebing patahan, paset segitiga (*triangular-pacet*) dan pemunculan mata air panas Kanan Kole dan Kanan Kumbi-Desa Lero dan naiknya batuan tua lava andesitik Tpll di S. Baluase, Desa Kamiri, Kecamatan Masamba

3.2. Manifestasi Panas Bumi Pincara

Manifestasi panas bumi di daerah penyelidikan Pincara terdapat 2 kelompok mata air panas, yaitu di desa Pincara yang lokasinya di tengah-tengah daerah penyelidikan, dan di desa Lero yang terletak di bagian barat.

- a. Manifestasi panas bumi desa Pincara
- Mata air panas Kanan Tedong 1 (X = 208127 mT, Y = 9725314 mU) dengan suhu 83,4° C, suhu udara 25,3° C, debit 10 L/detik, muncul pada batuan breksi berkomponen granit, warna jernih, beruap, tawar, bau belerang sedang, ada sinter silika/sulfat, dan buangan gas tidak kontinu
 - Mata air panas Kanan Tedong 2 (X = 208153 mT, Y = 9725294 mU) dengan suhu 63,5° C, suhu udara 25,3° C, debit 2 L/detik, muncul pada granit di tepi barat sungai Baluase, warna jernih, beruap, tawar, bau belerang lemah, tidak ada sinter, bergelembung gas tidak kontinu
 - Mata air panas pemandian desa Pincara (X = 208220 mT, Y = 9725493 mU) dengan suhu 74,4° C, suhu udara 25,8° C, debit 4 L/detik, muncul pada lava andesit di tepi barat sungai Baluase, berwarna jernih, beruap tipis, tawar, bau belerang lemah, tidak ada sinter, bergelembung gas tidak kontinu.
- b. Manifestasi panas bumi desa Lero
- Mata air panas Kanan Kole (X = 199881 mT, Y = 9723107 mU) dengan suhu 45,6° C, suhu udara 25,3° C, debit + 5 L/detik, Muncul pada granit, berwarna jernih, beruap tipis, tawar, berbau belerang lemah, ada sinter silika/ sulfat dan buangan gelembung gas tidak kontinu
 - Mata air panas Kanan Kumbi (X = 199908 mT, Y = 9722745 mU) dengan suhu 52,2° C, suhu udara 25° C, debit 4 L/detik, Muncul pada granit, berwarna jernih, beruap, tawar, berbau belerang sedang, ada endapan sinter silika/ sulfat dan buangan gelembung gas tidak kontinu.

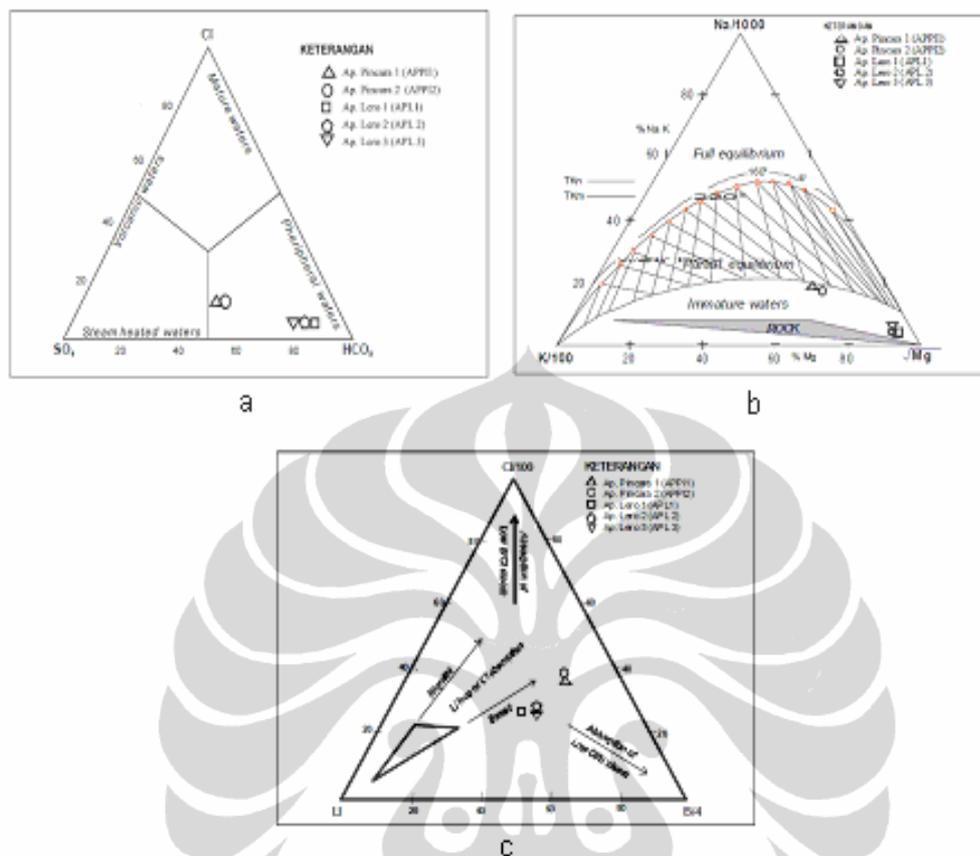
3.3. Hasil Analisis Tanah dan Udara Tanah

Berdasarkan penyelidikan geokimia yang dilakukan badan geologi, konsentrasi pH tanah didominasi oleh nilai 5,0-5,5 dengan nilai terendah 4,49 sampai 6,62. Nilai *background* pH diperoleh 5,7.

Konsentrasi Hg tanah setelah dikoreksi oleh H₂O, terendah 85 ppb sedangkan konsentrasi tertinggi 1345 ppb. Nilai *background* 660 ppb. Nilai Hg yang cukup signifikan diindikasikan oleh nilai yang lebih dari 600 ppb, terletak sebelah selatan jauh dari lokasi manifestasi Pincara, dan di sebelah timur dari lokasi mata air panas Lero. Luas anomali konsentrasi tinggi Hg yang diperkirakan berhubungan dengan sistem panas bumi sekitar 2,0 km² (Kusnadi dkk., 2005).

Pada peta CO₂ tanah, konsentrasi terendah 0,09 % (DE1) sampai dengan konsentrasi tertinggi 16,24 % (EF1). Nilai *background* diperoleh 5,10 %. Nilai CO₂ yang tinggi, lebih dari 5,00 %, berarah baratdaya-timurlaut serta baratlaut-tenggara, yang mirip dengan arah struktur di daerah Pincara. Luas daerah anomali tinggi CO₂ diperkirakan 2,0 km² (Kusnadi dkk., 2005).

Berdasarkan plotting pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, semua air panas termasuk tipe air bikarbonat dengan konsentrasi SO₄ cukup signifikan, pada diagram segitiga Na-K-Mg terletak pada *immature water* mendekati *partial equilibrium*, dan pada diagram segitiga Cl-Li-B, terletak pada tengah-tengah diagram, yang mengindikasikan adanya keseimbangan konsentrasi Cl, Li dan Boron pada pembentukan mata air panas tersebut (seperti terlihat pada Gambar 3.3). Temperatur bawah permukaan yang diperkirakan berhubungan dengan reservoir panas bumi 214^oC, berdasarkan perhitungan geotermometer NaK (Kusnadi dkk., 2005)



Gambar 3.3 (a, b, dan c) Komposisi kimia air panas didesa Pincara dan desa Lero pada diagram segitiga plot Cl-SO₄-HCO₃, Na-K-Mg, Cl-Li-B (Kusnadi dkk., 2005)

3.4. Analisis Densitas Batuan Rata-rata

Untuk keperluan pengolahan/reduksi data gravitasi terlebih dahulu perlu ditentukan harga densitas batuan rata – rata yang mewakili daerah penyelidikan. Harga densitas batuan rata – rata diantaranya dapat ditentukan berdasarkan hasil pengukuran di laboratorium dari beberapa sampel batuan permukaan. Dari hasil analisis laboratorium, harga densitas batuan dari 8 contoh batuan yang diambil dari daerah penyelidikan dapat dilihat pada Tabel 3.1 harga densitas batuan berkisar antara 2,53 – 2,66 gr/cm³ dan harga densitas rata – rata adalah 2,60 gr/cm³ (Dendi dan Anwar, 2005).

Tabel 3.1. Densitas sampel batuan air panas Pincara (Dendi dan Anwar, 2005)

No.	Kode contoh batuan	Nama batuan	Densitas batuan
1	C-2850	Andesit	2,63 gram/ cm ³
2	C-5300	Andesit	2,56 gram/ cm ³
3	E-2800	Granit	2,61 gram/ cm ³
4	E-5200	Granit	2,53 gram/ cm ³
5	F-5100	Granit	2,64 gram/ cm ³
6	D-6750	Andesit	2,65 gram/ cm ³
7	RS-7	Andesit	2,66 gram/ cm ³
8	C-2800	Granit	2,58 gram/ cm ³

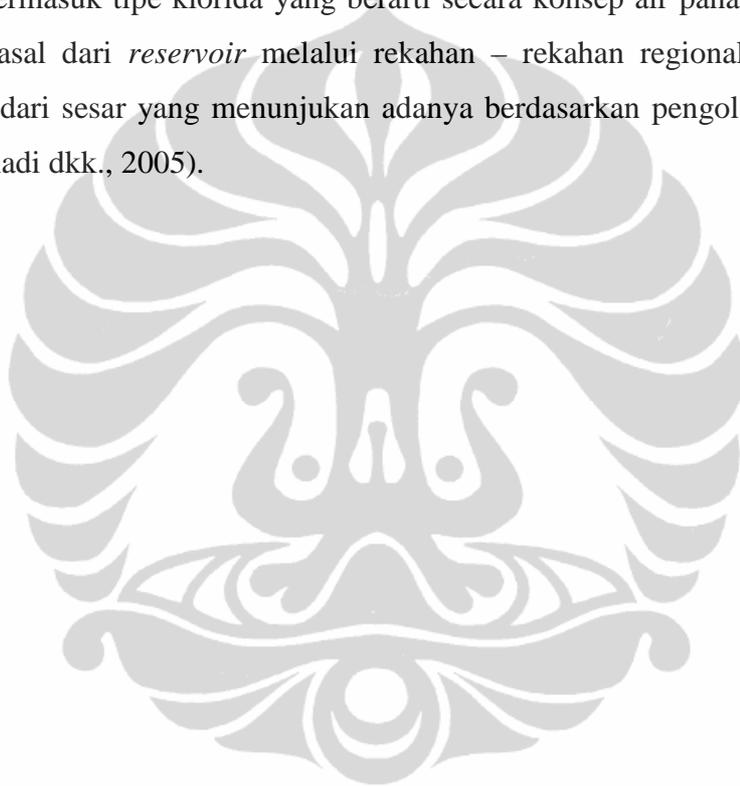
3.5. Hidrogeologi

Daerah penyelidikan geologi Pincara secara umum terbagi atas tiga wilayah air tanah, yaitu : daerah tangkapan air (*re-charge area*), daerah munculan air tanah (*dis-charge area*) dan daerah aliran air permukaan (*run-off water area*) (Sumardi dan Sundhoro, 2005).

- Daerah tangkapan air (*re-charge area*) berada pada satuan morfologi perbukitan terjal, perbukitan bergelombang sedang dan perbukitan bergelombang lemah yang memanjang arah barat-timur dan terletak di tengah hingga ke utara daerah penyelidikan
- Daerah munculan air tanah (*dis-charge*) berada di satuan morfologi pedataran yang mencakup ± 25 % dari luas daerah penyelidikan. Air hujan (*meteoric water*) di satuan morfologi perbukitan terjal, perbukitan bergelombang sedang dan perbukitan bergelombang lemah yang sebagian meresap ke bawah permukaan melalui struktur, rekahan (*fracture*) dan porositas batuan dan terkumpul menjadi air tanah dan menjadi daerah kantong air (*catchment area*)
- Daerah aliran air permukaan (*run-off water*), Sistem air tanah di daerah ini sebagian berupa aliran air permukaan yaitu air hujan yang mengalir di permukaan sungai-sungai besar dan sungai-sungai kecil yang ada di daerah penyelidikan. Sungai-sungainya diantaranya adalah S. Baluase dan S. Masamba.

3.6. Tipe air panas

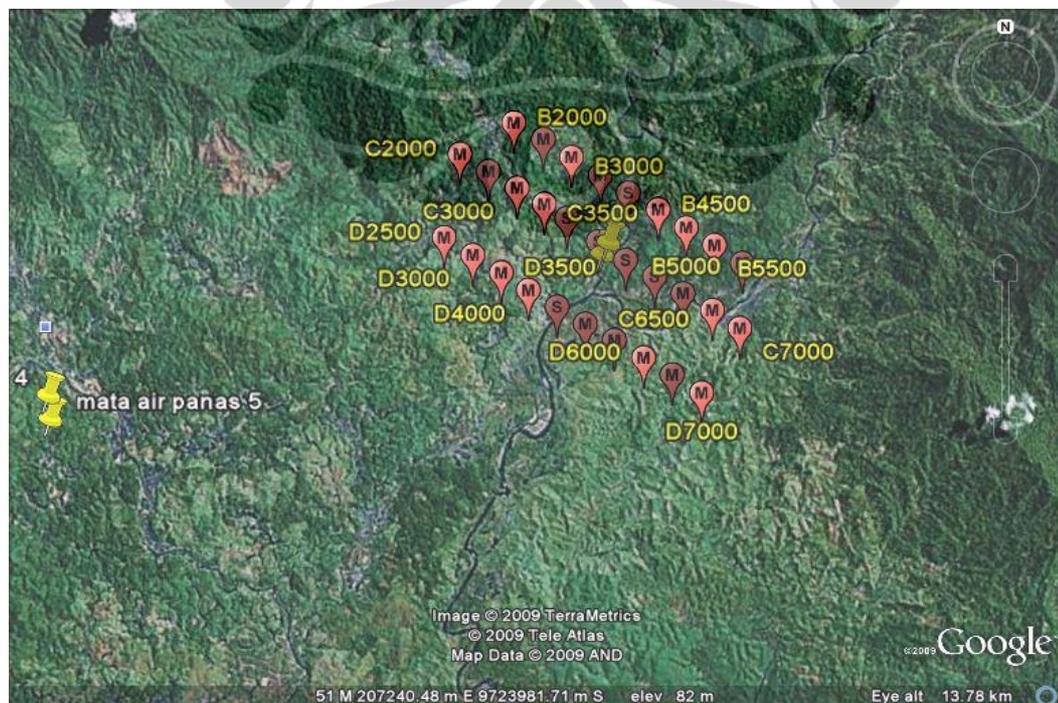
Tipe air panas yang berada dilokasi penyelidikan diantaranya adalah mata air panas Kanan Tedong 1 dan 2, dan mata air panas pemandian desa Pincara berdasarkan data geokimia dengan memplot pada segitiga Cl-SO₄-HCO₃ dikelompokkan ke dalam tipe air bikarbonat (namun konsentrasi SO₄ cukup signifikan). Sedangkan plot pada segitiga Cl-Li-B berada pada tengah diagram bisa diduga termasuk tipe klorida yang berarti secara konsep air panas tersebut langsung berasal dari *reservoir* melalui rekahan – rekahan regional maupun yang berasal dari sesar yang menunjukkan adanya berdasarkan pengolahan data gravity (Kusnadi dkk., 2005).



BAB IV PENGOLAHAN DATA

4.1 *Reprocessing Data Geolistrik*

Pada penyelidikan terdahulu dilakukan pengukuran yang dibagi dalam tiga cara; pertama dengan cara mapping dengan bentangan arus $AB/2 = 250$ m, 500 m, 750 m, dan 1000 m; kedua dengan cara sounding mulai bentangan arus $AB/2$ 1,6 m sampai dengan 2000 m; dan ketiga dengan cara head-on yang merupakan cara kombinasi antara konfigurasi Schlumberger dan dipol, dilakukan pada dua lintasan untuk menegaskan keberadaan struktur yang diduga mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi Pincara. Namun pada penelitian ini *reprocessing* data hanya pada pengukuran mapping dengan bentangan arus $AB/2$ 250 m, 500 m, 750m dan 100m dan sounding dengan bentangan arus $AB/2$ 1,6 m sampai dengan 2000 m saja, pemodelan yang digunakan dalam metode ini adalah pemodelan 2-D (dua dimensi) dengan menggunakan software Res2Dinv, Progress dan Surfer 9.0 untuk editing data.

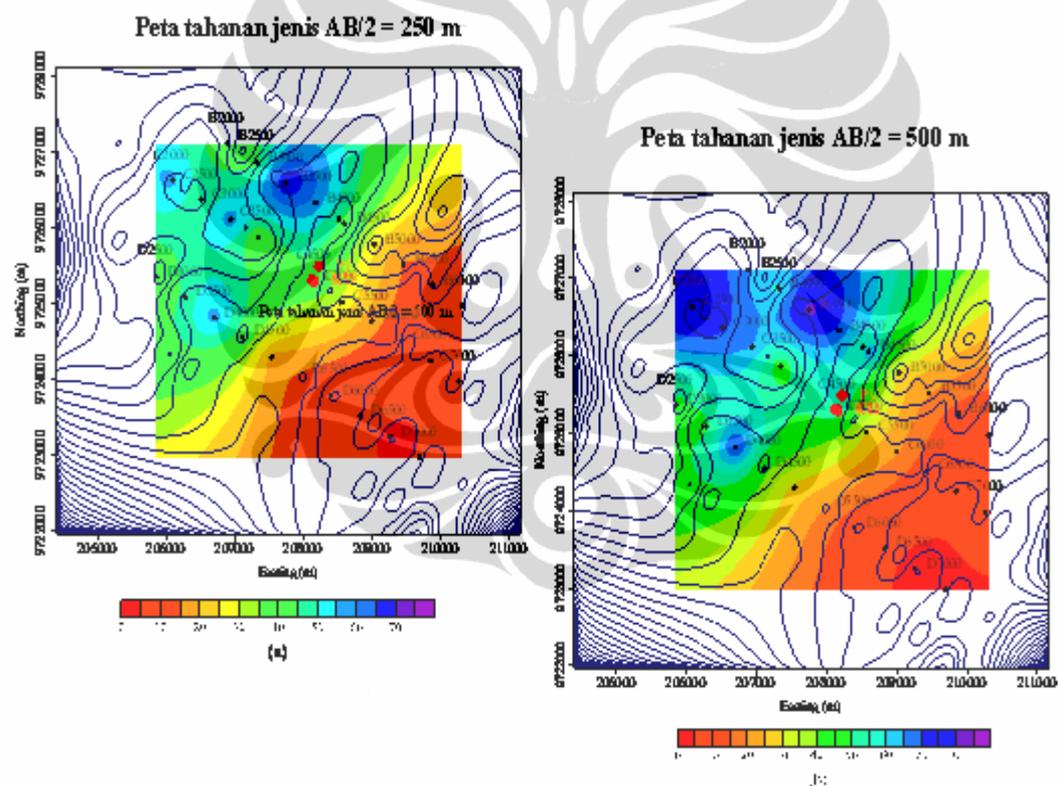


Gambar 4.1 Citra Landsat lokasi titik sounding, mapping dan mata air panas

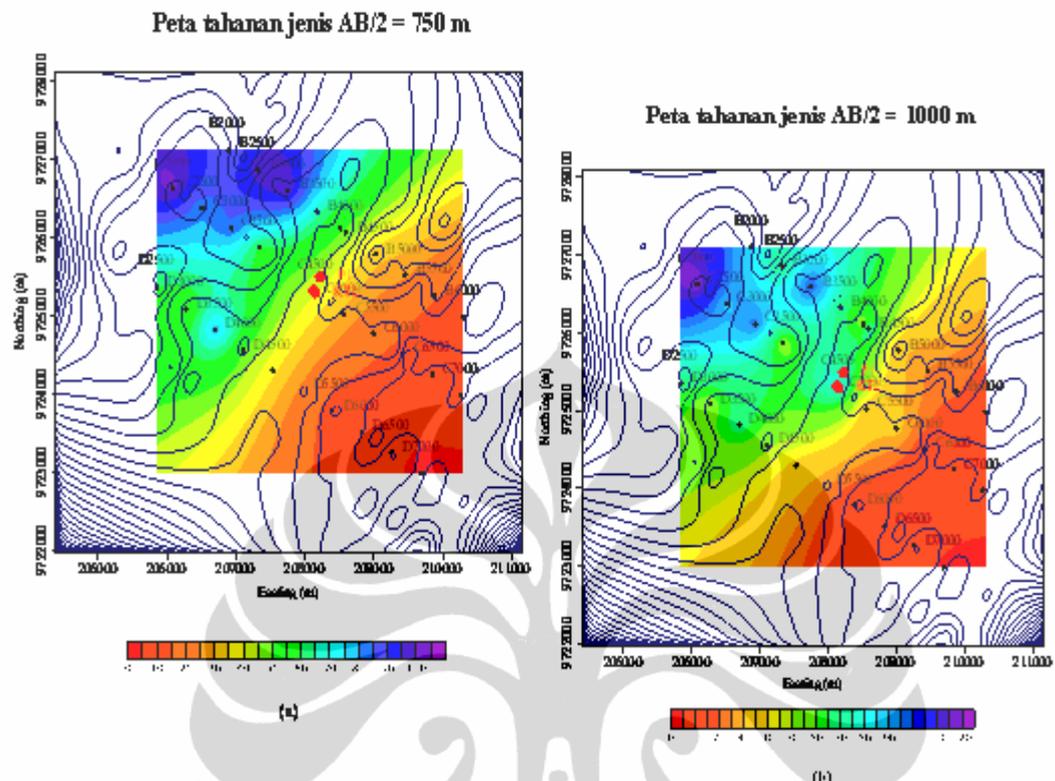
Data Mapping

Pada pengolahan data resistivity (mapping), pertama kali yang dilakukan adalah mencari nilai faktor geometri sesuai dengan ketentuan pencarian nilai faktor geometri pada konfigurasi Schlumberger. Setelah itu dicari apparent resistivity. Selanjutnya dari data yang telah diolah dengan Microsoft Excel tersebut, dibuat model dengan software Res2DInv, Progress dan Surfer.

Pada pengolahan data mapping, data yang telah diolah dengan Microsoft Excel kemudian dibuat peta tahanan jenis berdasarkan jarak $AB/2$ nya dengan menggunakan surfer seperti terlihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.2 Peta tahanan jenis semu (a) $AB/2 = 250$ m, (b) $AB/2 = 500$ m

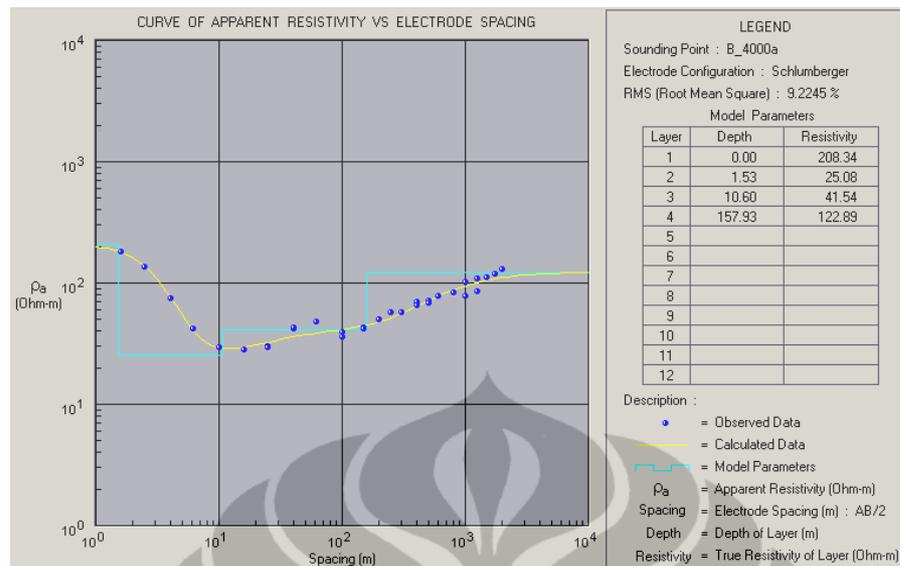


Gambar 4.3 Peta tahanan jenis semu (a) $AB/2 = 750$ m, (b) $AB/2 = 1000$ m

Data Sounding

Pada pengolahan data resistivity (sounding), terdapat lima lintasan dalam pengukuran ini. Pemodelan yang digunakan dalam metode ini adalah pemodelan menggunakan software Progress. Pada pengolahan data pertama kali yang dilakukan adalah mencari nilai faktor geometri sesuai dengan ketentuan pencarian nilai faktor geometri pada konfigurasi Schlumberger. Setelah itu dicari apparent resistivity. Selanjutnya dari data yang telah diolah dengan Microsoft Excel tersebut, dibuat model dengan software Progress. Prosesnya mulai dari menginput data, membuat model acuan, menyelaraskan model (kurva) dengan data, terakhir menyimpan data dan model. Model yang dihasilkan dari software Progress dapat dilihat pada Gambar 4.4 s/d 4.9 dibawah ini.

- **Titik Sounding B4000**

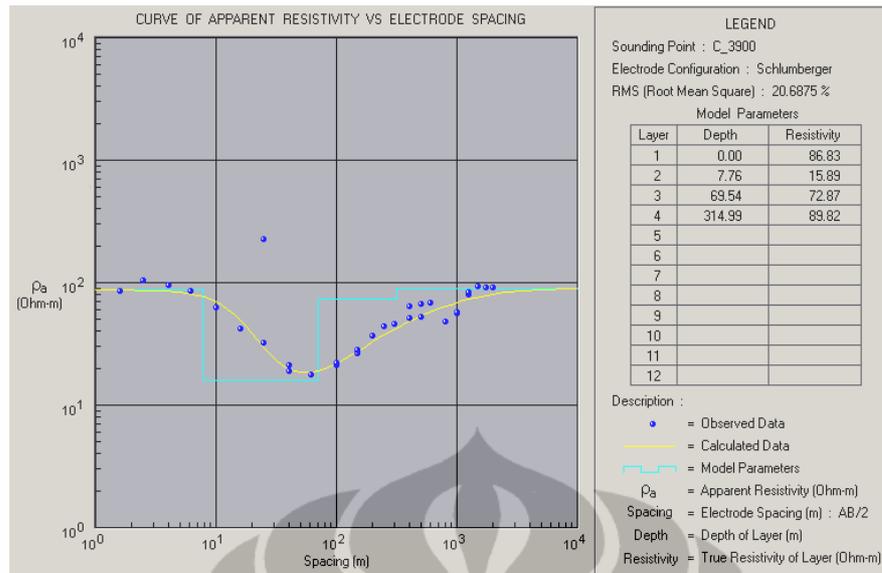


Gambar 4.4 Model resistivity dan nilai resistivity dan *thickness* di titik B4000

Dari model yang dihasilkan dari titik sounding B4000 (Gambar 4.4) terlihat bahwa pada data awal trend dari data bisa terlihat, dan tidak terlalu sulit untuk menyelaraskan dengan kurva. Tetapi ditengah data antara layer 2 dan 3, ada beberapa data yang tidak tercover oleh kurva. Hal ini menyebabkan kepastian dari model yang dibuat pada layer 2 dan 3 lebih kecil jika dibandingkan dengan layer pertama. Dan faktor kesalahannya bisa jadi lebih tinggi. Diakhir data trend sudah terlihat kembali, walaupun masih ada beberapa titik yang belum tercover, tetapi model tersebut sudah cukup mewakili.

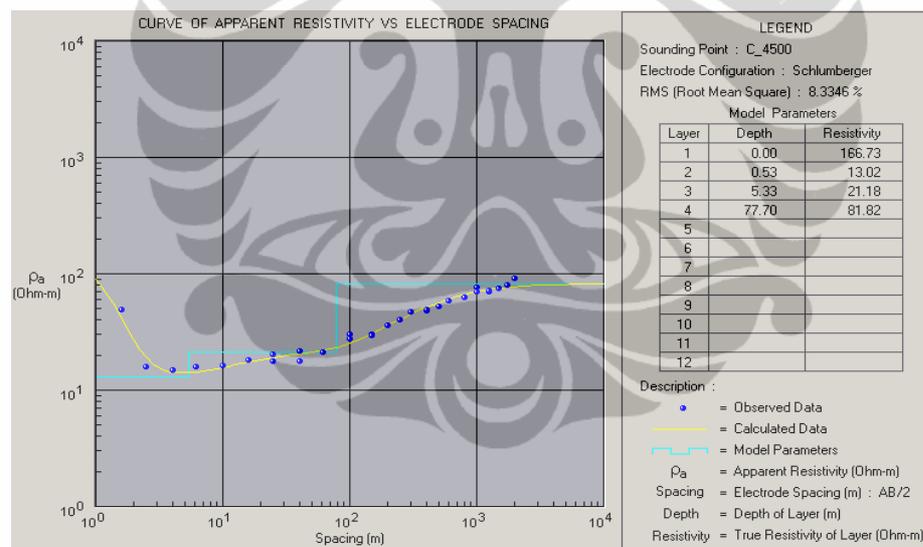
- **Titik Sounding C3900**

Dari model yang dihasilkan pada titik sounding ini, ada beberapa data yang tidak tercover oleh kurva. Yaitu pada data-data awal dan akhir. Tentu saja ini mempengaruhi kepastian dari model tersebut pada layer 1 dan 4. Berlawanan dengan titik sounding B4000, titik sounding C3900 di bagian tengah kurva cukup selaras dengan data. Memungkinkan kepastian model pada layer 2 dan 3 lebih tinggi dibanding layer 1 dan 4.



Gambar 4.5 Model resistivity dan nilai resistivity dan *thickness* di titik C3900

- **Titik Sounding C4500**

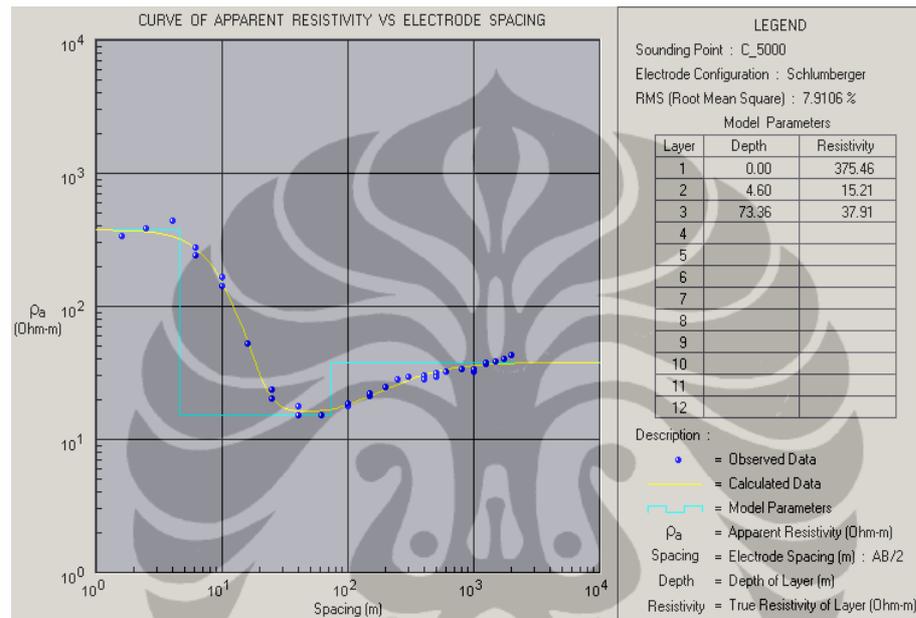


Gambar 4.6 Model resistivity dan nilai resistivity dan *thickness* di titik C4500

Dari 2 model yang dihasilkan sebelumnya, bisa dikatakan model ini memiliki tingkat ketidakpastiaan lebih tinggi. Bisa terlihat dari keselarasan antara model dan data. Meskipun kurva sudah mencerminkan trend dari data, tetapi masih banyak data yang belum tercover oleh kurva.

- **Titik Sounding C5000**

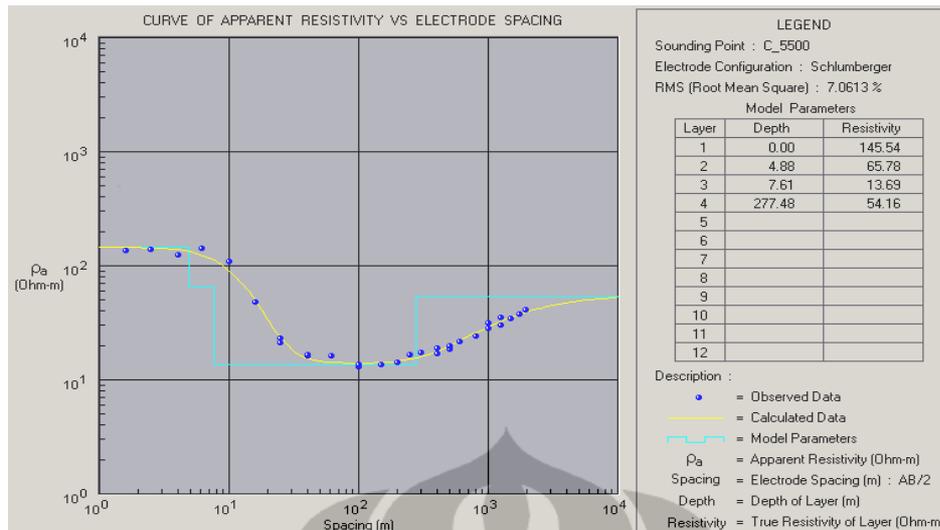
Dilihat dari trendnya kurva pada model ini cukup selaras hanya ada beberapa titik diawal dan cukup banyak titik yang tidak tercover pada akhir dari data. Faktor instrumentasi juga berpengaruh terhadap error data dilapangan. Bisa juga dari faktor lingkungan yang menyebabkan sensitifitas data di kedalaman yang lebih dalam lebih kecil (berkurang).



Gambar 4.7 Model resistivity dan nilai resistivity dan *thickness* titik C5000

- **Titik Sounding C5500**

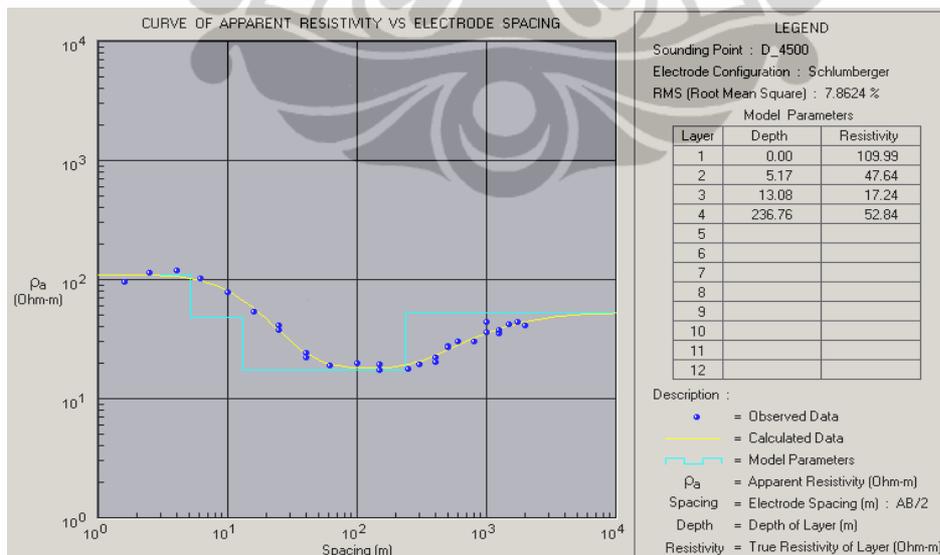
Faktor kesalahan yang terbesar pada titik ini adalah pada data awal (Gambar 4.8). Terlihat ada 3 data yang tidak tercover oleh kurva. Hal ini menyebabkan sensitifitas model terhadap data pada layer satu lebih kecil dibanding model pada layer yang lain. Trend untuk layer 2, 3, dan 4 sudah terlihat lebih jelas.



Gambar 4.8 Model resistivity dan nilai resistivity dan *thickness* di titik C5500

- **Titik Sounding D4500**

Tidak jauh berbeda dengan model pada titik sebelumnya (C5500), ada ketidakselarasan antara kurva dan data pada bagian awal. Hal ini menyebabkan faktor kesalahan yang lebih besar untuk model resistivity pada layer pertama. Selanjutnya trend sudah mulai terlihat, walaupun ada beberapa data yang tidak tercover pada data di bagian lebih dalam.



Gambar 4.9 Model resistivity dan nilai resistivity dan *thickness* di titik D4500

4.2 Pengolahan Data Gravity

Proses pemodelan diawali perhitungan anomali Bouguer dengan melakukan koreksi koreksi, kemudian dilakukan pemisahan anomali regional dan residual dari anomali Bouguer. Setelah itu dibahas mengenai pemodelan dua-dimensi untuk mendapatkan bentuk batuan bawah permukaan. Anomali Bouguer yang didapatkan dari koreksi – koreksi data sebelumnya merupakan gabungan antara anomali regional dan residual.

4.2.1 Konversi Nilai Baca Alat ke mGal

Pada data yang diberikan oleh badan geologi telah dilakukan konversi alat ke mGal, jadi pada pengolahan data langsung menggunakan nilai konversi pada tiap stasiun pengukuran.

4.2.2 Reduksi Nilai Gravitasi

Sebagai contoh perhitungan digunakan titik **C-4250**

1. Koreksi Pasang Surut

Pada pengolahan ini tidak dilakukan koreksi pasang surut

2. Koreksi Apungan (Drift)

Diketahui :

x	: Nilai gayaberat akhir di base	= 2.808, 08 mGal
y	: Nilai gayaberat awal di base	= 2.807, 96 mGal
r	: Waktu pembacaan akhir di base	= 1.084 menit
q	: Waktu pembacaan awal di base	= 455 menit
p	: Waktu pembacaan di titik C-4250	= 494 menit

$$c = \frac{(p - q)}{(r - q)}(x - y)$$

menggunakan persamaan diatas sehingga diperoleh nilai $c = -0,007$ mGal

3. Nilai Baca mGal Terkoreksi

Diketahui :

Pembacaan dalam mGal	= 2.803,30 mGal
Koreksi Drift	= -0,007

$$\begin{aligned}
 \text{mGal Terkoreksi} &= \text{Pembacaan dalam mGal} - \text{Koreksi Drift} \\
 &= 2.803,30 + (-0,007) \\
 &= 2.803,29 \text{ mGal}
 \end{aligned}$$

4. Nilai Gayaberat Observasi (g_o)

$$\text{Diketahui : Nilai baca mGal terkoreksi di BS} = 2.807,96$$

$$\text{Nilai baca mGal terkoreksi di C-4250} = 2.803,29$$

$$\text{Nilai gayaberat BS} = 977.973,78$$

$$\begin{aligned}
 g_o &= g_{Bs} + \Delta g \\
 &= g_{Bs} + (\text{Baca mGal terkoreksi di C-4250} - \text{Baca mGal terkoreksi di BS}) \\
 &= 977.973,78 + (2.803,29 - 2.807,96) \\
 &= 977.969,113
 \end{aligned}$$

5. Nilai Gravitasi Normal (g_n) Menurut WGS 1984

$$\begin{aligned}
 g_n &= 978.032,7 (1 + 0,0053024 \sin^2 \Phi - 0,0000059 \sin^2 2\Phi) \\
 &= 978.032,7 [1 + 0,0053024 \sin^2 (-2,481250) - 0,0000059 \sin^2 2(-2,481250)] \\
 &= 978.042,3772 \text{ mGal.}
 \end{aligned}$$

dimana : Φ = Nilai lintang pada titik C-4250.

6. Free Air Correction (Δg_{FAC})

$$\text{Diketahui : Ketinggian (h) titik C-4250} = 105,070 \text{ m}$$

$$\Delta g_{FAC} = 0,3086 \times 105,070$$

$$= 32,4246 \text{ mGal}$$

7. Nilai Densitas Rata-rata

Penelitian ini digunakan densitas rata – rata batuan yaitu $2,67 \text{ gr/ cm}^3$.

8. Koreksi Bouguer (Δg_B)

Diketahui : Densitas (ρ) rata-rata = 2,67 gr/cm³

$$\begin{aligned}\Delta g_B &= 0,04191 \times \rho \times h_{432} \\ &= 0,04191 \times 2,67 \times 105,070 \\ &= 11,7629 \text{ mGal}\end{aligned}$$

9. Koreksi Medan (Terrain Correction)

Dalam perhitungan ini koreksi medan tidak dihitung dengan metode Hammer Chart, namun diperoleh secara langsung dari data badan geologi. Nilai koreksi medan untuk titik **C-4250** = 1,2216 mGal.

10. Bouguer Anomali (BA) Lengkap

$$\begin{aligned}g_{AB} &= g_{obs} - g_n + \Delta g_{FA} - \Delta g_B + \Delta g_T \\ g_{AB} &= 977.969,113 - 978.042,3772 + 32,4246 - 11,7629 + 1,2216 \\ g_{AB} &= -51,58 \text{ mGal}\end{aligned}$$

4.2.3 Pembuatan Peta Anomali Bouguer, Regional dan Residual

Setelah diperoleh nilai anomali Bouguer untuk seluruh data, kemudian dibuat peta kontur anomali Bouguer dengan bantuan *Software Surfer 9.0*. Caranya dengan memasukkan nilai anomali Bouguer dan posisi dari tiap titik pengukuran.

Untuk memisahkan anomali residual yang merupakan target penyelidikan yaitu yang disebut dengan anomali Sisa dari pengaruh struktur dalam, maka akan dilakukan pemfilteran data Bouguer dengan metode *Least Square* menggunakan bantuan software Matlab 7.0, berikut akan dijabarkan tentang penggunaan metode inversi untuk memperoleh data anomali regional dan residual dan kemudian dipetakan menggunakan Surfer 9.0

Persamaan matematika untuk 2 dimensinya sebagai berikut :

$$m_1 + m_2 X_i + m_3 Y_i = d_i \quad 4.1$$

dimana m_1 , m_2 dan m_3 merupakan parameter yang akan dicari, sedangkan data terdiri dari X_i untuk Latitude, Y_i untuk Longitude dan d_i untuk nilai anomali Bouguer. Berdasarkan model matematika tersebut, kita bisa nyatakan :

$$\begin{aligned} m_1 + m_2 X_1 + m_3 Y_1 &= d_1 \\ m_1 + m_2 X_2 + m_3 Y_2 &= d_2 \\ m_1 + m_2 X_3 + m_3 Y_3 &= d_3 \\ \cdot & \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ \cdot & \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ \cdot & \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ m_1 + m_2 X_n + m_3 Y_n &= d_n \end{aligned} \quad 4.2$$

semua persamaan tersebut diatas dapat dinyatakan dalam operasi matrik berikut ini :

$$\begin{bmatrix} 1 + X_1 + Y_1 \\ 1 + X_2 + Y_2 \\ 1 + X_3 + Y_3 \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ 1 + X_n + Y_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ d_n \end{bmatrix} \quad 4.3$$

lalu ditulis secara singkat

$$G m = d \quad 4.4$$

dimana d adalah data anomali Bouguer yang dinyatakan dalam vektor, kolom m adalah parameter yang akan dicari juga dinyatakan dalam vektor, dan G disebut **matrik kernel**. Untuk mendapatkan nilai m_1 , m_2 dan m_3 dengan cara berikut ini : kita buat persamaan matrik

$$G^t G m = G^t d \quad 4.5$$

dimana t disini maksudnya adalah tanda transpos matrik, selanjutnya untuk mendapatkan elemen – elemen m , dilakukan langkah – langkah dibawah ini :

1. menentukan transpos dari matrik kernel yaitu G^t

$$G = \begin{bmatrix} 1 + X_1 + Y_1 \\ 1 + X_2 + Y_2 \\ 1 + X_3 + Y_3 \\ \dots \\ 1 + X_n + Y_n \end{bmatrix} \Rightarrow G^t = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ X_1 & X_2 & X_3 & \dots & X_n \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & \dots & Y_n \end{bmatrix}$$

2. menentukan $G^t G$

$$G^t G = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ X_1 & X_2 & X_3 & \dots & X_n \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & \dots & Y_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 + X_1 + Y_1 \\ 1 + X_2 + Y_2 \\ 1 + X_3 + Y_3 \\ \dots \\ 1 + X_n + Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \sum X_i & \sum Y_i \\ \sum X_i & \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i \\ \sum Y_i & \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 \end{bmatrix}$$

dengan n = jumlah data, dan $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

3. menentukan $G^t d$

$$G^t d = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ X_1 & X_2 & X_3 & \dots & X_n \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & \dots & Y_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \dots \\ d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum d_i \\ \sum X_i d_i \\ \sum Y_i d_i \end{bmatrix}$$

4. maka persamaan 4.5 menjadi

$$\begin{bmatrix} N & \sum X_i & \sum Y_i \\ \sum X_i & \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i \\ \sum Y_i & \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum d_i \\ \sum X_i d_i \\ \sum Y_i d_i \end{bmatrix}$$

5. setelah persamaan diatas, maka pada matlab dapat dihitung nilai parameter m_1 , m_2 dan m_3 dengan menuliskan perintah matlab sebagai berikut :

$$m = \text{inv}(G^t + G) * G^t * d$$

6. dari langkah 5 diatas diperoleh nilai m_1 , m_2 dan m_3 yaitu :

$$m_1 = - 48,9825$$

$$m_2 = - 0,0004$$

$$m_3 = - 0,0002$$

7. selanjutnya dilakukan perhitungan nilai anomali regional setelah diperoleh nilai parameter m_1 , m_2 dan m_3 dari langkah diatas, menggunakan persamaan

$$Z = m_1 + m_2X_i + m_3Y_i$$

dengan Z adalah nilai anomali Regional yang akan kita hitung, adalah parameter yang tadi telah kita hitung, lalu X dan Y adalah Latitude dan Longitudenya, dan i adalah jumlah data (ada 129 data).

8. Setelah diperoleh nilai anomali Regional sebanyak data yang ada, maka dilakukan fiter terhadap nilai anomali Bouguer untuk mendapatkan nilai anomali Residual.
9. Data anomali Regional dan anomali Residual dipetakan pada Surfer 9.0 seperti yang terlihat pada Gambar 5.4

4.2.4 Pemodelan Bawah Permukaan

Pemodelan (*forward modeling*) penampang bawah permukaan lintasan C pada peta anomali residual dibuat dengan bantuan program *Surfer* dan *Grav2D*. Saat membuat suatu *slice*/lintasan/irisian pada peta anomali residual dengan bantuan *Surfer*, diusahakan lintasan tersebut tegak lurus atau hampir tegak lurus memotong daerah dengan kontur anomali yang menarik, seperti bulatan, elips, dan lainnya, hindari lintasan yang berhimpit sejajar dengan garis kontur agar diperoleh variasi nilai anomali residual. Kemudian penentuan besarnya densitas dan lapisan jenis batuan pada saat pemodelan dengan *Grav2D* dapat mengacu kepada informasi geologi dan tabel data densitas batuan (Tabel 2.2).

4.3 Pengolahan Data Geomagnet

Pengolahan data geomagnet dilakukan menggunakan perhitungan pada teori dasar yang terdapat di bab II, perhitungan dilakukan dengan menggunakan

bantuan Microsoft Excel untuk memperoleh anomali magnetiknya, sebagai contoh dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini

Tabel 3.1 Perhitungan Anomali Magnetik

IGRF 42.290 nT

TITIK	READ	VH	X	Y	Altitude	AM (nT)
B 3500	42.295	-7	208177.055	9726328.202	99.932	12
B 3250	42.309	-18	207962.930	9726465.210	116.888	37
B 3000	42.319	-19	207742.985	9726595.704	124.268	48
B 2750	42.325	-12	207537.469	9726727.911	124.806	47
B 2500	42.329	-5	207322.412	9726861.428	185.967	44
B 2250	42.331	4	207102.473	9726990.021	253.108	37
B 2000	42.330	-8	206882.301	9727108.701	190.789	48
B 1750	42.335	-2	206681.153	9727258.074	177.200	47
B 1500	42.329	-8	206480.698	9727416.691	174.453	47
B 1250	42.327	-8	206280.278	9727577.205	198.501	45
B 1000	42.321	10	206079.708	9727734.412	222.913	21

Setelah diperoleh nilai anomali magnetik kemudian dibuat peta anomali magnet total (Gambar 5.5) bertujuan untuk mendapatkan gambaran secara lateral harga anomali rendah dan tinggi di bawah permukaan berdasarkan sifat kemagnetan batuan. Kemudian selanjutnya dilakukan evaluasi untuk mendapatkan kelurusan-kelurusan dari struktur geologi yang akan di jadikan bahan pertimbangan dalam melakukan penafsiran – interpretasi.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini dibahas sintesis akhir yang merupakan interpretasi terpadu dari sub-bab yang ada sebelumnya. Data penunjang berupa data geologi dan data geokimia yang dimuat dalam bab 3 akan digunakan sebagai data kontrol sehingga diperoleh interpretasi tentang sistem panas bumi daerah Pincara dan struktur bawah permukaannya.

5.1. Geologi

Lokasi daerah penelitian secara geografis terletak pada koordinat UTM antara 204000 mE – 211200 mE, secara administratif termasuk kedalam wilayah daerah kecamatan Masamba, terletak \pm 10 km dari ibu kota Masamba, kabupaten Luwu Utara, propinsi Sulawesi Selatan. Luas lokasi daerah penelitian \pm 7 x 8 km, di utara dibatasi oleh Desa Salu Tolombo, di selatan dibatasi oleh Desa Tondoktua, di barat laut dibatasi oleh Desa Balakala, di barat dibatasi oleh Desa Buttu Tariwan dan di timurlaut dibatasi oleh Desa Kalukum.

Jenis morfologi daerah penyelidikan didominasi oleh perbukitan bergelombang lemah, sedang dan perbukitan terjal dengan ketinggian antara 60 – 750 m dari permukaan laut. Secara umum bentuk topografi condong tinggi ke arah tenggara penyelidikan.

Secara geologi diperkirakan batuan pada daerah penelitian meliputi batuan intrusi – terobosan (granit/granodiorit dan batuan breaksi – andesit) yang berumur Paleosen sampai Miosen sebagai batuan alas (basement). Gejala kenampakan panas bumi dipermukaan daerah penyelidikan diduga berasal dari sumber panas bodi magma / batolit granit yang muncul kepermukaan melalui struktur geologi (sesar) sebagai media pemunculan panas bumi kepermukaan.

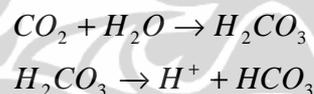
5.2. Hidrogeologi dan geokimia

Penyelidikan yang telah dilakukan oleh badan geologi, secara geologi daerah Pincara termasuk daerah tadah hujan, dimana air hujan (*meteoric water*) sebagian dapat langsung meresap ke bawah permukaan melalui rekahan,

patahan, porositas batuan sedimen ataupun vulkanik menjadi air tanah dan sebagian lagi dapat langsung mengalir ke sungai.

Di atas permukaan daerah penelitian ini nampak beberapa manifestasi panasbumi berupa mata air panas diduga berasal dari aliran fluida bawah permukaan dengan letak agak jauh dari zona depresi dan patahan/rekahan sebagai pengontrol sirkulasi fluida. Umumnya mata air panas di lokasi penelitian memiliki jenis bokarbonat dengan aliran *outflow* dengan temperatur mata air panas berdasarkan penyelidikan badan geologi berkisar antara 63,5°C – 83,4°C.

Berdasarkan penyelidikan geokimia yang telah dilakukan oleh badan geologi dapat diketahui bahwa kelompok mata air panas Pincara bersifat bikarbonat dengan konsentrasi sulfat yang signifikan dengan pH netral (seperti terlihat pada Gambar 3.3. Fluida bikarbonat biasanya terbentuk pada daerah *marginal* reservoir geothermal dan pada kedalaman yang dangkal dimana gas CO₂ yang terlarut dalam fluida terkondensasi ketika bertemu dengan air tanah. Kondensasi dari uap akan memanaskan air tanah sehingga sering digunakan *steam-heated*. Reaksi pembentukan karbonat adalah :



kondensasi ini mengakibatkan kenaikan pH sehingga mata air panas akan bersifat dekat netral.

Reaksi antara asam karbonat dengan batuan beku menghasilkan kation Ca²⁺, Mg²⁺, dan Fe³⁺. Ketika fluida ini terpanaskan maka akan diendapkan karbonat sebagai respon dari kenaikan temperatur, karena kelarutan karbonat berbanding terbalik dengan temperatur. Tipe karbonat yang akan diendapkan merupakan fungsi pH dari fluida bikarbonat. Reaksi pengendapan terjadi sebagai berikut :



Urutan pengendapan di atas menurut kondisi yang semakin berkurang keasamannya adalah pengendapan Fe-Karbonat (*siderite*, *ankerite*), Mg-Fe-karbonat (*ankerite*), Mg-Ca-karbonat (*dolomite*), Mn-Karbonat (*rhodochrosite*) dan yang terakhir adalah pengendapan Ca-Karbonat (*calcite*). Sehingga pengendapan Ca-Karbonat yang dominan terjadi di kelompok mata air panas Pincara menandakan bahwa air panas tersebut bersifat netral.

Pengendapan Karbonat pada kelompok mata air panas Pincara juga bisa dikarenakan reaksi fluida dengan batuan gamping (*limestone*) seperti yang terjadi juga pada beberapa sistem geothermal (misalnya Yellowstone dan Valles di Amerika). Berdasarkan data geologi dapat diketahui bahwa batuan gamping umur Tersier (formasi Latimojang) dapat dilihat pada Gambar 3.2, terdapat ditenggara daerah penelitian. Maka kemungkinan pengendapan Ca-Karbonat terjadi karena fluida dari reservoir geothermal bermigrasi ke Pincara melalui formasi Latimojang ini.

Pemunculan kelompok mata air panas di Pincara dipengaruhi oleh perbedaan elevasi antara reservoir geothermal yang berada disebelah tenggara daerah penelitian dengan elevasi daerah Pincara. Karena daerah Pincara merupakan *flat terrain* maka muka air tanah (*water table*) akan berada dekat dengan permukaan. Karenanya pemunculan air panas ke permukaan pada daerah *outflow* yang bertopografi rendah akan mudah sekali untuk terjadi.

5.3. Interpretasi Kualitatif

5.3.1. Geolistrik

Interpretasi kualitatif dilakukan pada peta resistivity, peta anomali Bouguer, peta anomali regional, peta anomali residual dan peta anomali magnet total yang telah dihasilkan dari proses pengolahan data, peta-peta tersebut merupakan peta yang memberikan gambaran secara lateral dari distribusi densitas batuan yang ada di bawah-permukaan daerah penelitian.

1. Data Mapping

Interpretasi data mapping dilakukan secara kualitatif terhadap peta tahanan jenis semu $AB/2 = 250$ m s/d 1000 m seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 pada bab IV dan Gambar 5.1 dibawah ini.

- **Peta tahanan jenis semu $AB/2 = 250$ m**

Peta tahanan jenis semu pada bentangan $AB/2 = 250$ m (Gambar 4.2) memperlihatkan kecenderungan ke arah tenggara nilai tahanan jenis semu makin rendah. Anomali tinggi berada di baratlaut dengan nilai kontur terbesar >60 Ohm-m, kemudian ke arah tenggara tahanan jenis secara berangsur mengecil sampai <20 Ohm-m. Nilai kontur <20 Ohm-m menempati hampir setengah dari luas daerah penyelidikan, dengan kontur tahanan jenis membuka ke arah tenggara. Tahanan jenis semu 20 - 60 Ohm-m yang berada di bagian tengah daerah penyelidikan. Sedangkan tahanan jenis semu tinggi >60 Ohm-m terdapat disebagian kecil baratlaut.

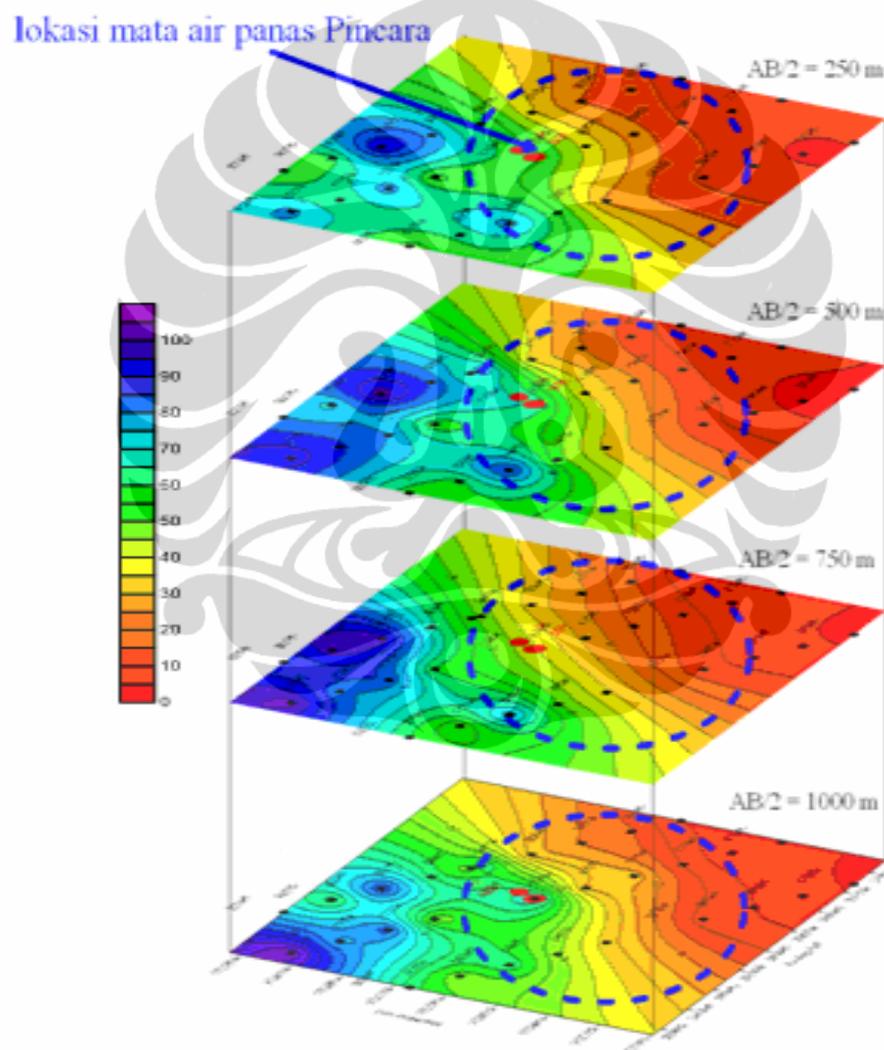
Dengan kecenderungan kontur yang mengecil ke arah tenggara dan dengan kontras resistivitas yang cukup besar di tengah daerah penyelidikan, kontras tersebut kemungkinan karena perbedaan litologi di bagian tengah daerah penyelidikan dengan arah baratdaya-timurlaut.

- **Peta tahanan jenis semu $AB/2 = 500$**

Pola kontur tahanan jenis semu $AB/2 = 500$ m (Gambar 4.2) hampir sama dengan pola kontur pada bentangan $AB/2 = 250$ m, Nilai tahanan jenis semu <20 Ohm-m terdapat di bagian tengah daerah penyelidikan dengan penyebaran memanjang dari tenggara ke timurlaut. Penyebaran tahanan jenis semu >100 Ohm-m masih tetap ke arah baratlaut dan utara dengan luas sangat kecil. Penyebaran tahanan jenis semu <20 Ohm-m masih tetap ke arah tenggara dengan luas makin mengecil. Kerapatan tahanan jenis semu yang terdapat diantara 20 – 100 Ohm diduga merupakan batas litologi batuan.

- **Peta tahanan jenis semu $AB/2 = 750$**

Pada Peta tahanan jenis semu dengan bentangan $AB/2 = 750$ m yang mempunyai nilai kontur > 60 Ohm-m berada di ujung bagian baratlaut dan di bagian utara seperti pada peta-peta sebelumnya. Sebaran tahanan jenis semu 20-60 Ohm-m makin luas bila dibandingkan dengan peta tahanan jenis semu sebelumnya, kontur tahanan jenis membuka ke arah timurlaut, utara dan baratlaut (Gambar 4.3). Tahanan jenis semu >20 Ohm-m terdapat perbedaan yang cukup mencolok yaitu harga tahanan jenis semu ke arah tenggara menurun tajam.



Gambar 5.1 Peta tahanan jenis semu $AB/2 = 250$ s/d 1000 m

- **Peta tahanan jenis semu $AB/2 = 1000$**

Kontur tahanan jenis semu >60 Ohm-m penyebarannya lebih mengecil bila dibandingkan pada betangan $AB/2=750$ m diarah baratlaut dan sedikit di arah utara. Kontur tahanan jenis semu $20 - 60$ Ohm-m penyebarannya mengikuti pola kontur tahanan jenis semu >60 Ohm-m dengan pola membuka ke arah timurlaut dan baratdaya. Di bagian tengah daerah penyelidikan terdapat satu buah pola kontur tertutup dengan nilai kontur berkisar 70 Ohm-m yaitu di antara titik amat C-4000.

Hasil geolistrik *Mapping* memperlihatkan daerah bertahanan jenis rendah makin meluas dengan bertambahnya kedalaman ke arah tenggara dengan kontras tidak terlalu besar. Sedangkan anomali bertahanan jenis tinggi cenderung melebar ke bagian baratlaut. Secara geologi daerah bertahanan jenis rendah ditafsirkan sebagai batuan sedimen cenderung lebih tebal ke arah tenggara, sedangkan batuan yang bertahanan jenis tinggi ditafsirkan sebagai batuan beku berupa granit yang tersebar di bagian baratlaut. Dengan demikian kondisi ini mencerminkan makin ke arah tenggara batuan sedimen makin dalam dan secara tidak langsung mengindikasikan keberadaan reservoir.

2. **Penampang tegak tahanan jenis semu lintasan B, C dan D**

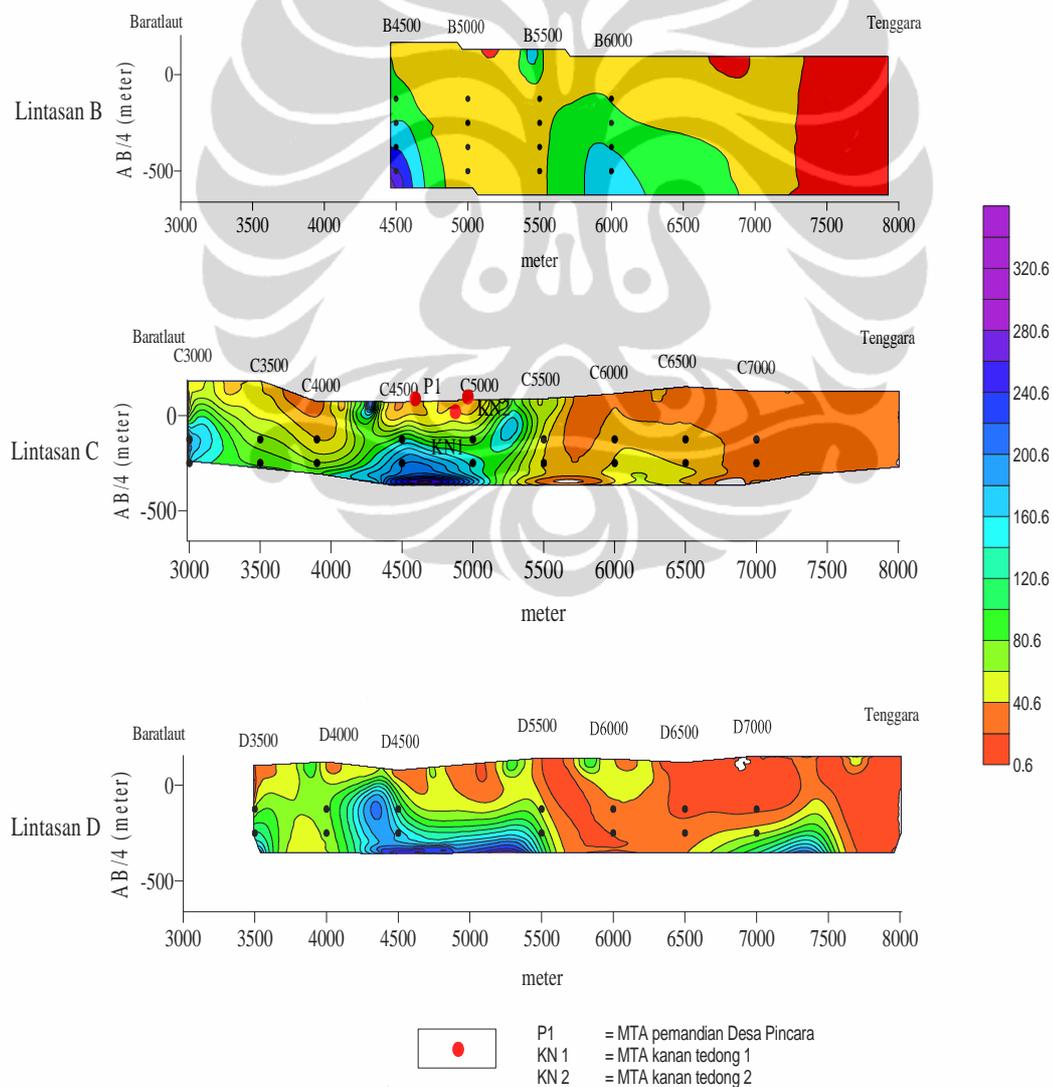
Penampang tegak tahanan jenis semu dibuat pada lintasan pengukuran dengan mengplotkan data *mapping* dan *sounding* dari tiap lintasan pada kedalaman $AB/4$ dengan asumsi bahwa penetrasi arus pengukuran mendekati $AB/4$. Arah lintasan pengukuran berarah baratlaut – tenggara. Penampang tegak tahanan jenis semu terdiri dari lintasan B, C dan D disajikan pada Gambar 5.2.

Pada lintasan B terlihat nilai tahanan jenis semu makin kedalam makin membesar dengan nilai kontur tertinggi (> 80 ohm m) dan nilai tahanan jenis semu rendah beradara di arah tenggara dengan nilai (< 40 ohm m).

Perlapisan pada lintasan C terlihat agak merapat dengan nilai tahanan jenis semu tinggi berada di baratlaut dengan nilai kontur tertinggi (>200 ohm m) terlihat pada titik C dan nilai kontur mulai rendah ke arah tenggara.

Pada penampang tahanan jenis semu lintasan D pada permukaan nilai tahanan jenis semu mulai bervariasi antara 0 – 80 ohm m disekitar titik D4000, D4500, D5500 dan D6000. Sedangkan nilai tahanan jenis tinggi pada kedalaman yang terdapat disekitar titik D4000-D5500, nilai tahanan jenis rendah berada di tenggara penyelidikan

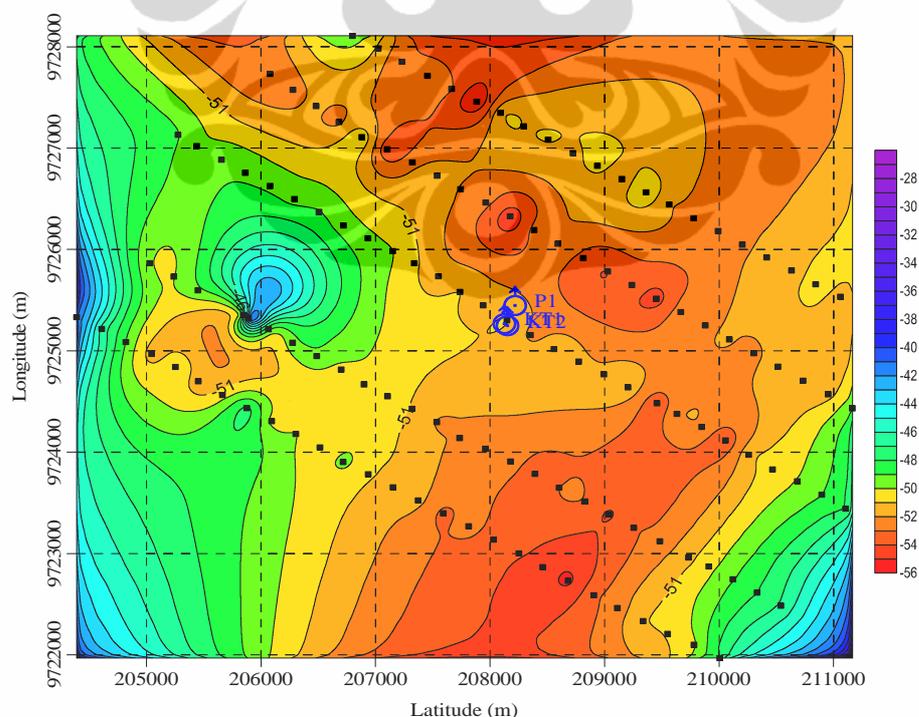
Dari ketiga lintasan penampang tahanan jenis semu tersebut terdapat perbedaan nilai resistivity yang sangat mencolok pada bagian baratlaut dan tenggara, diduga akibat adanya perbedaan lithologi antara batuan resistif (granit) di bagian baratlaut dengan batuan yang kurang resistif di bagian tenggara (batuan rombakan).



Gambar 5.2 Penampang tahanan jenis semu lintasan B, C, dan D

5.3.2. Gravity

Pada Gambar 5.3 dibawah ini, Peta anomali Bouguer ini memperlihatkan pola kontur yang relatif bervariasi dengan memperlihatkan pola anomali tinggi maupun anomali rendah. Dari peta tersebut nilai anomali Bouguer tinggi muncul disebelah barat laut, barat, baratdaya, dan sebagian kecil berada disebelah tenggara. Nilai anomali semakin rendah ke arah bagian utara, tengah dan berlanjut ke arah bagian selatan dari daerah penyelidikan. Rendahnya nilai anomali dibagian utara, tengah dan selatan memperlihatkan bahwa trend gaya berat yang kuat di daerah penyelidikan ini, seperti yang diperlihatkan oleh perubahan nilai anomali Bouguer, berkaitan dengan perubahan dari densitas koreksi yang cukup mencolok. Nilai anomali Bouguer yang diperlihatkan berkisar antara -29 mgal sampai -56 mgal, dimana pola anomali ini memperlihatkan daerah ini memiliki suatu rentang anomali Bouguer dan gradien anomali yang relatif cukup besar.

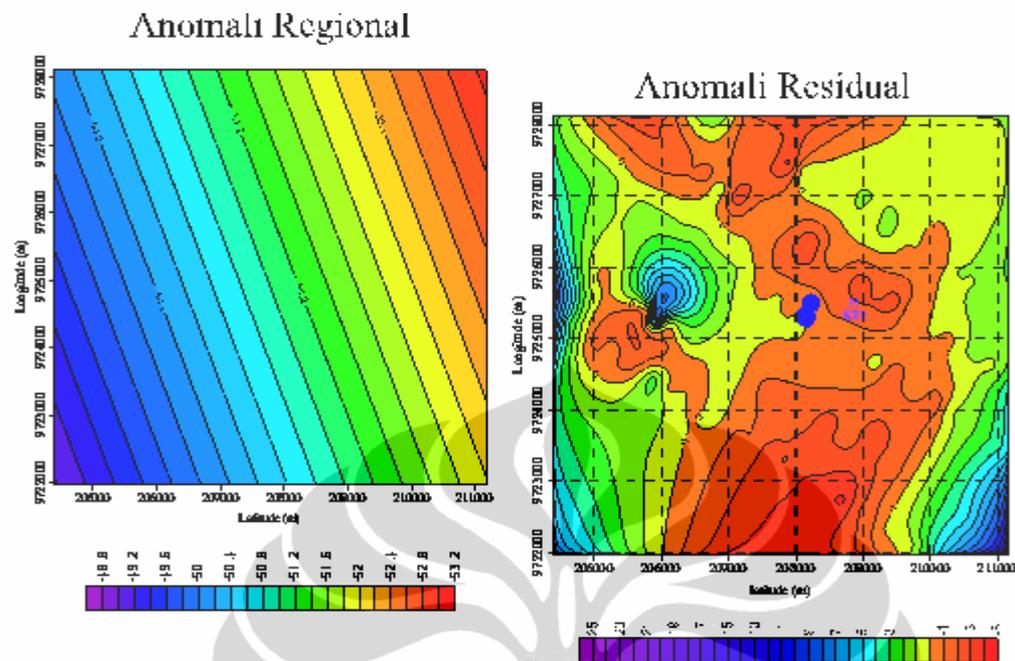


Gambar 5.3 Anomali Bouguer daerah panas bumi Pincara,
Luwu Utara – Sulawesi Selatan

Pada peta anomali regional (Gambar 5.4) memperlihatkan harga anomali regional tertinggi sebesar > -49 mgal dan terkecil < -52 mgal. Nilai tertinggi terdapat di baratdaya daerah penyelidikan dan terendah di timurlaut diperkirakan diisi oleh batuan granit yang umurnya sudah tua.

Gambar 5.4 memperlihatkan peta anomali sisa (residual) daerah penyelidikan. Anomali residual memperlihatkan adanya pengkutuban positif (dengan nilai > 9 mgal) dan pengkutuban negatif (dengan nilai > -3 mgal). Dari peta terlihat bahwa nilai anomali rendah terletak dibagian utara, tengah dan sebagian selatan, sedangkan anomali tinggi dibagian baratdaya barat, dan tenggara. Namun pola anomali ini relatif memiliki persamaan dengan pola anomali Bouguernya, hal ini diperkirakan karena pola anomali Bouguer di daerah penyelidikan secara dominan diakibatkan oleh struktur lokal (dangkal).

Pada peta anomali residual, daerah yang memiliki zona anomali rendah terletak di bagian utara diperkirakan ditempati oleh batuan granit, sedangkan yang berada di bagian tengah sebelah barat diisi oleh sebagian granit yang telah mengalami ubahan, dan sebagian daerah selatan diperkirakan diisi oleh batuan alluvial, pada bagian tengah daerah penelitian juga terlihat warnah merah menebal yang terlihat dari kontur anomali yang tidak rapat dan diperkirakan terdapat lapisan sedimen yang menebal. Zona anomali tinggi yang muncul di sebelah timurlaut dan timur dari daerah penyelidikan diperkirakan diisi oleh batuan andesit, sedangkan anomali tinggi lainnya yang berada di sebelah barat, baratlaut, dan selatan diperkirakan masih diisi oleh batuan granit.



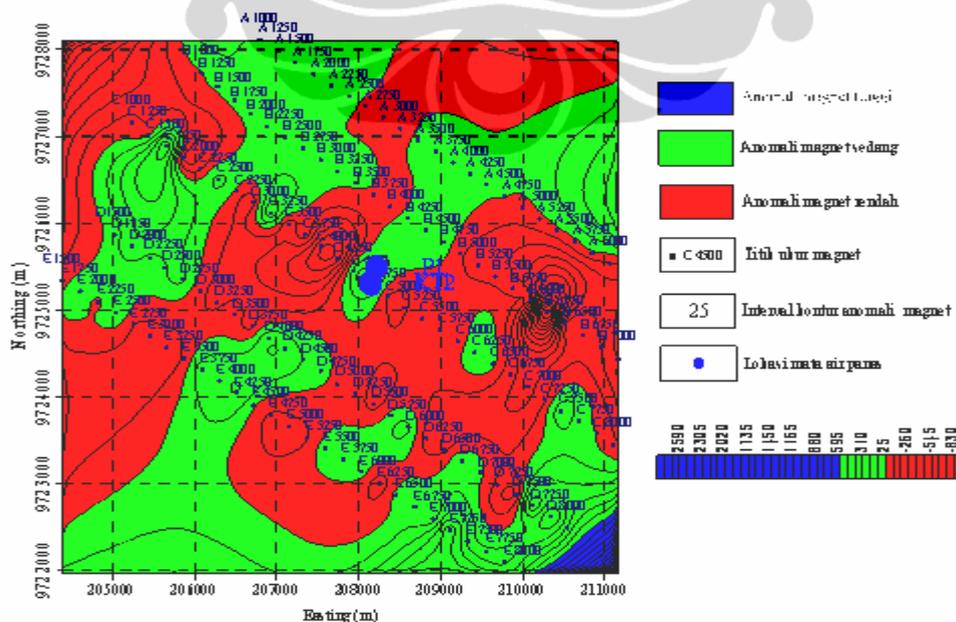
Gambar 5.4 Anomali gravitasi regional dan residual daerah panas bumi Pincara, Luwu Utara – Sulawesi Selatan

5.3.3. Geomagnet

Pada Gambar 5.5, peta anomali magnetik memperlihatkan besarnya anomali magnet total pada daerah penelitian umumnya menunjukkan kontras harga yang sedang, berkisar antara + 1 nT sampai + 465 nT dan - 2 nT sampai - 1140 nT, Intensitas magnet total cukup bervariasi memperlihatkan kecenderungan melemah harga anomali magnetnya dibagian Utara, Tengah, Selatan dan Barat laut daerah penelitian, sedangkan pada beberapa tempat di bagian Utara, Selatan dan Timurlaut harga anomali magnetnya menaik diperkirakan mempunyai hubungan keterkaitan dengan munculnya manifestasi panas bumi di daerah Pincara. Pada beberapa tempat anomali magnet memperlihatkan variasi harga naik – turun, terutama pada daerah adanya manifestasi panas bumi dan zona-zona struktur sesar yang arahnya bervariasi. Variasi harga naik – turunnya anomali magnetik diperkirakan terdapatnya sesar/patahan pada daerah tersebut, dengan adanya sesar/patahan ini yang memungkinkan *fluida hydrothermal* naik kepermukaan dan muncul sebagai manifestasi panasbumi dalam bentuk mata air panas.

Secara garis besar peta anomali magnetik dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok anomali magnetik, yaitu :

1. Anomali magnet tinggi (>300 nT), terdapat sebagian kecil tenggara daerah penyelidikan ditafsirkan sebagai noise.
2. Anomali magnet sedang (25 nT sampai 300 nT), yang terlihat menyebar di daerah penelitian di bagian tengah, barat laut, selatan dan sebagian dibagian timurlaut, ditafsirkan sebagai batuan bersifat magnetik rendah sampai sedang, yang terdiri dari batuan granit lapuk dan batuan sedimen yang diperkirakan mempunyai hubungan dengan mataair panas di daerah.
3. Anomali magnet rendah (<25 nT), yang terlihat menyebar hampir mendominasi daerah penelitian, ditafsirkan sebagai batuan bersifat nonmagnetik, yang tersebar lebih dominan di bagian tengah, utara, barat laut dan sebagian kecil dibagian selatan daerah penelitian yang berbentuk pole-pole dan kutub-kutub magnetik tertutup dan terbuka, ditafsirkan sebagai batuan granit lapuk dan batuan sedimen yang telah mengalami pelapukan kuat (batuan yang telah mengalami demagnetisasi akibat pengaruh panas) yang diperkirakan mempunyai kaitan erat dengan keberadaan manifestasi panas



Gambar 5.5 Peta Anomali Magnet Total Daerah Panas Bumi Pincara

Profile Anomali Magnetik

Jika dilihat dari profile anomali magnetik lintasan A, B, C, D dan E (Gambar 5.6 dan 5.7), ada beberapa kurva yang menunjukkan adanya perbedaan nilai anomali magnetik yang cukup tinggi, biasanya kontras ini diperkirakan diakibatkan adanya struktur sesar pada batuan di bawah-permukaan. Seperti terlihat pada penjelasan profil lintasan A, B, C, D, dan E dibawah ini.

1. Lintasan A

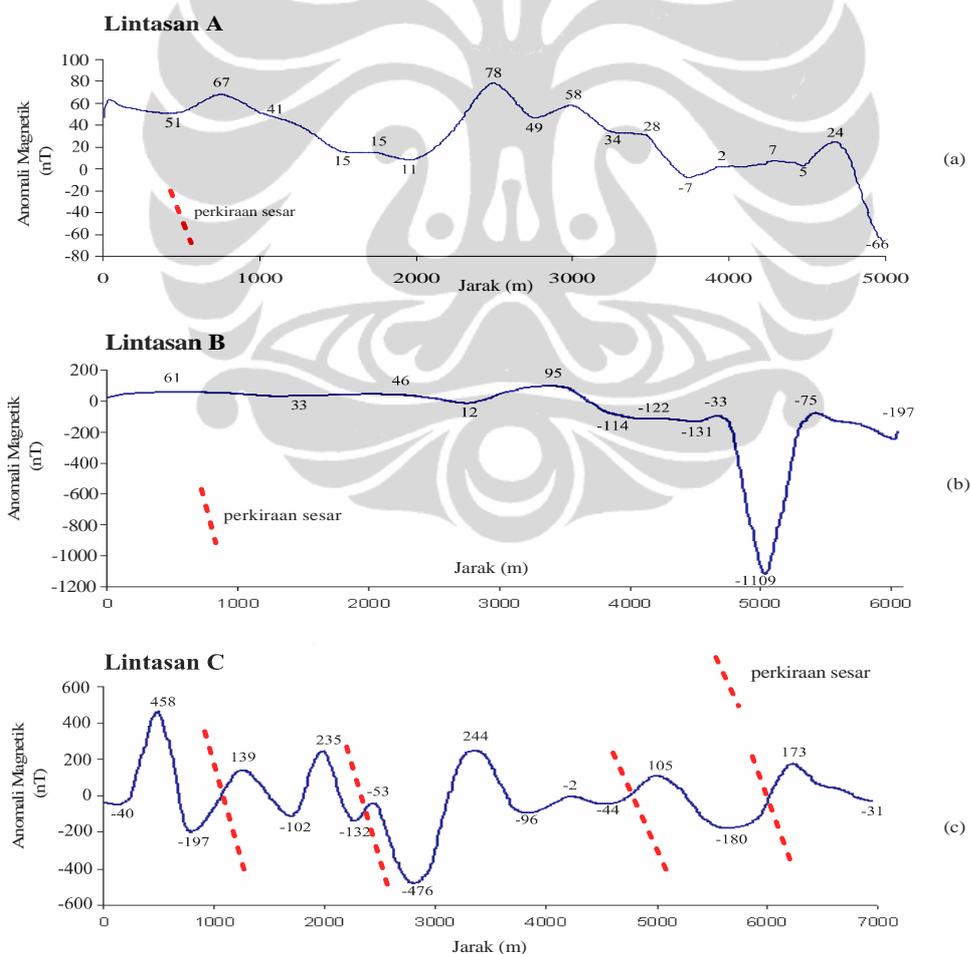
Dari penampang magnet lintasan A yang diukur sepanjang 6000 m (Gambar 5.6a), harga kemagnetannya begitu bervariasi – 7 nT sampai + 78 nT, yang terlihat dari titik A1000 - A6000. Anomali magnet negatif -7 nT dan – 66 nT, terlihat hanya di bagian Tenggara daerah penelitian dan ditafsirkan berupa batuan (granit lapuk dan batuan sedimen) yang batuanannya tidak bersifat magnetik (nonmagnetik) yang terdapat disekitar titik A3500 dan A5000. Sedangkan harga kemagnitan positif + 2 nT sampai + 78 nT yang terdapat di bagian Baratlaut dan Timurlaut antara titik A1000 – A3500 ditafsirkan sebagai batuan granit yang bersifat kemagnitan sedang.

2. Lintasan B

Dari penampang anomali magnet lintasan B yang diukur sepanjang 7000 m (Gambar 5.6b), mempunyai harga kemagnitan cukup bervariasi berkisar antara – 12 nT sampai + 95 nT, yang terlihat dari titik B1000 - B7000. Harga anomali negatif terlihat menempati bagian tengah dan tenggara daerah penelitian sekitar titik B3750 - B6000 dengan harga kemagnitan berkisar antara – 12 nT sampai - 1109 nT dan ditafsirkan sebagai batuan granit lapuk dan batuan sediment yang bersifat nonmagnetik. Sedangkan anomali harga positif bervariasi antara +2 nT sampai + 95 nT yang ditafsirkan sebagai batuan bersifat kemagnitan sedang sampai tinggi dan terlihat antara titik B1000 - B3500 diduga berupa batuan granodiorit dan brekasi andesit.

3. Lintasan C

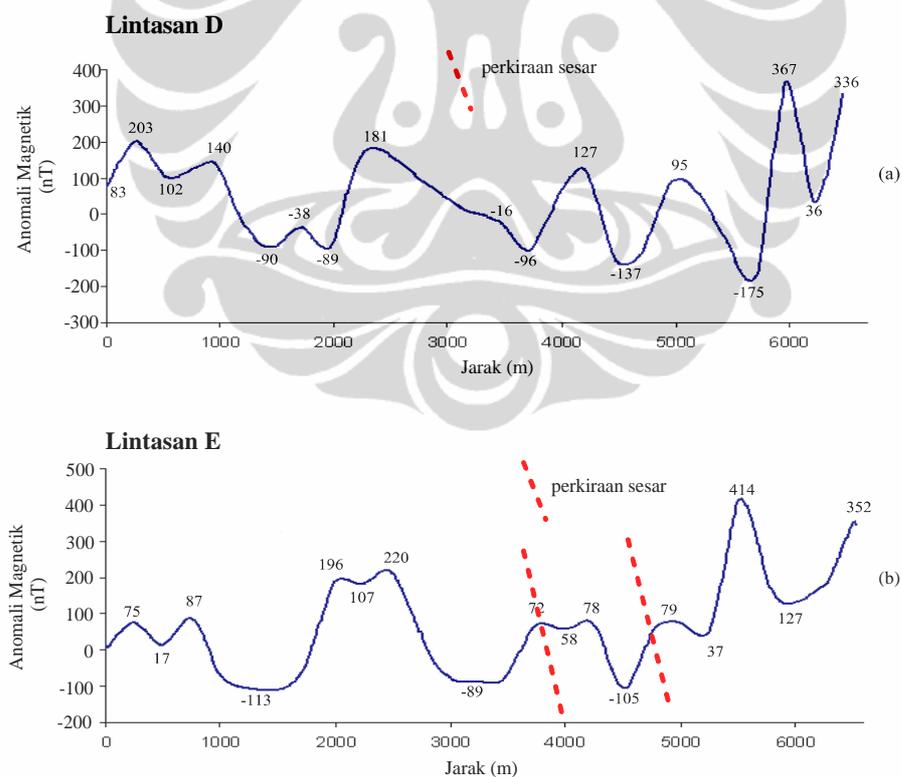
Dari penampang anomali magnet lintasan C yang diukur sepanjang 8000 m (Gambar 5.6c), mempunyai harga anomali magnet yang bervariasi antara -2 nT sampai $+458$ nT yang terlihat pada titik C1000 - C8000. Anomali magnet negatif rendah berkisar antara -2 nT sampai -476 nT, yang ditafsirkan sebagai batuan bersifat nonmagnetik berupa batuan granit lapuk, granodiorit lapuk dan batuan sedimen. Sedangkan anomali magnet positif berkisar antara $+105$ nT sampai $+458$ nT yang ditafsirkan sebagai batuan bersifat magnetik sedang sampai tinggi berupa batuan granit, granodiorit dan breksi andesit. Diperkirakan pada lintasan C terdapat pada titik C2500, C5500 dan C6500.



Gambar 5.6 Penampang anomali magnet (a) Lintasan A, (b) Lintasan B, (c) Lintasan C

4. Lintasan D

Dari penampang anomali magnet lintasan D yang diukur sepanjang 7000 m (Gambar 5.7a), mempunyai nilai anomali magnet rendah berkisar antara -16 nT sampai +367 nT yang terdapat mulai dari titik D1000 - titik D7000. Anomali magnet negatif rendah berkisar antara -16 nT sampai -175 nT ditafsirkan sebagai batuan nonmagnetik berupa batuan granit lapuk, granodiorit lapuk dan batuan sedimen. Sedangkan anomali kemagnitan positif berkisar antara +39 nT sampai +445 nT ditafsirkan sebagai batuan bersifat kemagnitan sedang sampai tinggi yang terdapat pada titik D1500 - D2500 dengan harga kemagnitan berkisar antara +69 nT sampai +172 nT, pada titik D3750 - D4500 dengan harga kemagnitan +36 nT sampai +367 nT ditafsirkan berupa batuan granit, granodiorit dan breksi andesit.



Gambar 5.7 Penampang anomali magnet (a) Lintasan D (b) Lintasan E

5. Lintasan E

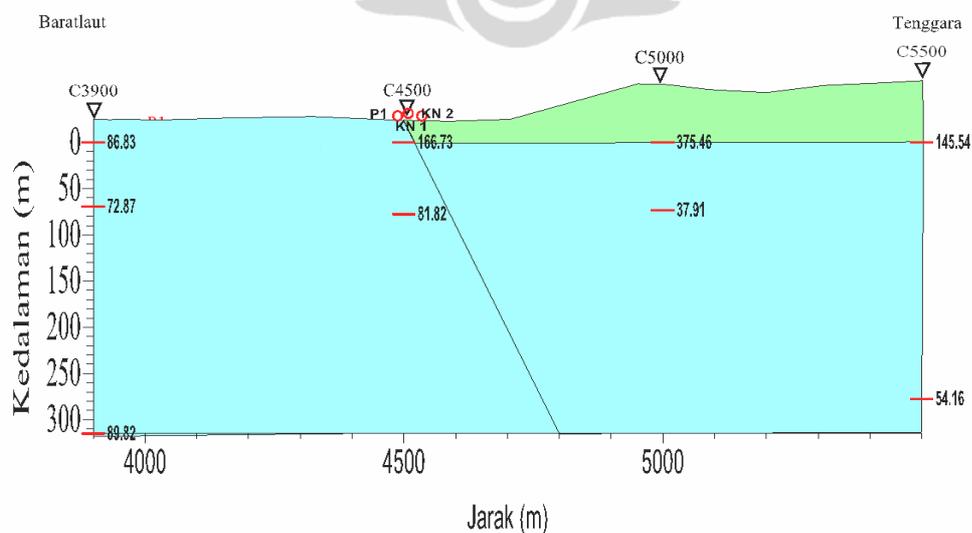
Dari penampang anomali magnet lintasan E yang diukur sepanjang 8000 m (Gambar 5.7b), mempunyai nilai anomali magnet berkisar antara -89 nT sampai +414 nT yang terlihat mulai dari titik E0 – E7000. Anomali negatif rendah berkisar antara -89 nT sampai -113 nT ditafsirkan sebagai batuan bersifat nonmagnetik berupa batuan granit lapuk, granodiorit lapuk dan batuan sedimen. Sedangkan anomali positif berkisar antara +37 nT sampai +414 nT ditafsirkan sebagai batuan bersifat magnetik sedang sampai tinggi berupa batuan granit, granodiorit dan breksi andesit. Diduga pada lintasan ini struktur sesar pada titik E4000, dan E5000.

5.4. Interpretasi Kuantitatif

5.4.1. Geolistrik

Penampang tegak tahanan jenis sebenarnya, dibuat dari hasil pengukuran *sounding* yang dilakukan pada lintasan C. Terdapat empat titik *sounding*, masing – masing pada lintasan C/3900, C/4000, C/5000, dan C/5500.

Setiap data *sounding* telah dimodelkan menggunakan *forward modelling* 1-D (hasilnya dapat dilihat pada bab IV). Dari hasil pemodelan 1-D per titik *sounding* kemudian dibuat model penampang tahanan jenis 2-D seperti terlihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Penampang tahanan jenis sebenarnya lintasan C

Pemodelan yang telah dilakukan ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran geologi bawah permukaan di daerah sekitar kenampakan mata air panas Pincara secara lebih jelas. Dari hasil pemodelan yang dibuat pada lintasan C yang terdapat lokasi mata air panas Pincara dengan empat titik sounding (C3900, C4000, C45000 dan C5000) diperkirakan adanya intrusi batuan andesit – basalt breksi gunung api dengan nilai resistivity 37,91 – 89,82 ohm m, batuan ini memotong batuan disekitarnya yang memiliki densitas yang lebih kecil. Diatas batuan intrusi berarah tenggara daerah penelitian ditutupi oleh batuan permeabel yaitu perselingan batupasir, konglomerat dari formasi Bonebone (dengan nilai resistivity antara 145,54 – 375,46 ohm m terletak disebagian tenggara daerah penyelidikan).

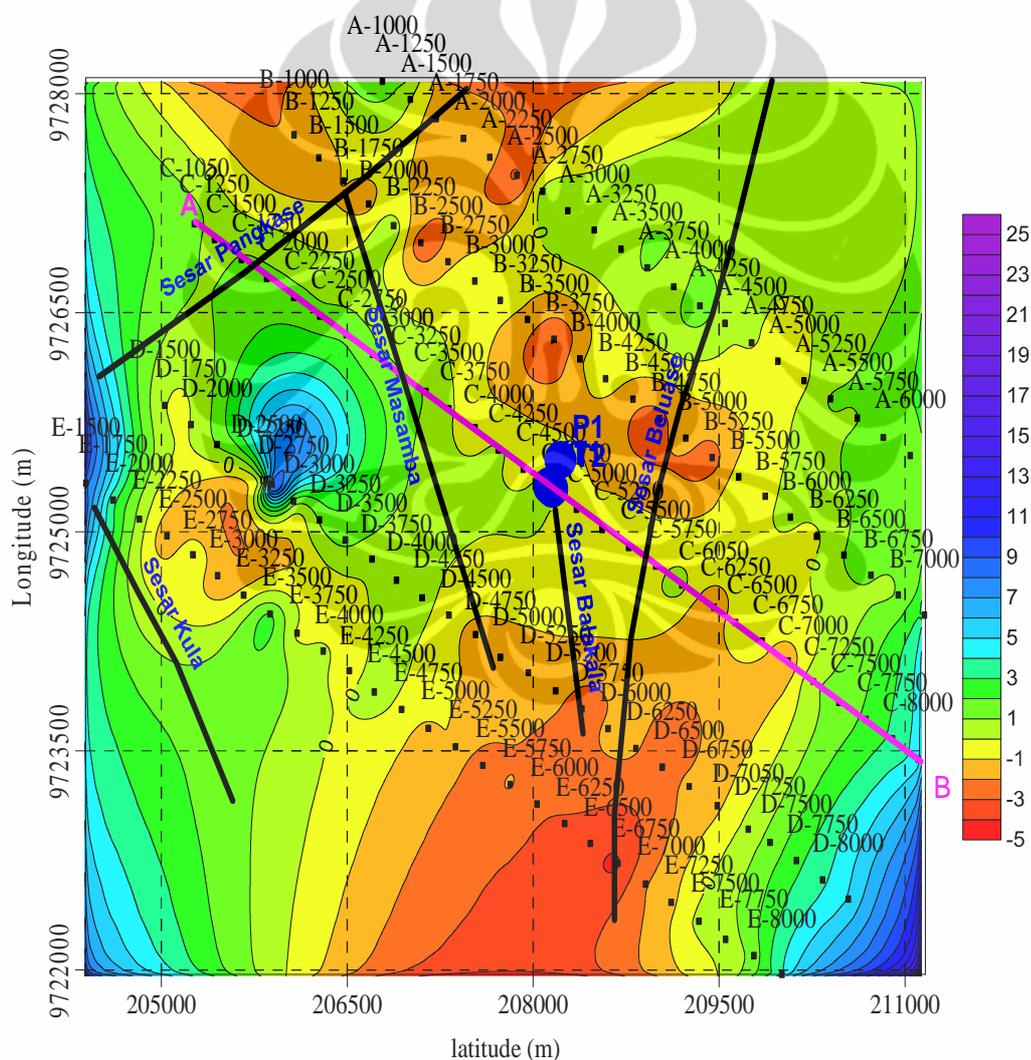
5.4.2. Gravity

Peta anomali residual memberikan gambaran lateral distribusi massa atau batuan di bawah-permukaan yang relatif lebih dekat dengan permukaan bumi (lokal). Nilai anomali residual (Gambar 5.9) berkisar dari – 5 mGal hingga 25 mGal, secara garis besar dapat dibagi menjadi 3 kelompok nilai anomali, yaitu;

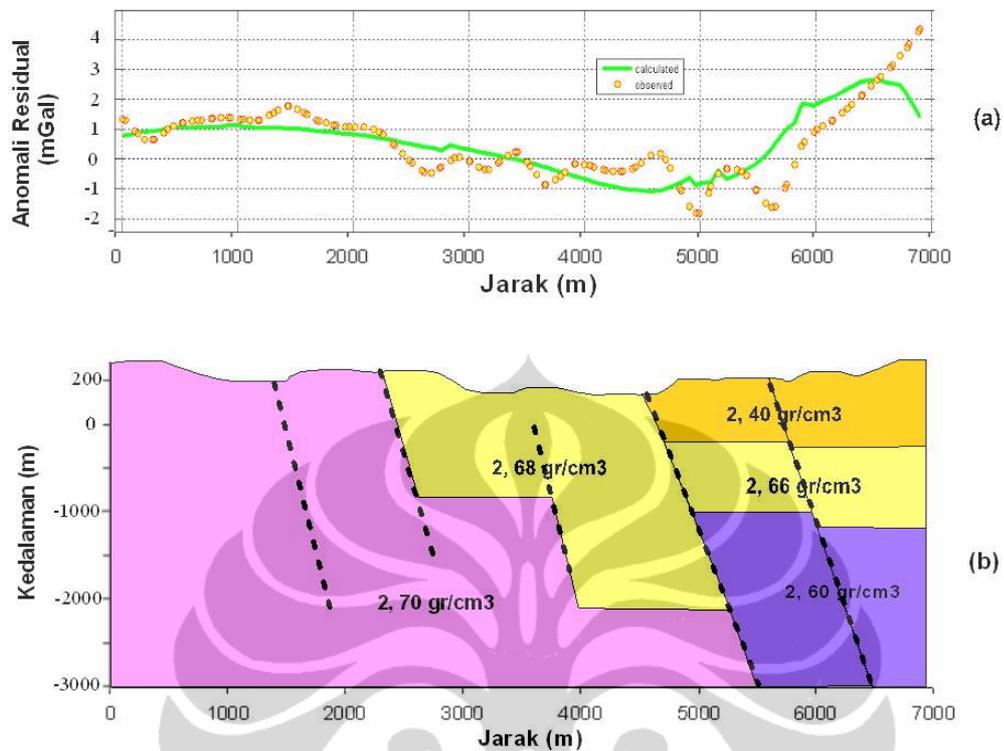
1. Daerah anomali positif tinggi dengan nilai 8 mGal hingga 25 mGal, menempati sebagian kecil bagian barat, baratdaya, dan tenggara diperkirakan bahwa batuan yang memiliki densitas tinggi pada daerah tersebut dekat dengan permukaan, hal ini diperkuat dengan data geologi dan data lapangan yang menunjukkan di daerah tersebut tersingkap batuan granite Sedangkan yang berpola kontur melingkar kecil di bagian barat kemungkinan menggambarkan adanya suatu tubuh batuan kemungkinan intrusi yang densitasnya lebih tinggi dari sekitar.
2. Daerah anomali positif rendah dengan nilai berkisar dari 0 mGal s/d 8 mGal. Daerah dengan nilai anomali positif rendah ini menempati sekitar 30% lembar peta, pada peta geologi daerah tersebut didominasi oleh aluvium, batuan gunung api Lamas (lava basal dan andesit, breksi gunung

api dan tufa) dan formasi Bonebone (perselingan batupasir, konglomerat, napal dan lempung tufaan)

3. Daerah anomali negatif dengan nilai < 0 mGal hingga -5 mGal. Daerah tersebut dengan nilai anomali yang kecil ini diperkirakan dipengaruhi oleh jenis batuan yang mendekati permukaan memiliki densitas yang lebih rendah dari daerah sekitarnya. Pada peta geologi daerah tersebut didominasi oleh aluvium hingga batuan sedimen.



Gambar 5.9 Anomali gravitasi residual



Gambar 5.10 (a) Profil Anomali Gravity,
(b) Model geologi penampang lintasan C.

Secara umum dan berdasarkan kerapatan kontur anomali residual berarah timurlaut – baratdaya hal ini mencirikan adanya struktur sesar yang didominasi berarah timurlaut – baratdaya. Pengukutuban anomali positif dan negatif tampak mengelompok dibagian tengah, kondisi ini mempertegas adanya struktur sesar dibagian timurlaut – baratdaya. Keberadaan sesar tersebut diperkirakan mengontrol kenampakan manifestasi panas bumi di daerah Pincara (MAP Kanan Tedong 1, MAP Kanan Tedong 2 dan MAP Pemandian Desa Pincara). Keberadaan kutub – kutub positif dan negatif dilokasi tersebut diatas juga mempertegas keberadaan sesar yang berarah baratlaut – tenggara, selain sesar – sesar seperti yang tersebut diatas juga ditemukan sesar yang berarah hampir timur – barat .

Anomali positif yang relatif tinggi (>5 mGal) bila dibandingkan dengan anomali sekitarnya yang tampak pada anomali residual pada lintasan D, mengindikasikan adanya batuan intrusi.

Dari proses pemodelan 2-Dimensi lintasan C dihasilkan model dengan tiga lapisan batuan utama bagian tenggara penyelidikan dan dua lapisan batuan dibaratlaut penelitian, yaitu :

1. Batuan lapisan pertama dengan densitas $2,40 \text{ gr/ cm}^3$ diperkirakan merupakan perselingan batupasir, konglomerat, napal dan lempung tufa (Formasi Bonebone) dengan kedalaman antara >1000 meter.
2. Batuan lapisan ke dua dengan densitas antara $2,66 \text{ gr/ cm}^3$ diperkirakan batuan gunung api lamas : lava basalt dan andesit, breksi, gunung api dan tufa dengan kedalaman $< 1000 \text{ m}$
3. Batuan lapisan ke tiga dengan densitas $2,60 \text{ gr/ cm}^3$ diperkirakan batuan formasi latimojang : perselingan batusabak, filit, wake, kuarsit, batugamping, dan batulanau dengan disipan konglomerat dan rijang pada kedalaman $> 1000 \text{ m}$.

Sedangkan dibagian baratlaut terdapat dua lapisan batuan yaitu :

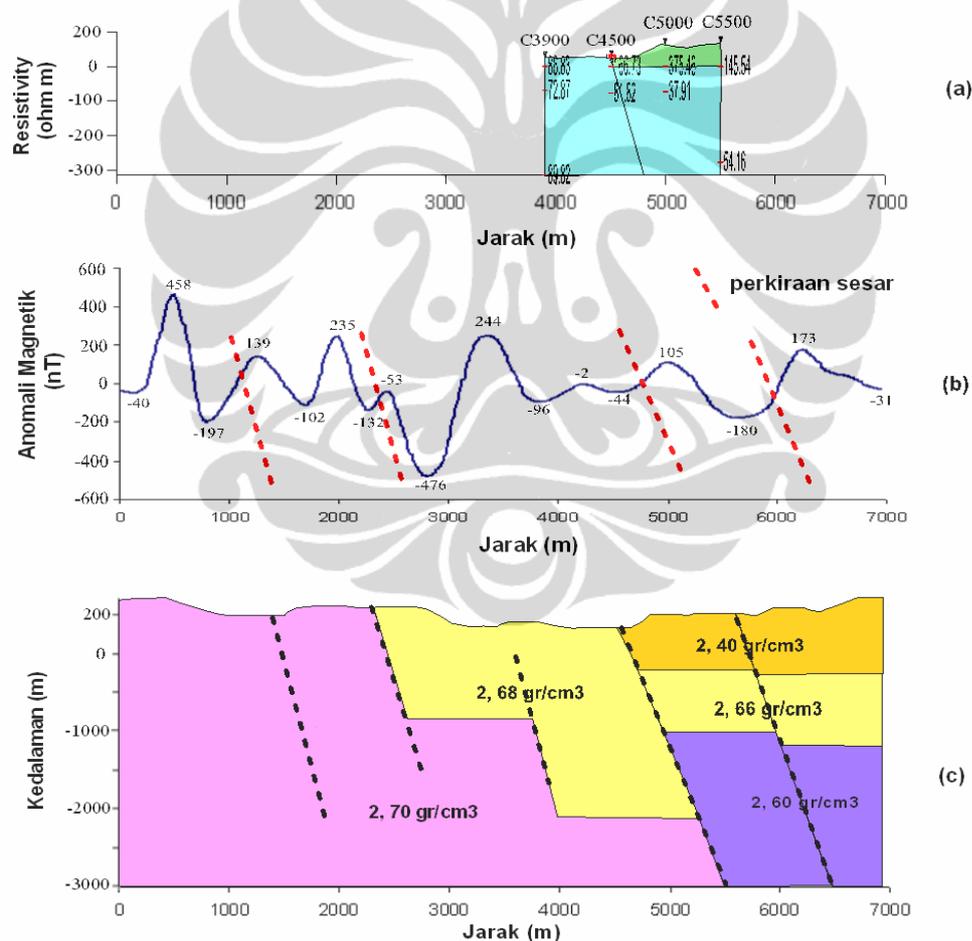
1. Batuan lapisan ke pertama dengan densitas antara $2,68 \text{ gr/cm}^3$ diperkirakan merupakan batuan gunung api lamas : lava basalt dan andesit, breksi, gunung api dan tufa dengan kedalaman $< 1000 \text{ m}$.
2. Batuan lapisan ke dua dengan densitas $2,70 \text{ gr/cm}^3$ diperkirakan batuan granite pada kedalaman $> 2500 \text{ m}$ dan terdapat singkapan dipermukaan dengan lebar $> 500\text{m}$.

5.4.3. Model Sistem Panas Bumi Pincara

Secara keseluruhan dari hasil pemodelan terlihat bahwa pada daerah penelitian terdapat jenis batuan beku dengan densitas yang cukup tinggi yaitu $2,70 \text{ gr/cm}^3$, dan terdapat struktur sesar yang berkorelasi posisi jaraknya terhadap jarak profile anomali magnetik yang menunjukkan adanya beda nilai anomali magnetik yang cukup tinggi (Gambar 5.11). Pada pemodelan yang dilakukan terdapat korelasi pada nilai resistivity yang diperkirakan adanya intrusi batuan andesit – basalt breksi gunung api dengan nilai resistivity $37,91 - 89,82 \text{ ohm m}$,

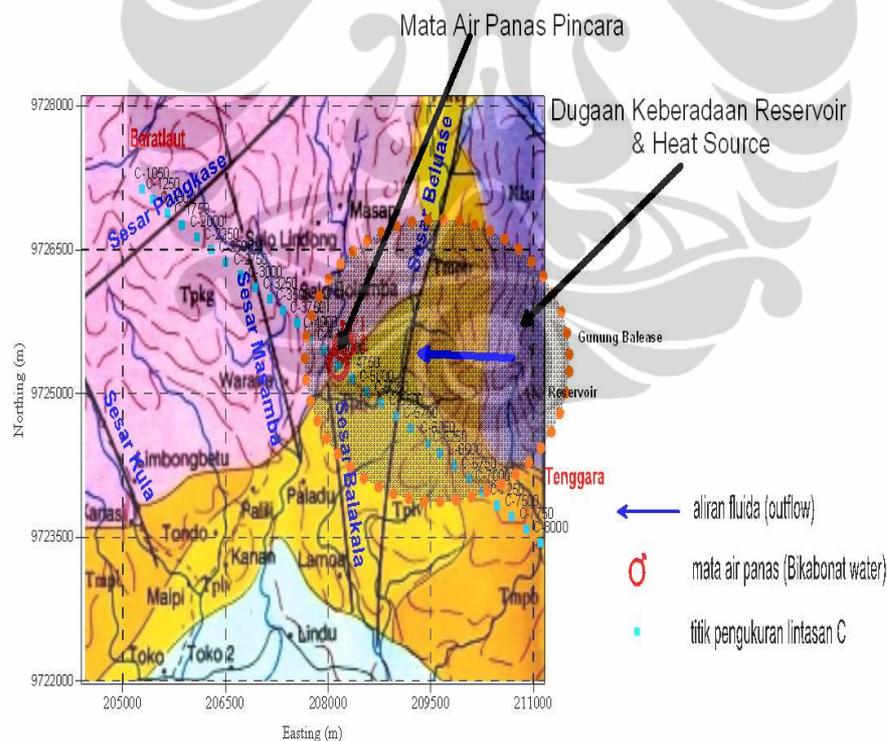
batuan ini memotong batuan disekitarnya yang memiliki densitas yang lebih kecil. Diatas batuan intrusi berarah tenggara daerah penelitian ditutupi oleh batuan permeabel yaitu perselingan batupasir, konglomerat dari formasi Bonebone (dengan nilai resistivity antara 145,54 – 375,46 ohm m terletak disebagian tenggara daerah penyelidikan. .

Struktur sesar yang diperkirakan tersebut sangat berkaitan erat dalam proses pemunculan manifestasi mata air panas Pincara ini. Karena struktur sesar/patahan tersebut diperkirakan sebagai jalan bagi *fluida hydrothermal* dapat muncul kepermukaan.



Gambar 5.11 (a) Resistivity lintasan C, (b) Profile anomali magnetik (c) Model geologi penampang lintasan C.

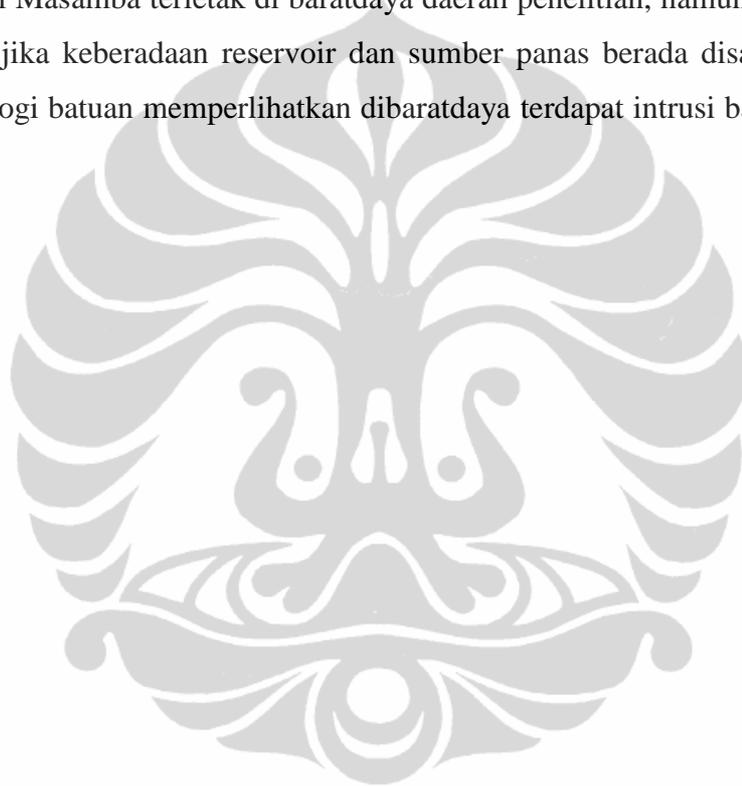
Model diatas menunjukkan bahwa pengendapan karbonat berasal dari reservoir yang diperkirakan berada ditenggara daerah penyelidikan yang kaya akan gas vulkanik terlarut akan naik ke permukaan sebagai *upflow*. Dalam perjalanannya, air panas klorida ini akan mengalami *boiling* dan *cooling*. Di atas muka air tanah, gas-gas vulkanik akan terus naik dan membentuk fumarol dan *steaming ground*. Uap air berasal dari *boiling* air klorida bercampur dengan gas-gas vulkanik dapat bercampur dengan air permukaan membentuk air *steam heated* SO_4 dan HCO_3 di zona oksidasi. Air panas bertipe ini akan mengalir sebagai *outflow* ke daerah yang berelevasi lebih rendah daripada manifestasi fumarol dan *steaming ground*. Pada sistem panas bumi Pincara, air panas ini keluar ke permukaan sebagai mata air bersifat bikarbonat dan pH netral menunjukkan, bahwa perjalanannya sangat jauh atau sangat dalam, sehingga terjadi netralisasi dengan batuan sekitarnya.



Gambar 5.13 Peta dugaan reservoir dan *heat source*

Pada model geologi panampang C yang diperoleh menunjukkan bahwa daerah geothermal Pincara tidak memiliki ciri suatu sistem geothermal yang

terdiri dari sumber panas, lapisan reservoir, dan cap rock. Namun pada pemodelan yang dikerjakan pada Gambar 5.13 diperkirakan aliran fluida, reservoir dan sumber panasnya yang berada ditenggara daerah penelitian, hal ini berdasarkan pada peta geologi dapat diketahui bahwa ditenggara daerah penelitian terdapat gunung Balease yang berjarak $\pm 25,67$ km dari Masamba, dari peta geologi juga diinformasikan keberadaan gunung Kambuno yang berjarak $\pm 34,36$ km dari Masamba terletak di baratdaya daerah penelitian, namun tidak bisa diperkirakan jika keberadaan reservoir dan sumber panas berada disana karena kondisi lithologi batuan memperlihatkan dibaratdaya terdapat intrusi batuan beku (granitik).



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

- Studi geofisika terpadu antara geolistrik, geomagnet dan gravity telah berhasil membuat pemodelan sistem panas bumi di daerah Pincara, kabupaten Luwu utara, propinsi Sulawesi Selatan.
- Pemodelan sistem panas bumi Pincara menunjukkan bahwa daerah geothermal Pincara tidak memiliki ciri suatu sistem geothermal yang terdiri dari sumber panas, lapisan reservoir, dan cap rock.
- Berdasarkan metode resistivity pada pengukuran sounding diperkirakan adanya intrusi batuan andesit – basalt breksi gunung api dengan nilai resistivity 37,91 – 89,82 ohm m, batuan ini memotong batuan disekitarnya yang memiliki densitas yang lebih kecil. Diatas batuan intrusi berarah tenggara daerah penelitian ditutupi oleh batuan permeabel yaitu perselingan batupasir, konglomerat dari formasi Bonebone (dengan nilai resistivity antara 145,54 – 375,46 ohm m terletak disebagian tenggara daerah penyelidikan).
- Berdasarkan anomali residual dengan nilai positif yang relatif tinggi dari lingkungan sekitarnya ($> 1\text{mGal}$) dengan densitas 2,70 gr/cc diperkirakan batuan intrusi granit yang telah mengalami ubahan pada kedalaman > 2500 meter.
- Hasil penelitian dengan metoda magnet yang diterapkan didaerah manifestasi panas bumi Pincara diperkirakan terdapat kurang lebih 5 struktur sesar dan adanya kelurusan-kelurusan anomali magnet yang arahnya bervariasi, menunjukkan bahwa struktur sesar dan kelurusan-kelurusan anomali magnet yang arahnya bervariasi hampir Utara – Selatan dan Baratlaut – Tenggara, merupakan penyebab terjadinya manifestasi panas bumi di daerah ini dengan ditandai munculnya mataair panas di Desa Pincara.

- Pada Model konseptual sistem panas bumi Pincara diperoleh informasi bahwa sistem panas bumi *outflow* berdasarkan pada penyelidikan geokimia oleh badan geologi, dimana mata air panas yang terdapat dipermukaan bersifat bikarbonat dengan pH netral. Sumber panas dan reservoir diduga berada di tenggara penyelidikan hal ini berdasarkan pada data geologi dan peta geologi bahwa di tenggara diperkirakan merupakan pusat erupsi magma yang menyebabkan terbentuknya pegunungan Baliase. Disebelah tenggara daerah penyelidikan diperkirakan terdapat lapisan impermeabel yang menahan fluida *hydrothermal* sampai kepermukaan, namun dengan diperkirakan terdapatnya sesar/patahan pada beberapa titik pengukuran berdasarkan pada data geologi, pemodelan gravity dan data geomagnet, maka fluida *hydrothermal* tersebut dapat muncul kepermukaan

6.2. Saran

- Untuk mendapatkan penetrasi yang lebih dalam perlu dilakukan penyelidikan dengan metode lainya, misalnya CSAMT, pemboran landaian suhu.
- Jika dilakukan penyelidikan lebih lanjut sangat diperlukan data "Tata guna lahan". Hal ini sangat penting untuk mengantisipasi resiko kerawanan materil ataupun imateil dalam pemanfaatan lahan yang berpotensi tersebut.

DAFTAR ACUAN

- Dendi S. K. dan Anwar W. A. 2005. *Penyelidikan Gaya Berat Daerah Panas Bumi Pincara, Kabupaten Luwu Utara, Sulawesi Selatan, Subdit Panas Bumi, Jakarta*
- Dickson, Mary H. and Mario Fanelli. 2004. *Geothermal Energy*. Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR , Pisa, Italy
- Fauzi D. A, 2005, *Eksplorasi air bawah tanah di kampus UI Depok dengan metode Resistivitas Schlumberger, Universitas Indonesia.*
- Foeh, Imanuel Musa. dan Lilirk Rihardiana Rosli. 2005. *Penyelidikan Geomagnetik Di Daerah Panas Bumi Kanan Tedong Di Desa Pincara, Masamba, Kabupaten Luwu Utara, Sulawesi Selatan, Subdit Panas Bumi, Jakarta*
- Griffiths, David J. 1999. *Intruduction to Electrodynamics 3rd Edition*. New Jersey, Prentice Hall.
- Hochstein, M. P., 1982 *Intruduction to Geothermal Prospecting*, Geothermal Institute, University of Auckland.
- Hochstein, M. P. and P. R. L. Browne. 2000. *Surface Manifestations of Geothermal Systems with Volcanic Heat Source*. Geothermal Institute, University of Auckland.
- Katili, J. A. 1978. *Past and present geotectonic position of Sulawesi, Indonesia*. Elsevier Scientific Publ. Co., Amsterdam.
- Kusnadi, Dedi., Supeno, dan Sumarna. 2005. *Penyelidikan Geokimia Panas Bumi Daerah Pincara, Masamba, Kabupaten Luwu Utara, Sulawesi Selatan, Subdit Panas Bumi, Jakarta*

- Loke, M.H. 2000. RES3DINV ver. 2.14 for Windows 98/Me/2000/NT/XP : Rapid & IP Inversion using the least-square method. Penang : Geotomo Software.
- Mussett, Alan E. and M. Aftab Khan. 2000. *Looking Into The Earth*, Cambridge : Cambridge University Press
- Simandjuntak, T. O., E. Rusmana, Surono & J. B. Supandjono. 1991. Peta Geologi Lembar Malili Sulawesi Selatan, PPPG, Bandung.
- Subagio. 2000. Menentukan nilai anomaly gayaberat normal berdasarkan system geodetic global 1984 (WGS 1984). Prosiding pertemuan ilmiah tahunan HAGI ke-25 Bandung.
- Suhanto, Edi. dan Bakrun. 2003. Studi Kasus Lapangan Panas Bumi Non Vulkanik Di Sulawesi : Pulu, Mamasa, Parara dan Mangolo, Subdit Panas Bumi, Jakarta
- Suhanto, Edi. dan Bakrun. 2005. Penyelidikan Geolistrik Tahanan Jenis Di Daerah Panas Bumi Pincara, Masamba, Sulawesi Selatan, Subdit Panas Bumi, Jakarta
- Sulistyningrum, Fitri. 2009. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Daerah X Untuk Menentukan Sumber Pasir Besi Dengan Metoda Gravity, Universitas Indonesia, Depok.
- Sumardi, Eddy. dan Herry Sundhoro. 2005. Geologi Daerah Pincara, Masamba, Kabupaten Luwuk Utara, Sulawesi Selatan, Subdit Panas Bumi, Jakarta
- Telford, W. M., L. P. Geldart and R. E. Sherrif. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Tonani. 1982. *Geothermic* Vol. 2, Cambridge : Cambridge University Press
- Untung M. 2001. Dasar-dasar magnet dan gravity serta beberapa penerapannya. Jakarta: Seri Geofisika, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).