TUGAS AKHIR – RF 184838

ANALISIS KONDISI BAWAH PERMUKAAN LAPANGAN PANAS BUMI "X" BERDASARKAN PEMODELAN 3D DATA MAGNETIK

MAR'ATUS SALIMAH
NRP 03411640000021

Dosen Pembimbing I
Anik Hilyah, S.Si, M.T.
NIP. 19790813 200812 2 002

Dosen Pembimbing II
M. Singgih Purwanto, S. Si, M.T.
NIP. 19800916 200912 1002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – RF 184838

ANALISIS KONDISI BAWAH PERMUKAAN LAPANGAN PANAS BUMI "X" BERDASARKAN PEMODELAN 3D DATA MAGNETIK

MAR'ATUS SALIMAH
NRP 03411640000021

Dosen Pembimbing I
Anik Hilyah, S.Si, M.T.
NIP. 19790813 200812 2 002

Dosen Pembimbing II
M. Singgih Purwanto, S. Si, M.T.
NIP. 19800916 200912 1002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

UNDERGRADUATE THESIS – **RF 184838**

SUBSURFACE ANALYSIS OF GEOTHERMAL FIELD "X" BASED ON MAGNETIC 3D MODEL

MAR'ATUS SALIMAH
NRP 03411640000021

Advisor I:
Anik Hilyah, S.Si, M.T.
NIP. 19790813 200812 2 002

Advisor II:
M. Singgih Purwanto, S. Si, M.T.
NIP. 19800916 200912 1002

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil, Planning, And Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

NAMA	: Mar'atus Salimah
NRP	: 03411640000021
Departemen	: Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir	: Analisis Kondisi Bawah Permukaan Lapangan Panas Bumi "X" Berdasarkan Pemodelan 3D Data Magnetik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juli 2020

1. ……
   Anik Hilyah, S.Si, M.T. (Pembimbing I)
   NIP. 19790813 200812 2 002
2. ……
   M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T. (Pembimbing II)
   NIP. 19800916 200912 1 002
3. ……
   Nita Ariyanti, S.T., M.Eng. (Penguji I)
   NIP. 370181001
4. ……
   Maryanto, S. Si, M.T. (Penguji II)
   NIP. 19911002 201711 0 044

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si.
NIP. 19760123 200003 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Analisis Kondisi Bawah Permukaan Lapangan Panas Bumi “X” Berdasarkan Pemodelan 3D Data Magnetik” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juni 2020

Mar’atus Salimah
NRP. 03411640000021

Halaman ini sengaja dikosongkan

Analisis Kondisi Bawah Permukaan Lapangan Panas Bumi "X" Berdasarkan Pemodelan 3D Data Magnetik

Nama	:	Mar'atus Salimah
NRP	:	03411640000021
Dosen Pembimbing I	:	Anik Hilyah, S.Si, M.T.
Dosen Pembimbing II	:	M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T.

ABSTRAK

Indikasi keberadaan panas bumi di daerah penelitian ditandai dengan adanya manifestasi berupa mata air panas. Hal tersebut menadakan adanya struktur geologi tertentu di bawah permukaan. Salah satu metode geofisika yang dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan adalah metode magnetik. Metode magnetik mengukur intensitas medan magnet yang timbul dari adanya variasi benda termagnetisasi dibawah permukaan. Nilai intensitas medan magnet yang terukur akan dilakukan koreksi harian dan koreksi IGRF untuk mendapatkan nilai anomali magnetik total. Filter kontinuasi ke atas digunakan untuk mendapatkan anomali regional dan residual. Didapatkan intensitas magnetik pada anomali residual yaitu -90 nT hingga 56 nT. Anomali rendah dengan nilai -90 nT hingga -5 nT merupakan batuan pasir dan serpih (sekitar manifestasi air panas) dan batu gamping terumbu (bagian tenggara). Anomali sedang dengan nilai -5 nT hingga 4 nT merupakan batu pasir dan serpih, sedangkan anomali tinggi dengan nilai intensitas 4 nT hingga 56 nT yang berada di bagian selatan dengan anomali memusat diindikasikan sebagai batu pasir dan serpih yang kompak. Pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan anomali residual untuk mendapatkan distribusi nilai suseptibilitas terhadap kedalaman. Didapatkan nilai suseptibilitas pada daerah penelitian yaitu -0,0035 SI hingga 0,0019 SI. Dimana nilai -0,0035 SI hingga 0,0002 SI merupakan batu gamping, nilai 0,0002 SI hingga 0,0019 SI merupakan batu pasir dan serpih. Berdasarkan model 3D pada kedalaman 600 meter terlihat adanya kontras nilai suseptibilitas dengan arah utara-selatan dan tenggara-baratlaut yang diindikasikan sebagai sesar. Sesar inilah yang diduga sebagai kontrol keluarnya manifestasi air panas pada daerah penelitian.

Kata Kunci: Kontinuasi ke Atas, Panas bumi, Sesar, Suseptibilitas

Halaman ini sengaja dikosongkan

Subsurface Analysis of Geothermal Field "X" Based on 3D Magnetic Model

Name	:	Mar'atus Salimah
Student ID	:	03411640000021
Advisor I	:	Anik Hilyah, S.Si, M.T.
Advisor II	:	M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T.

ABSTRACT

Indications of the existence of geothermal in the study area are marked by the manifestation of hot springs. This indicates the existence of certain subsurface geological structures. One of the geophysical methods that can visualize subsurface condition is magnetic. Magnetic method measures the intensity magnetic variations which caused by variations of subsurface magnetized objects. Diurnal and IGRF correction will be applied on the measured magnetic field intensity values to obtain the values of total magnetic anomalies. Upward continuation filter is used to get regional and residual anomalies. Obtained a magnetic intensity on the residual anomaly is -90 nT to 56 nT. Low anomalies with intensity values of -90 nT to -5 nT are sandstone and shale (around hot spring manifestation) and coral limestone (southeast). Medium anomalies with intensity values of -5 nT to 4 nT are sandstone and shale, while high anomalies with intensity values of 4 nT to 56 nT which are in the southern part indicated as compact sandstone and shale. 3D modelling is done by using residual anomalies to get the distribution of susceptibility by depth. The susceptibility values obtained in the study area are -0.0035 SI to 0.0019 SI. The value of -0.0035 SI up to 0.0002 SI is coral limestone, value of 0.0002 SI up to 0.0019 SI are sandstone and shale. Based on the 3D model at a depth of 600 meters there are contrast of susceptibility values with the north-south and southeast-northwest directions indicated as fault. This fault acts as a control for the appearance of hot spring manifestations in the study area.

Key Words*: Fault, Geothermal, Susceptibility, Upward Continuation*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Kondisi Bawah Permukaan Lapangan Panas Bumi "X" Berdasarkan Pemodelan 3D Data Magnetik"dapat terselesaikan.

Pengerjaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan,bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua dan kakak penulis yang selalu memberikan dukungan material maupun moril selama pelaksanaan perkuliahan hingga Tugas Akhir.
2. Ibu Anik Hilyah S.Si, M.T. selaku pembimbing I Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan dan masukan dengan baik.
3. Bapak M. Singgih Purwanto S.Si, M.T. selaku pembimbing II Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan dan masukan dengan baik.
4. Bapak Ahmad Zakarsyi S.Si, M.T. dan Ibu Dewi Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panasbumi (PSDMBP) selaku pembimbing di perusahaan yang senantiasa memberikan bimbingan dan masukan dengan baik.
5. Eka Harris Suryawan, S.T sebagai teman berdiskusi dan memberi masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Sumita Kelista Nurfi Astani sebagai teman yang selalu berjuang bersama dalam melaksanakan Tugas Akhir di perusahaan.
7. Teman – teman Tg5 yang senantiasa menemani, memberikan dukungan dan semangat selama perkuliahan hingga Tugas Akhir.
8. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis yang telah memberikan dukungan dan do'a pada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah membalas kebaikan semua pihak. Penulis menyadari tentunya penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 19 Juni 2020
Penulis,

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ..... **i**
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR ..... **iii**
ABSTRAK ..... **v**
ABSTRACT ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 1
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **3**
2.1 Dasar Teori 3
2.1.1 Geologi Regional 3
2.1.1.1 Fisiografi Regional 4
2.1.1.2 Stratigrafi Regional 5
2.1.1.3 Sejarah Geologi 7
2.1.1.4 Sistem Geotermal Lapangan “X” 8
2.1.2 Metode Magnetik 9
2.1.2.1 Teori Dasar Magnetik 10
2.1.2.2 Pengolahan dan Pemodelan Data Magnetik 16
2.2 Penelitian Terdahulu 20
BAB III METODOLOGI **23**
3.1 Diagram Alir Penelitian 23
3.2 Data dan Lokasi Penelitian 24

3.3 Pengolahan Data 26
3.3.1 Koreksi Harian (*Diurnal)* 26
3.3.2 Koreksi IGRF 26
3.3.3 Anomali Magnetik Total 26
3.3.4 Kontinuasi Ke Atas 27
3.3.5 Anomali Regional dan Residual 27
3.3.6 Pemodelan 3D 27
3.3.7 Pemodelan 2D 30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 33
4.1 Anomali Magnetik Total 33
4.2 Anomali Regional 34
4.3 Anomali Residual 35
4.4 Pemodelan Inversi 3D 36
4.5 Interpretasi Model Inversi 3D 37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 41
5.1 Kesimpulan 41
5.2 Saran 41
DAFTAR PUSTAKA 43
LAMPIRAN 47
BIOGRAFI PENULIS 51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Geologi Daerah Penelitian (Dimodifikasi dari Tim Geologi, 2009) 3
Gambar 2. 2 Fisiografi Regional Maluku Selatan (De Smet, 1999 dalam Darman, 2000) 4
Gambar 2. 3 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian. Tanda kuning merupakan formasi pada titik pengukuran magnetik (Milsom, 2000) 7
Gambar 2. 4 Model Konseptual Sistem Panasbumi (Tim Geologi dan Geokimia, 2009) 9
Gambar 2. 5 Induksi Magnet Bumi pada Mineral Magnetik (Sampurno, 2012) 10
Gambar 2. 6 Prinsip Hukum Coulomb (Hinze dkk., 2013) 11
Gambar 2. 7 Momen magnetik (a) Bahan non-magnetik (b) bahan 11
Gambar 2. 8 Elemen magnetik bumi (Telfort dkk., 1990) 14
Gambar 2. 9 Komponen (X,Y,Z) pada medan magnetik F (Blakely dan Simpson, 1986) 15
Gambar 2. 10 Kontinuasi ke atas dari permukaan horizontal (Blakely, 1995) 18
Gambar 2. 11 Peta anomali (kiri) sebelum dilakukan filter kontinuasi ke atas (b) setelah dilakukan filter kontinuasi ke atas 100m (Kusdyantono, 2016 dalam Sayoga, 2018) 19
Gambar 2. 12 Geometri model satuan 3D berbentuk kubus untuk perhitungan respon magnetik di titik *P* (kiri) dan diskretisasi medium 3D (kanan) 20
Gambar 2. 13 Hasil Model Inversi 3D Gunung Pandan (Maubana dkk., 2019) 21
Gambar 2. 14 Model Inversi 3D Harjosari (Widodo dkk., 2016) 22
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian 23
Gambar 3. 2 Peta Titik Pengukuran 25

Gambar 3. 3 Peta Titik Sampel Batuan 25
Gambar 3. 4 *Input* Data dan Parameter *griding* Anomali Magnetik Total..... 26
Gambar 3. 5 Parameter Kontinuasi ke Atas 27
Gambar 3. 6 Diagram Alir Pemodelan 3D 28
Gambar 3. 7 Input Data dan Parameter untuk *polygon* Model 3D..... 29
Gambar 3. 8 Parameter Inversi 3D 29
Gambar 3. 9 Proses *Run Inversion* secara *Online* 30
Gambar 3. 10 Peta Sayatan Anomali 31
Gambar 4. 1 Peta Anomali Magnetik Total……...33
Gambar 4. 2 Peta Anomali Regional 34
Gambar 4. 3 Peta Anomali Residual 35
Gambar 4. 4 Model Awal Pemodelan 3D 36
Gambar 4. 5 Hasil inversi *report* 37
Gambar 4. 6 Model 3D Suseptibilitas 37
Gambar 4. 7 Interpretasi Model 3D 38
Gambar 4. 8 Penampang 2D Lintasan A-A' 39

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Suseptibilitas Batuan..... 13

Tabel 3. 1 Nilai Suseptibilitas Sampel Batuan…...…….……..24

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenampakan manifestasi panas bumi di daerah penelitian berupa munculnya sumber mata air panas. Mata air panas di daerah penelitian kemungkinan berasal langsung dari kedalaman dan sedikit sekali mendapat pengaruh dari air permukaan atau pengenceran meteorik (Tim Geologi dan Geokimia, 2009). Keberadaan manifestasi tersebut mendorong untuk dilakukan penelitian mengenai kondisi bawah permukaan. Salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengidentifikasi kondisi bawah permukaan yaitu metode magnetik.

Metode magnetik merupakan metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi panas bumi. Pengukuran metode magnetik bertujuan untuk memperkirakan kondisi bawah permukaan berdasarkan intensitas medan magnet yang terukur di permukaan. Variasi intensitas medan magnet di permukaan yang berbeda menunjukkan adanya anomali magnetik, dimana anomali magnetik umumnya disebabkan adanya perbedaan batuan untuk termagnetisasi (suseptibilitas). Pada daerah panas bumi, larutan hidrotermal dapat menimbulkan perubahan terhadap sifat kimia dan fisika geologi bawah permukaan. Perubahan ini mengakibatkan kemagnetan batuan menjadi turun atau mengalami demagnetisasi. Nilai anomali magnetik yang rendah dapat menginterpretasikan zona potensial dan sumber panas bumi (Chaerunnisah dkk., 2016).

Penelitian mengenai struktur bawah permukaan pada eksplorasi panas bumi menggunakan metode magnetik sebelumnya telah dilakukan oleh Maubana dkk (2019) yang berhasil mendapatkan model inversi 3D yang menghasilkan model suseptibilitas dengan kedalaman. Pemodelan 3D yang dilakukan menggunakan data anomali magnetik residual. Pemodelan 3D data magnetik juga berhasil dilakukan oleh Widodo dkk (2016) untuk mengetahui struktur bawah permukaan yang lebih jelas. Hasil dari pemodelan 3D terdapat perbedaan nilai suseptibilitas pada kedalaman tertentu yang diinterpretasikan sebagai sesar. Berdasarkan hal tersebut penulis tertarik melakukan penelitian dengan menggunakan metode magnetik untuk analisis kondisi bawah permukaan pada lapangan panas bumi “X”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana nilai distribusi intensitas magnetik Lapangan Panas Bumi “X” berdasarkan data anomali residual?
2. Bagaimana nilai distribusi suseptibilitas dari pemodelan 3D pada Lapangan Panas Bumi “X” berdasarkan data magnetik?
3. Bagaimana kondisi bawah permukaan manifestasi air panas pada Lapangan Panas Bumi “X” berdasarkan model 3D?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan topik permasalahan dalam penelitian pada tugas akhir ini, penulis memberikan batasan masalah yang meliputi:

1. Data magnetik dan pendukung yang digunakan merupakan data sekunder PSDMBP (Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi).
2. Data pendukung yang digunakan adalah data sampel batuan, dimana 4 diantaranya dilakukan pengukuran suseptibilitas.
3. Pemisahan anomali dilakukan dengan *filter* kontinuasi ke atas.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Menentukan nilai distribusi intensitas magnetik Lapangan Panas Bumi "X" berdasarkan data anomali residual.
2. Menentukan nilai distribusi suseptibilitas dari pemodelan 3D pada Lapangan Panas Bumi "X".
3. Menganalisis kondisi bawah permukaan manifestasi air panas pada Lapangan Panas Bumi "X" berdasarkan model 3D.

1.5 Manfaat Penelitian

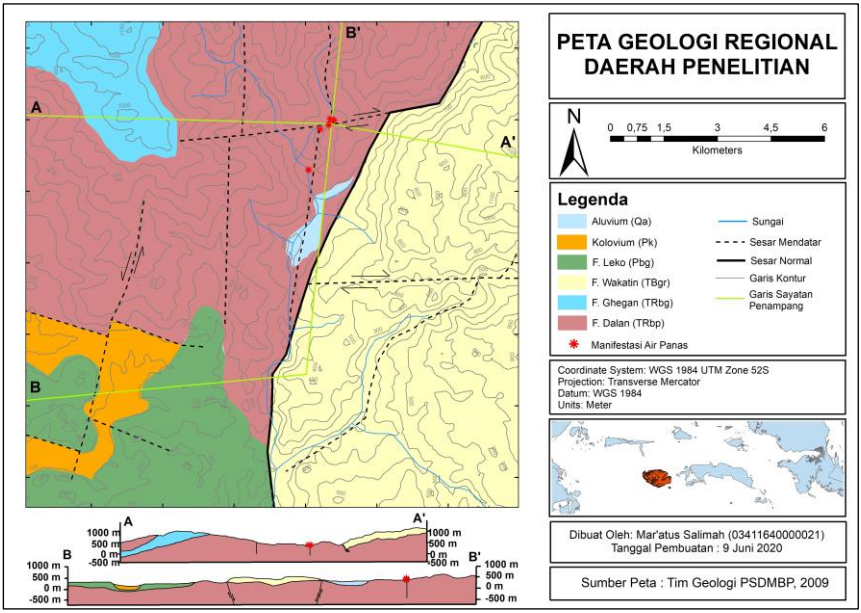
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah referensi tentang struktur bawah permukaan lokasi penelitian.
2. Sebagai eksplorasi awal yang bisa dijadikan referensi untuk eksplorasi selanjutnya.
3. Sebagai acuan dalam pemodelan 3D magnetik untuk penentuan *resevoir* pada studi kasus panas bumi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

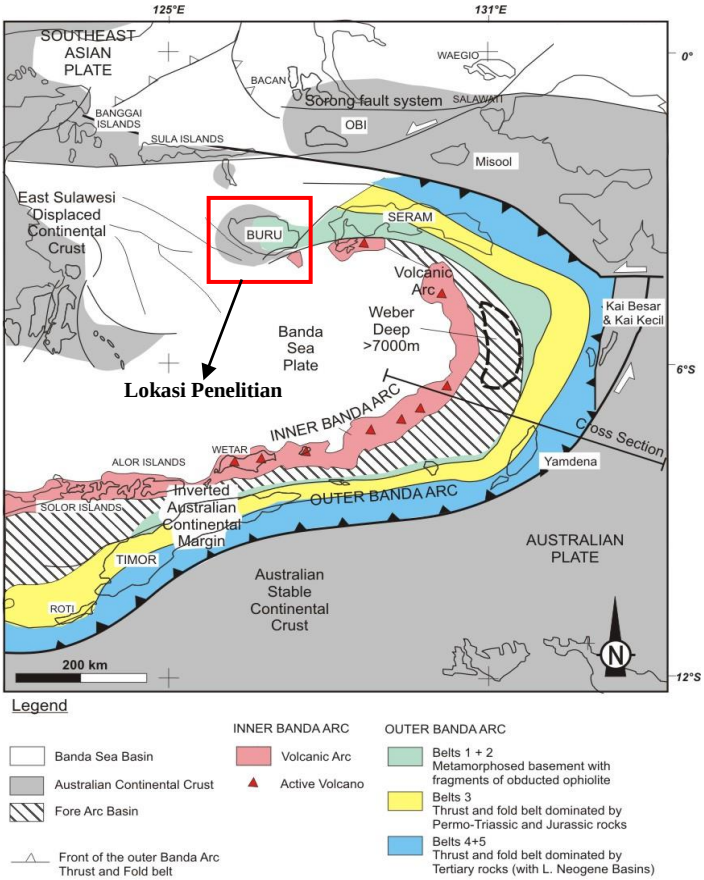
2.1.1 Geologi Regional



Gambar 2. 1 Peta Geologi Daerah Penelitian (Dimodifikasi dari Tim Geologi, 2009)

Menurut Tim Geologi (2009) pola struktur pada daerah penelitian dibentuk oleh dua *stress* tektonik regional yang terdiri dari; 1) Pola tegasan yang berpola hampir sama dengan zona Sesar Sorong dan zona Sesar Molucca-Sorong dengan gaya kompresi timurlaut-baratdaya dan gaya ekstensi baratlaut-tenggara. Gaya ini menghasilkan pola struktur sesar mendatar berarah hampir utara-selatan dan timurlaut-baratdaya, serta sesar normal berarah timurlaut-baratdaya. 2) Pola tegasan regangan baratlaut-tenggara yang menghasilkan struktur normal barat-timur. Lokasi penelitian berada pada formasi Dalan (TRbp), Formasi Wakatin (TBgr), dan endapan aluvium (Qa). Formasi Dalan tersusun oleh batu pasir, serpih, batu lanau, dan konglomerat. Formasi Wakatin terdiri dari batu gamping terumbu, sedangkan endapan aluvium terdiri dari bongkah, kerikil, pasir, dan lanau.

2.1.1.1 Fisiografi Regional



Gambar 2. 2 Fisiografi Regional Maluku Selatan (De Smet, 1999 dalam Darman, 2000)

Busur Banda terletak di pertemuan tiga lempeng kerak bumi yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik (De Smet, 1999). Secara geologi Busur Banda membentuk suatu struktur benbentuk tapal kuda yang mengarah ke barat mengelilingi Laut Banda. Keberadaan Busur Banda membagi wilayah maluku menjadi 2 busur, yaitu busur dalam yang bersifat vulkanik dan busur luar yang bersifat non-vulkanik. Berdasarkan fisiografinya, daerah penelitian merupakan bagian dari Busur Banda Luar yang tidak ada gunungapi. Busur ini merupakan rangkaian pulau yang terbentang mengelilingi Laut Banda, mulai dari Pulau Buru memotong Pulau Seram, Kepulauan Tanimbar, Pulau Timor sampai ke Pulau Sumba.

2.1.1.2 Stratigrafi Regional

Stratigrafi Pulau Buru terdiri dari 9 satuan batuan, dari tua ke muda yaitu: Kelompok Malihan Pratersier (Pz), Kelompok Trias (Tr), Kelompok Jura – Eosen (JE), Kelompok Oligosen (To), Kelompok Miosen (Tm), Kelompok Pleiosen (Tp), Batuan Gunungapi Ambalau (Tpa), Kelompok Plistosen (Qp), dan Kelompok Endapan Holosen (Qh) (Sulaeman dkk., 2006).

a) Kelompok Malihan Pratersier (Pz)

Kelompok ini terdiri dari Kompleks Wahlua dan Kompleks Rana. Kelompok ini tersusun dari sekis, filit, batupasir arkosa malih, kuarsit, dan pualam yang berumur Perem. Singkapan berupa sekis ditemukan di pinggir pantai. Terdapat singkapan jendela pada endapan undak (Qh). Sekis berwarna abu-abu kehijauan sampai abu-abu muda dengan arah jurus dan kemiringan yang relatif timur-barat. Terdapat kuarsit berwarna putih kecoklatan yang berupa sisipan dengan ketebalan sekitar 1 – 5 cm.

b) Kelompok Trias (Tr)

Kelompok ini terdiri dari Formasi Ghegan dan Formasi Dalan. Formasi Ghegan tersebar di bagian barat dan selatan. Formasi Ghegan terdiri dari batugamping dolomitan, kalkarenit, serpih, dan napal yang berumur Trias. Formasi Dalan penyebarannya meliputi bagian barat, selatan, dan timur. Formasi Dalan terdiri dari batupasir, serpih, batulanau, dan konglomerat yang berumur Trias. Batupasir dan serpih dapat ditemukan di sungai yang umumnya berlapis baik. Beberapa lokasi memperlihatkan perselingan antara batupasir dan serpih. Batupasir berwarna abu-abu kecoklatan, ukuran butir pasir sedang-halus, non-karbonatan, ketebalannya bervariasi antara 10 - 60 cm. Sedangkan serpih berwarna abu-abu tua-hijau, ukuran lempung, non-karbonatan, ketebalan antara 5 - 30 cm.

c) Kelompok Jura – Eosen (JE)

Terdiri dari Formasi Mefa dan Formasi Kuma. Formasi Mefa terdiri dari lava basal dan tuf yang berumur Jura. Tuf tersingkap di sungai dengan bersisipan lava basal. Tuf berwarna abu-abu tua sampai hijau tua, menyerpih dan pada beberapa bagian yang rekah telah terisi oleh mineral kuarsa berwarna putih kecoklatan. Formasi Kuma terdiri dari kalsilutit, lutit rijangan, rijang konglomerat yang berumur Kapur – Paleosen. Dinding sungai bagian hulu tersingkap batugamping (kalsilutit) berwarna putih sampai kecoklatan, sangat keras, tersusun oleh butiran yang sangat halus, karbonatan dan terdapat urat kuarsa.

d) Kelompok Oligosen (To)

Kelompok ini tersusun oleh Formasi Waeken yang terdiri dari napal, napal pasiran, dan kalsilutit yang berumur Oligosen - Miosen Tengah.

e) Kelompok Miosen (Tm)

Kelompok Miosen terdiri dari Formasi Wakatin, Formasi Hotong, dan Formasi Ftau. Formasi Wakatin terdiri dari batugamping koral yang berumur

Miosen Tengah - Miosen Atas. Formasi Hotong terdiri dari batupasir, serpih, lempung, batulanau, batugamping dan konglomerat yang berumur Miosen Tengah - Miosen Atas. Formasi Ftau terdiri dari lava, breksi gunungapi dan tuf berselingan dengan andesit yang berumur Miosen Tengah - Miosen Atas.

f) Kelompok Pleiosen (Tp)

Kelompok ini terdiri dari andesit dan konglomerat Formasi Leko. Andesit hanya terdapat di satu tempat dengan penyebaran yang sangat sempit dari andesit blotit yang berumur Pleiosen. Formasi Leko terdiri dari konglomerat, batupasir, dan batugamping yang berumur Pleiosen. Konglomerat secara umum berwarna abu-abu kecoklatan, terdiri dari fragmen berupa sekis, batugamping, kuarsa, batupasir yang berbentuk bulat yang berada dalam batupasir karbonatan. Batugamping klastik masif berwarna coklat muda, sangat keras, berukuran butir pasir kasar-sedang, dan karbonatan.

g) Batuan Gunungapi (Tpa)

Kelompok Batuan Gunungapi meliputi seluruh daratan Pulau A, kecuali pada beberapa bagian bibir pantai yang bagian atasnya ditumbuhi oleh batugamping terumbu (Ql). Batuan Gunungapi terdiri dari lava dan piroklastik berseling andesit yang berumur Pleiosen.

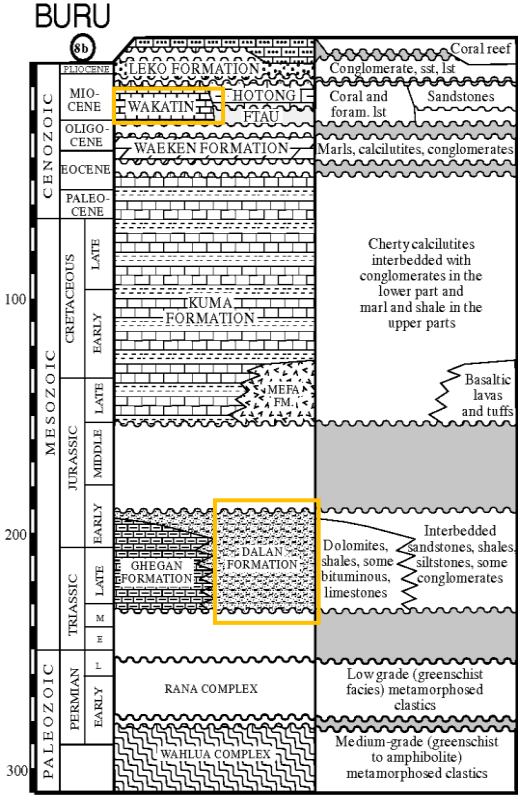
h) Kelompok Plistosen (Qp)

Kelompok ini terdiri dari batugamping terumbu dan endapan undak. Batugamping terumbu dapat ditemukan di sepanjang pantai utara sampai timur laut. Batugamping terumbu berumur Plistosen – Holosen dan menjemari dengan satuan Endapan Undak. Endapan undak tersebar di bagian pesisir utara ke arah timur. Endapan Undak terdiri dari bongkahan, kerikil, pasir, lanau dan lempung yang berumur Plistosen – Holosen.

i) Endapan Holosen (Qh)

Kelompok Endapan Holosen terdiri dari endapan danau dan aluvium. Endapan Danau terdiri dari kerikil, pasir, lanau, dan gambut. Sedangkan alluvium terdiri dari bongkahan material lepas, kerikil, pasir, lanau, dan lumpur yang berumur Holosen.

Berdasarkan hasil penyelidikan di lapangan, jenis batuan di daerah penelitian dapat dikelompokkan ke dalam 3 satuan batuan. Urutan satuan batuan atau stratigrafi dari tua ke muda adalah satuan batupasir-serpih (Formasi Dalan), satuan batugamping koral (Formasi Wakatin), dan endapan aluvium.



Gambar 2. 3 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian. Tanda kuning merupakan formasi pada titik pengukuran magnetik (Milsom, 2000)

2.1.1.3 Sejarah Geologi

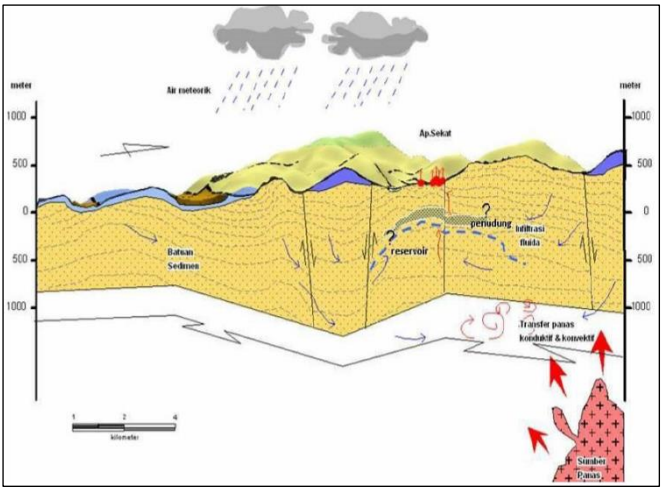
Aktivitas tektonik mempengaruhi geologi daerah penelitian. Poros lipatan pada batuan sedimen Pratersier, mulanya berarah sesuai dengan pola arah cekungan, yaitu barat laut – tenggara. Lipatan terbentuk akibat gaya yang berarah timurlaut – barat daya. Akibat proses tektonik, bersamaan dengan lipatan dan pengangkatan pada Tersier Akhir, poros lipatan terlipat dan arahnya berubah menjadi barat – timur yang disebabkan oleh gaya berarah utara - selatan. Hal ini terlihat pada struktur antiklin dan sinklin. Pada daerah penelitian ditemukan sesar normal dan mendatar. Sesar Mendatar yang berarah relatif utara – selatan. Diperkirakan sesar inilah yang mengontrol kemunculan beberapa mata air panas di Sungai (manifestasi air panas pada lokasi penelitian). Aktivitas teknonik juga mempengaruhi batuan. Terdapat batuan ubahan yang didominasi oleh batuan hasil silisifikasi batuan dan mineral lempung. Silisifikasi terdapat pada Sungai WD, sedangkan di Sungai WN terdapat juga jenis batuan ubahan yang

didominasi mineral lempung. Mineral ubahan lempung didominasi oleh *illite*. Dari dua tipe ubahan tersebut dapat diinterpretasikan bahwa paling sedikit terdapat dua tipe fluida yang pernah berinteraksi dengan batuan induk, yaitu fluida bersifat netral jenuh silika, dan fluida bersifat asam yang menyebabkan pembentukan mineral ubahan lempung (Sulaeman dkk., 2006).

2.1.1.4 Sistem Geotermal Lapangan "X"

Menurut Kasbani (2009) daerah penelitian termasuk tipe panasbumi non-vulkanik. Panas bumi non-vulkanik merupakan suatu sistem panasbumi yang tidak berhubungan dengan aktivitas vulkanisme Kuarter, terdapat di lingkungan sedimen, plutonik, dan metamorf yang berhubungan dengan proses tektonik dengan manifestasi yang dicirikan dengan kehadiran mata air panas.

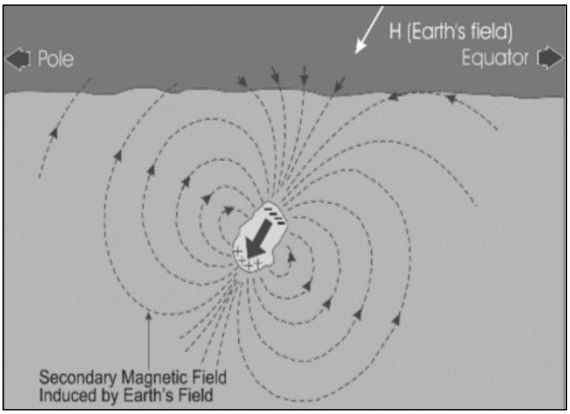
Kenampakan gejala panas bumi di daerah penelitian berupa sumber mata air panas yang muncul di beberapa lokasi. Pembentukan sistem panas bumi daerah "X" diawali dengan air permukaan yang meresap melalui zona permeabel dalam bentuk rekahan maupun ruang antar butir yang masuk ke dalam *resevoir* kemudian mengalami pemanasan termal secara konvektif dari sumber panas. Terjadinya perubahan tekanan dan berat jenis fluida memicu air panas naik ke permukaan dan sebagian tertahan oleh batuan penudung. Mata air panas muncul pada batuan sedimen (batupasir sisipan serpih) dengan temperatur berkisar antara 60 – 90°C dengan pH netral. Hasil pemetaan geologi disekitar manifestasi tidak ditemukan adanya aktivitas magmatisme sehingga perkiraan sumber panas adalah akibat aktivitas tektonik aktif dari sesar – sesar yang berkembang di daerah penyelidikan atau pada batuan intrusif yang tidak muncul ke permukaan seperti di derah panas bumi "WS" yang berada di bagian timur daerah penelitian (Tim Geologi dan Geokimia, 2009).



Gambar 2. 4 Model Konseptual Sistem Panasbumi (Tim Geologi dan Geokimia, 2009)

2.1.2 Metode Magnetik

Metode magnetik termasuk dalam metode geofisika yang bersifat pasif, dimana sumbernya berasal dari dalam bumi. Metode magnetik adalah salah satu metode geofisika untuk mengukur variasi medan magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Variasi intensitas medan magnet akan ditafsirkan dan kemudian dijadikan dasar bagi pendugaan keadaan geologi (Utama dkk., 2016). Metode ini memanfaatkan sifat kemagnetan yang terkandung dalam batuan di bawah permukaan bumi. Batuan di dalam bumi mengandung mineral-mineral yang sebagian juga memiliki sifat kemagnetan. Mineral tersebut terinduksi medan magnet bumi dan menimbulkan medan magnet sekunder. Hal inilah yang menjadi dasar metode magnetik. Metode magnetik didasarkan pada pengukuran variasi intensitas magnetik di permukaan bumi yang disebabkan adanya variasi distribusi (anomali) benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi (Sampurno, 2012). Anomali magnetik umumnya disebabkan karena adanya perbedaan nilai suseptibilitas. Nilai suseptibilitas merupakan nilai yang menyatakan kemampuan suatu benda atau batuan untuk dapat termagnetisasi.



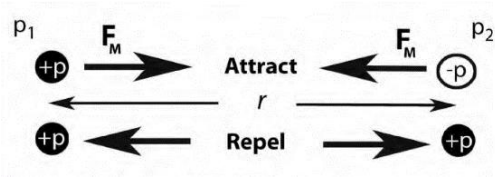
Gambar 2. 5 Induksi Magnet Bumi pada Mineral Magnetik (Sampurno, 2012)

Metode magnetik merupakan metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi panas bumi. Pengukuran magnetik bertujuan untuk memperkirakan struktur bawah permukaan serta mendeteksi batas litologi antara batuan intrusi dengan batuan lainnya berdasarkan data anomali magnetik. Hal ini dimaksudkan untuk memperkirakan lokasi sumber panas bumi serta membuat korelasi informasi geofisika dan informasi geologi. Metode magnetik ini baik digunakan pada studi geotermal karena memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perbedaan temperatur, dimana mineral-mineral feromagnetik akan kehilangan sifat kemagnetannya bila dipanasi mendekati temperatur *Curie*. Ketelitian pengukuran geomagnetik ini relatif tinggi dan pengoperasian di lapangan relatif sederhana, mudah dan cepat (Nurdiyanto dkk., 2004).

2.1.2.1 Teori Dasar Magnetik

A. Gaya Magnetik

Gaya magnetik merupakan gaya yang timbul dari hubungan antara dua kutub magnetik pada jarak tertentu, dimana bila tiap kutub magnetik memiliki arah berbeda maka akan terbentuk gaya yang saling menarik satu sama lain, sedangkan bila tiap kutub magnetik memiliki arah yang sama maka akan terbentuk gaya yang saling tolak-menolak satu sama lain (Hinze dkk., 2013). Hubungan antara gaya magnetik dan kutub magnetik dinyatakan dalam Hukum Coulomb yang berbunyi bahwa gaya magnetik berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara dua kutub magnetik.



Gambar 2. 6 Prinsip Hukum Coulomb (Hinze dkk., 2013)

Besarnya gaya magnetik dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\overrightarrow{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \qquad \text{(N)} \qquad (1)$$

Dimana $\overrightarrow{F}$ merupakan gaya magnet (N), $m_1 m_2$ merupakan muatan kutub magnetik (A m), μ_0 merupakan permeabilitas magnet pada ruang hampa (H/m), r merupakan jarak antar muatan (m), dan $\hat{r}$ adalah vektor dari m_1 ke m_2 .

B. Kuat Medan Magnetik

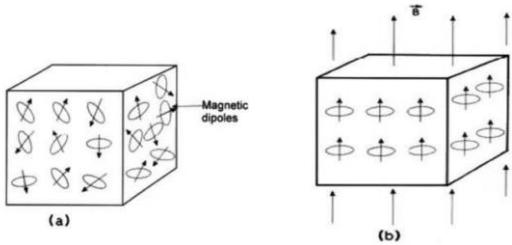
Kuat medan magnet ialah besarnya medan magnet pada suatu titik dalam ruang yang timbul sebagai akibat kutub *m* yang berada sejauh r dari titik tersebut. Kuat medan magnet $\overrightarrow{H}$ didefinisikan sebagai gaya pada satu satuan kutub seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\overrightarrow{H} = \frac{\overrightarrow{F}}{m1} \hat{r} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m_2}{r^2} \hat{r} \qquad \text{(A/m)} \qquad (2)$$

Kuat medan magnet ini sangat dipengaruhi oleh arah pergerakan dari momen magnetik dalam suatu material.

C. Momen Magnetik

Momen magnetik adalah interaksi antara atom-atom magnetik (Telfort dkk., 1990). Arah momen magnetik dari atom bahan non-magnetik adalah acak sehingga momen magnetik resultannya menjadi nol. Sebaliknya, di dalam bahan-bahan magnetik, arah momen magnetik atom-atom bahan itu teratur sehingga momen magnetik resultan tidak nol.



Gambar 2. 7 Momen magnetik (a) Bahan non-magnetik (b) bahan magnetik (Telfort dkk., 1990)

D. Intensitas Magnetik

Suatu benda atau material magnetik apabila ditempatkan pada suatu medan magnet dengan kuat medan $\overrightarrow{H}$, maka akan mengalami magnetisasi karena adanya proses induksi (Telfort dkk., 1990). Besarnya magnetisasi diukur oleh magnetik polarisasi $\overrightarrow{M}$ atau biasa disebut sebagai intensitas magnetik (*dipole* momen per *unit* volume). Magnetisasi yang dihasilkan sebanding dengan kuat medan yang mempengaruhinya dan bergantung pada nilai suseptibilitas magnetik. Besarnya intensitas magnetik dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\overrightarrow{M} = k\,\overrightarrow{H} \qquad \text{(A/m)} \qquad (3)$$

Dengan k merupakan suseptibilitas. Suseptibilitas memiliki besaran yang tidak berdimensi. Nilai k pada batuan semakin besar apabila dalam batuan tersebut banyak dijumpai mineral-mineral yang berisifat magnetik. Faktor yang mempengaruhi harga supseptibilitas batuan adalah litologi batuan dan kandungan mineral batuan.

E. Medan Magnetik Total

Medan magnetik yang terukur oleh magnetometer adalah medan magnet induksi termasuk efek magnetisasi yang diberikan oleh persamaan berikut:

$$\overrightarrow{B} = \mu_o\,(\overrightarrow{H} + \overrightarrow{M}) = \mu_o\,(1+k)\,\overrightarrow{H} = \mu_o \mu\,\overrightarrow{H} \qquad \text{(Tesla)} \qquad (4)$$

Dimana μ_o merupakan permeabilitas ruang hampa yan bernilai (4π x 10^{-7} H/m) dan μ merupakan permeabilitas relatif. Persamaan 4 menunjukkan bahwa apabila medan magnetik remanen dan luar bumi diabaikan, medan magnet total yang terukur oleh magnetometer di permukaan bumi adalah penjumlahan dari medan magnet bumi utama $\overrightarrow{H}$ dan variasinya ($\overrightarrow{M}$). Dimana $\overrightarrow{M}$ merupakan anomali magnet dalam eksplorasi menggunakan metode magnetik (Inaiyah, 2015).

F. Suseptibilitas

Nilai suseptibilitas (k) pada batuan semakin besar apabila dalam batuan semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik, dan nilai suseptibilitas magnetik dalam ruang hampa sama dengan nol karena hanya benda yang berwujud saja yang dapat termagnetisasi. Adapun nilai suseptibilitas dari beberapa material ditunjukkan dalam Tabel 2.1. (Telfort dkk., 1990).

Tabel 2. 1 Nilai Suseptibilitas Batuan. Tanda kuning merupakan jenis batuan hasil sampling di lokasi penelitian (Telfort dkk., 1990)

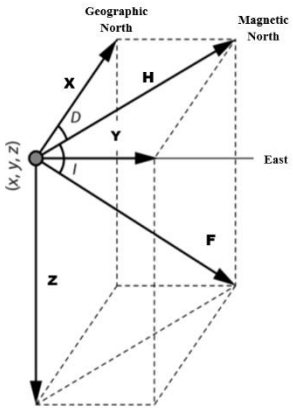
Jenis	Suseptibilitas (x 10^3) SI	
	Rentang	Rata-rata
Batuan Sedimen		
Dolomit	0 - 0.9	0.1
Limestone	0 – 3	0.3
Sandstone	0 – 20	0.4
Shale	0.01 – 15	0.6
Rata-rata 48 batuan sedimen	0 – 18	0.9
Batuan Metamorf		
Amphibolite		0.7
Sekis	0.3 – 3	1.4
Filit		1.5
Gneiss	0.1 – 25	
Kuarsa		4
Serpentinit	3 – 17	
Slate	0 – 35	6
Rata-rata 61 batuan metamorf	0 – 70	4.2
Batuan Beku		
Granit	0 – 50	2.5
Rhiolit	0.2 – 35	
Dolorit	1 – 35	17
Olivin-diabas		25
Diabas	1 – 160	55
Porphiri	0.3 – 200	60
Gabbro	1 - 90	70
Basalt	0.2 – 175	70
Diorit	0.6 – 120	85
Pyroxenite		125
Peridotite	90 – 200	150
Andesit		160
Rata-rata batuan beku asam	0 – 80	8
Rata-rata batuan beku basa	0.5 – 97	25
Mineral		
Graphite		0.1
Kuarsa		-0.01
Batu garam		-0.01
Anhydrite, gypsum		-0.01
Kalsit	(-0.001) – (-0.01)	
Coal		0.02
Lempung		0.2
Chalcopyrite		0.4
Sphalerite		0.7
Cassiterite		0.9
Siderite	1 – 4	
Pyrite	0.05 – 5	1.5
Limonite		2.5
Arsenopyrite		3
Hematite	0.5 – 35	6.5
Chromite	3 – 110	7
Pyrrhotite	1 – 6000	1500
Magnetite	1200 – 19200	6000

G. Medan Magnet Bumi

Medan magnet bumi dapat didefinisikan sebagai sebuah *dipole* magnet batang dimana di sekitar *dipole* tersebut terdapat garis gaya magnet yang seolah-olah bergerak dari kutub positif ke kutub negatif. Sumber utama proses magnetisasi batuan adalah medan magnet bumi. Berdasarkan koordinat kartesian

ketiga komponen tersebut dinyatakan X, Y, Z. Elemen-elemen medan magnet bumi terdiri dari:

1. Intensitas horizontal (H) adalah magnitudo dari medan magnet total pada arah horizontal.
2. Medan magnet total adalah magnitudo dari medan vektor magnet total
3. Inklinasi (I) adalah sudut antara medan magnet total dengan bidang horizontal yang dihitung dari horizontal menuju ke bidang vertikal ke bawah (sudut antara bidang horizontal dan vektor medan total)
4. Deklinasi (D) adalah sudut utara magnet bumi dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur (sudut antara utara geomagnet dan utara geografis)



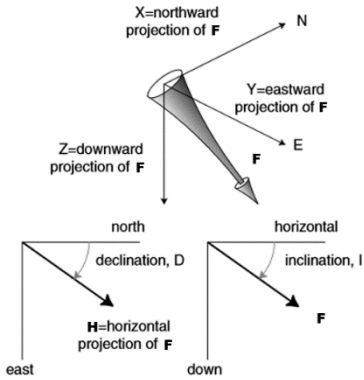
Gambar 2. 8 Elemen magnetik bumi (Telfort dkk., 1990)

Intensitas horizontal dapat dinyatakan dalam persamaan berikut

$$H_{horizontal} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} \quad (5)$$

Sedangkan intesitas medan magnet total dinyatakan dalam persamaan:

$$H_F = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (6)$$



Gambar 2. 9 Komponen (X,Y,Z) pada medan magnetik F (Blakely dan Simpson, 1986)

$$I = arctan \frac{H_z}{\sqrt{H_x^2 + H_y^2}} \quad (7)$$

$$D = arcsin \frac{H_y}{\sqrt{H_x^2 + H_y^2}} \quad (8)$$

Dengan I merupakan inklinasi, dan D adalah deklinasi.

H. Medan Magnetik Utama

Secara teoritis medan magnet utama bumi disebabkan oleh sumber dari dalam dan luar bumi. Medan magnet dari dalam bumi diduga dibangkitkan oleh aktivitas inti bagian luar bumi yang bersifat cair dan konduktif. Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu, dan variasinya relatif kecil, maka untuk menyeragamkan nilai-nilai medan magnet utama bumi, dibuat standar nilai yang disebut IGRF atau *International Geomagnetik Reference Field* (Telfort dkk., 1990). Nilai medan magnet utama ditentukan berdasarkan kesepakatan Internasional di bawah pengawasan *International Association of Geomagnetic and Aeronomy* (IAGA).

I. Medan Magnetik Luar

Medan magnetik luar bersumber dari luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat daripada medan magnetik utama. Sumber medan magnetik luar antara lain (Telfort dkk., 1990):

a. Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun dan berkorelasi dengan aktivitas matahari.
b. Variasi harian (*Diurnal Variation*) dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai *range* 20 – 30 nT serta dipengaruhi oleh aktivitas matahari pada lapisan ionosfer.
c. Variasi harian (*Diurnal Variation*) 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai *range* kira-kira 2 nT, yang diasosiasikan dengan interaksi bulan-ionosfer.
d. Badai magnetik (*Magnetic Strom*) yang bersifat acak yang merupakan gangguan *transient* dengan amplitudo sebesar 1000 nT pada semua garis lintang.

J. Badai Magnetik

Badai magnetik merupakan gangguan yang bersifat sementara dalam medan magnetik bumi dengan magnetik sekitar 1000 nT bahkan lebih besar pada daerah kutub dimana badai tersebut bergabung dengan aurora. Meskipun tidak tetap, badai magnetik ini sering terjadi dalam interval 27 hari dan berkaitan dengan aktivitas *sunspot* (Telfort dkk., 1990). Badai matahari secara langsung dapat mengacaukan pengamatan magnet bumi.

2.1.2.2 Pengolahan dan Pemodelan Data Magnetik

1. Koreksi Data Magnetik

Data hasil pengukuran lapangan belum berupa data yang menunjukkan nilai anomali magnetik, melainkan masih berupa data mentah yang terdapat pengaruh dari dalam dan luar bumi. Untuk mendapatkan nilai anomali magnetik tanpa pengaruh dari dalam dan luar bumi dibutuhkan koreksi terhadap data hasil pengukuran lapangan. Terdapat 2 koreksi utama yaitu Koreksi Harian (*Diurnal Correction*) dan Koreksi IGRF. Koreksi Harian berfungsi untuk menghilangkan pengaruh medan magnet yang berasal dari luar bumi seperti pengaruh ionosfer. Sementara Koreksi IGRF digunakan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet dari dalam bumi (Lita, 2012).

2. Koreksi Harian (*Diurnal Correction*)

Koreksi harian atau variasi harian merupakan variasi medan magnet yang sebagian bersumber dari medan magnet luar yang berasal dari perputaran arus listrik di dalam lapisan ionosfer. Ion – ion yang dihasilkan dari lapisan udara yang terionisasi oleh matahari sehingga ion – ion yang akan menjadi magnet ketika ada listrik di ionosfer. Variasi harian juga dipengaruhi oleh adanya aktivitas badai matahari dimana akan mengakibatkan nilai magnet yang tinggi (Lita, 2012). Menurut Kusuma (2017) koreksi harian didapatkan dengan menggunakan persamaan 10 hingga 12 dibawah ini. Langkah pertama dalam perhitungan koreksi harian ini yaitu mencari nilai *base* acuan (*base level*) dengan persamaan berikut

$$Ha = \left(\frac{H_{max} - H_{min}}{2}\right) \quad (9)$$

Dimana H_a merupakan nilai *base* acuan (nT), H_{max} merupakan nilai *base* maksimum (nT), sedangkan H_{min} merupakan nilai *base* minimum (nT). Setelah didapat nilai H_a kemudian dihitung nilai koreksi harian dengan mengurangkan data acuan dengan data harian. Nilai koreksi harian ditulis dalam persamaan berikut

$$H_{kh} = H_a - H_h \quad (10)$$

Dimana H_{kh} merupakan nilai koreksi harian (nT), H_a merupakan nilai *base* acuan (nT), dan H_h merupakan medan harian (nT). Setelah itu dilakukan interpolasi di tiap waktu pengambilan data, kemudian hasil interpolasi ditambahkan dengan medan magnetik. Nilai medan magnet terkoreksi pada waktu yang sama dapat ditulis dalam persamaan berikut

$$H_{th} = H_{\mathrm{i}} - H_{kh} \quad (11)$$

Dimana H_{th} merupakan nilai medan magnet terkoreksi harian pada waktu yang sama H_i (nT), H_i merupakan medan magnet terukur pada waktu tertentu (nT), dan H_{kh} merupakan koreksi harian pada waktu yang sama H_i (nT). Apabila nilai variasi harian negatif, maka koreksi harian dilakukan dengan cara menambahkan nilai variasi harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi. Sebaliknya apabila variasi harian bernilai positif, maka koreksinya dilakukan dengan cara mengurangkan nilai variasi harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi (Utama, dkk., 2016).

3. Koreksi IGRF

Koreksi IGRF merupakan koreksi secara regional yang dilakukan terhadap data magnet terukur untuk menghilangkan pengaruh medan magnet utama bumi. Koreksi ini dilakukan dengan cara mengurangkan nilai medan magnet yang terbaca dengan nilai IGRF pada titik tertentu. Data nilai IGRF dapat diperoleh dari situs *National Geophysical Data Center* (NGDC) untuk data geomagnetik. Data yang dihasilkan dari hasil kalkulasi merupakan data *realtime* karena dapat disesuaikan daerah (regional)nya sesuai waktu pengukuran yang berlangsung, sehingga bernilai lebih akurat. Parameter yang diperlukan untuk memperoleh nilai referensi IGRF di situs tersebut antara lain nilai lintang dan bujur wilayah pengukuran, ketinggian, serta tanggal bulan dan tahun pengukuran. Untuk mendapatkan nilai IGRF di suatu wilayah saat ini bisa dilakukan secara online melalui *website* http://www.noaa.gov.

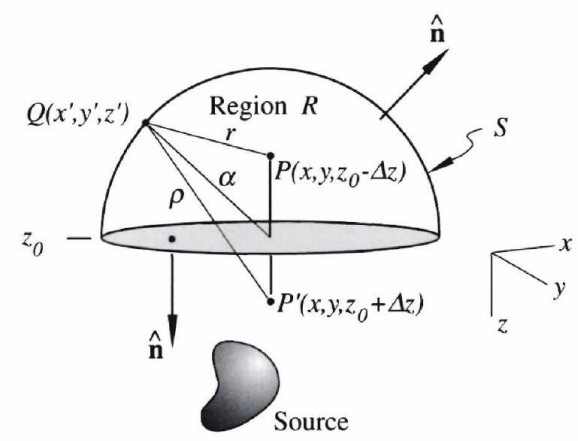
4. Anomali Magnetik Total

Anomali magnetik total didapat setelah melakukan koreksi harian dan koreksi IGRF. Nilai anomali magnetik dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\Delta H = H_{\mathrm{i}} \pm H_{kh} - H_{IGRF} \quad (12)$$

5. *Filter* Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Kontinuasi ke atas merupakan proses transformasi data medan potensial suatu bidang datar ke bidang datar yang lebih atas atau tinggi. Metode ini digunakan karena dapat mentransformasi medan potensial yang diukur pada suatu permukaan sehingga medan potensial di tempat lain di atas permukaan pengukuran akan cerderung menonjolkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dalam (regional) dengan menghilangkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dangkal (residual) dan *noise*. Semakin tinggi kontinuitas data, maka informasi lokal semakin hilang dan informasi regional semakin jelas (Campbell, 2001). Nettleton (1971) menyatakan bahwa kontinuasi ke atas selalu memberikan peta yang lebih halus dari aslinya. Prinsipnya, medan bisa dihitung pada ketinggian yang berbeda, jika tidak ada massa yang mengganggu dalam rentang kontinuasi. Menurut Ivan (1995) kontinuasi ke atas merupakan filter *low-pass* dengan tingkat akurat yang tinggi.



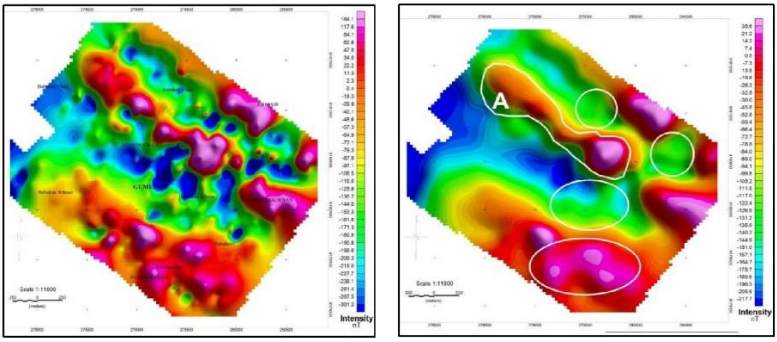
Gambar 2. 10 Kontinuasi ke atas dari permukaan horizontal (Blakely, 1995)

Perhitungan nilai medan potensial di titik bidang kontinuasi dapat ditulisakn pada persamaan berikut

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{|\Delta z|}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{R^3}\, dx' dy' \quad (13)$$

Dengan $U(x, y, z_0)$ merupakan besar potensial pada bidang hasil kontinuasi, Δz adalah ketinggian pengangkatan, $U(x', y', z_0)$ merupakan medan potensial pada bidang observasi (Δz = 0), sedangkan R = $\sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + \Delta z^2}$.

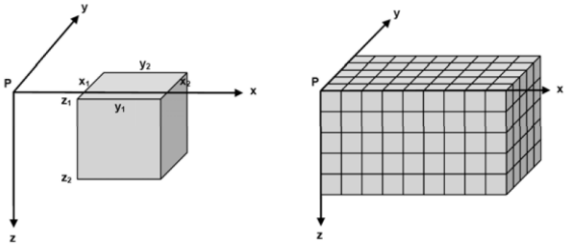
Filter kontinuasi ke atas dilakukan untuk memisahkan anomali regioanal dan residual. Anomali hasil kontinuasi ke atas menggambarkan anomali regional (Daud dkk., 2017) sedangkan untuk mendapatkan anomali residual dilakukan dengan *grid math* yaitu mengurangkan anomali total dengan anomali regional.



Gambar 2. 11 Peta anomali (kiri) sebelum dilakukan filter kontinuasi ke atas (b) setelah dilakukan filter kontinuasi ke atas 100m (Kusdyantono, 2016 dalam Sayoga, 2018)

6. Pemodelan Inversi 3D (*Invers Modelling*)

Inversi merupakan suatu proses pengolahan data lapangan dengan melibatkan teknik penyelesaian secara matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan. Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (Supriyanto, 2007). Pada metode magnetik inversi merupakan cara yang digunakan untuk memperkirakan model respon magnetik yang paling cocok dengan data observasi. Cara untuk mencocokan data tersebut dapat dinyatakan dengan fungsi objektif yang merupakan fungsi dari selisih antara teoritis dengan data observasi. Menurut Grandis (2009) model bawah permukaan didiskretisasi menjadi susunan prisma tegak atau kubus dalam ruang 3D dimana geometri model tetap sehingga parameter model adalah intensitas magnetisasi yang homogen untuk tiap kubus.



Gambar 2. 12 Geometri model satuan 3D berbentuk kubus untuk perhitungan respon magnetik di titik *P* (kiri) dan diskretisasi medium 3D (kanan)

Grandis (2009) menjelaskan hubungan linier antara data (*d*) dengan parameter model atau intensitas magnetisasi (*m*) dirumuskan sebagai berikut:

$$d = G\,m \tag{14}$$

Dimana G merupakan matriks *kernel* (*N x M*) yang memetakan sumber anomali menjadi data observasi, dengan *N* adalah jumlah data dan *M* merupakan jumlah parameter model. Titik pengamatan terletak hanya di permukaan bumi pada bidang *x-y* dengan jumlah data *N*. Sementara jumlah parameter model adalah $M = nx \times ny \times nz$, dimana *nx*, *ny* dan *nz* masing-masing adalah jumlah kubus hasil diskretisasi dalam arah *x*, *y* dan *z*. Pada pengukuran magnetik jumlah partameter model *M* jauh lebih besar dari pada jumlah data *N* sehingga inversi bersifat *under-determined*. Solusi inversi dinyatakan oleh persamaan berikut:

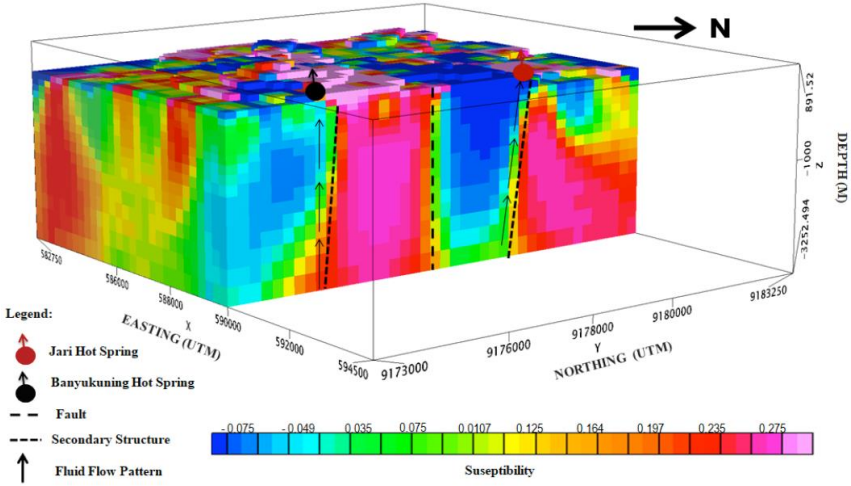
$$m = G^T[G\,G^T + \lambda\,I]^{-1}\,\mathrm{d} \tag{15}$$

Dengan I merupakan matriks identitas, sedangkan λ merupakan faktor redaman yang digunakan untuk mengurangi pengaruh *noise* terhadap model inversi dalam bentuk *over-fitting*, yaitu model yang merefleksikan data secara berlebihan termasuk *noise*-nya. Perhitungan inversi matriks pada persamaan diatas menggunakan teknik *Singular Value Decomposition* (Grandis, 2009). Menurut Manrulu (2014) metode inversi *occam* dilakukan untuk memaksimalkan kecocokan antara data hasil pengukuran dan data hasil perhitungan. Fungsi lain dari metode inversi *occam* yaitu memperkecil tingkat kekasaran model yang dihasilkan. Dalam inversi pada VOXI, nilai λ tidak ditetapkan di awal inversi, melainkan akan berubah dari iterasi 1 ke iterasi lainnya. Model dengan *data fit* mendekati nilai 1 nantinya yang akan dipilih (Pithawala, 2014). *Data fit* bernilai 1 menandakan data perhitungan sesuai dengan data observasi.

2.2 Penelitian Terdahulu

Telah dilakukan penelitian mengenai kondisi bawah permukaan berdasarkan data magnetik pada daerah panas bumi Gunung Pandan, Jawa Timur

oleh Maubana dkk (2019). Penelitian ini menggunakan PPM G-856 dengan titik pengukuran sebanyak 80 titik yang berada pada luasan 9 x 10 km^2. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi resevoir panas bumi yang meliputi lokasi resevoir, kedalaman dan ketebalan resevoir, serta pola aliran fluida dari resevoir ke manifestasi. Didapatkan hasil intensitas magnetik total pada daerah penelitian berkisar antara -446,7 nT hingga 526,3 nT. Perbedaan nilai intensitas magnetik total ini disebabkan oleh perbedaan kandungan mineral di bawah permukaan. Anomali magnetik rendah menjadi fokusan pada penelitian ini. Pemodelan inversi 3D dilakukan untuk mendapatkan nilai kerentanan magnetik (suseptibilitas) bawah permukaan, lokasi *resevoir*, kedalaman dan ketebalan *resevoir* panas bumi, keberadaan struktur sekunder, serta mengidentifikasi pola aliran fluida dari *resevoir* ke permukaan (manifestasi). Model inversi 3D menggunakan data anomali residual. Hasil model inversi 3D pada Gunung Pandan dapat dilihat pada Gambar 2.13 dibawah ini.

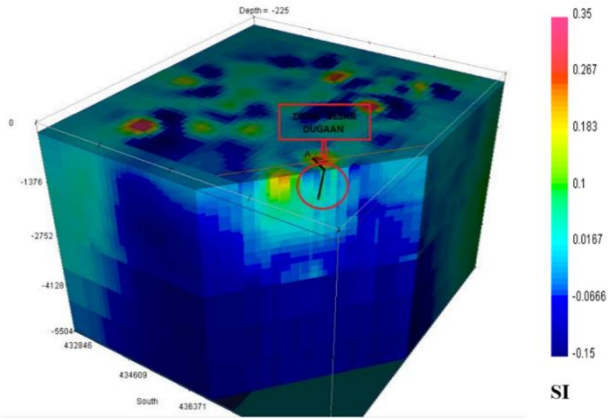


Gambar 2. 13 Hasil Model Inversi 3D Gunung Pandan (Maubana dkk., 2019)

Berdasarkan inversi 3D menunjukkan batuan *resevoir* berada pada kedalaman 500 m hingga 3252,5 m dari permukaan. Dengan kisaran nilai suseptibilitas dan informasi geologi, jenis batuan *resevoir* untuk sistem panas bumi Gunung Pandan adalah breksi vulkanik dan batupasir tufa. Adanya struktur sekunder (patahan) bertindak sebagai jalur fluida panas untuk naik ke permukaan atau manifestasi.

Peneliti Widodo dkk (2016) menggunakan metode magnetik untuk analisis struktur bawah permukaan daerah Harjosari, Kabupaten Semarang. Hasil penelitian berupa anomali medan magnet total yang menunjukkan pasangan klosur positif dan klosur negatif yang mengindikasikan adanya zona sesar di

bawah permukaan. Dilakukan pemodelan 3 dengan menggunakan perangkat lunak *UBCMag3D* untuk mengetahui struktur bawah permukaan lebih jelas dengan memasukkan nilai error, parameter nilai suseptibilitas dan kerapatan model. Hasil model 3D pada daerah Harjosari ditunjukkan pada Gambar 2.14. Pada hasil tampilan 3D struktur bawah permukaan ditemukan adanya perbedaan yang sangat kontras pada nilai suseptibilitas di kedalaman 225 meter hingga 1200 meter. Perbedaan nilai suseptibilitas tersebut diduga terdapatnya struktur sesar di bawah permukaan.

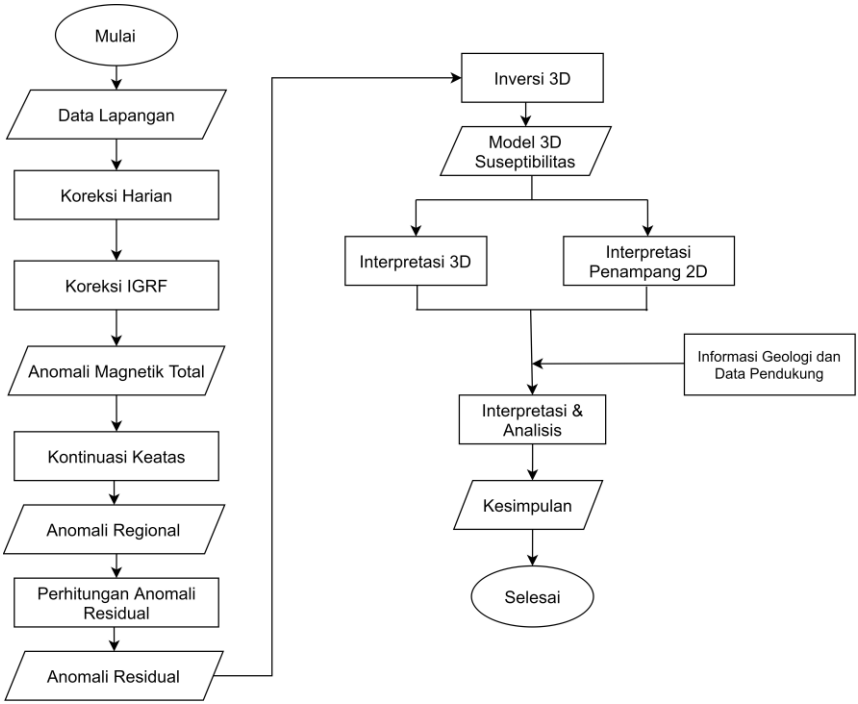


Gambar 2. 14 Model Inversi 3D Harjosari (Widodo dkk., 2016)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini secara garis besar dilakukan dengan tahapan-tahapan seperti yang ditujukan pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini tahap awal yang dilakukan setelah mendapatkan data mentah yaitu studi literatur berupa jurnal, laporan dan peta geologi. Bahan-bahan studi literatur ini digunakan untuk menentukan target penelitian dan juga membantu dalam proses analisis dan interpretasi dari hasil pengolahan. Tahap selanjutnya berupa pengolahan data metode magnetik. Data dasar pada metode magnetik yang digunakan yaitu data medan magnetik pada titik pengukuran yang selanjutnya dikoreksi harian dan IGRF. Hasil dari koreksi berupa data anomali magnetik total yang nantinya digunakan untuk membuat peta anomali. Peta Anomali Magnetik Total selanjutnya dilakukan kontinuasi ke atas untuk mendapatkan peta anomali regional. Untuk mendapatkan peta anomali residual dilakukan pengurangan anomali magnet total dengan anomali regional. Peta Anomali Residual digunakan sebagai peta dasar dalam pembuatan model inversi 3D dan penampang 2D. Model inversi 3D dilakukan dengan menggunakan fitur

VOXI3D, sedangkan model 2D menggunakan *slicing* pada hasil inversi 3D. Hasil dari pengolahan data metode magnetik berupa Peta Anomali Magnetik Total, Peta Anomali Regional, Peta Anomali Residual, model 3D, dan model penampang 2D.

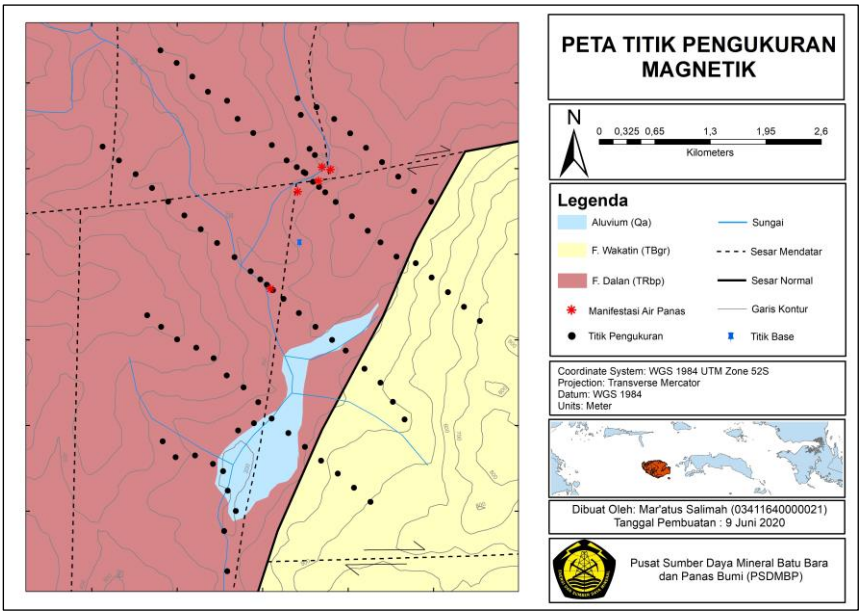
3.2 Data dan Lokasi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sekunder hasil pengukuran metode magnetik yang dilakukan oleh Tim Penyelidikan Geofisika Terpadu Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) Bandung pada tahun 2009. Pengukuran magnetik dilakukan dengan menggunakan dua set alat *Magnetometer* Proton tipe G-856 dengan ketelitian 0.1 nT. Data magnetik berisi beberapa parameter antara lain; koordinat, *time*, elevasi, nilai H pada titik pengukuran, dan nilai variasi harian (*base*). Selain itu terdapat data sampel batuan (Lampiran 1) dan pengukuran suseptibilitas pada 5 sampel batuan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut. Hasil pengukuran suseptibilitas sesuai dengan rentang nilai pada Tabel 2.1.

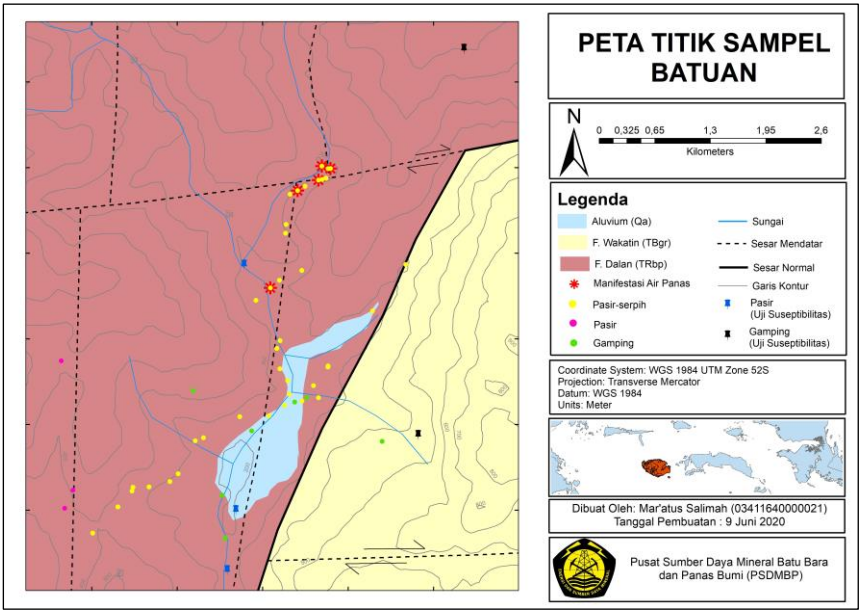
Tabel 3. 1 Nilai Suseptibilitas Sampel Batuan (demi kepentingan privasi lokasi penelitian milik perusahaan maka untuk koordinat disamarkan angkanya)

No	X (m)	Y (m)	Suseptibilitas (SI)	Keterangan
1	****88	*****97	0,0002	Batu Pasir
2	****86	*****95	0,0001	Batu Pasir
3	****20	*****75	0,00028	Gamping
4	****83	*****62	0,00001	Batu Pasir
5	****57	*****84	0,00002	Gamping

Lokasi penelitian berada di Lapangan “X” Maluku dengan titik pengukuran metode magnetik sebanyak 91 titik yang terdiri dari 17 titik acak dengan interval titik 250 meter, dan 74 titik yang terletak di 4 lintasan dengan interval titik 100 – 250 meter. Interval antar lintasan yaitu 500 – 1000 meter. Peta titik pengukuran magnetik pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pada gambar tersebut terlihat pada line pengukuran daerah *interest* (manifestasi air panas) lebih panjang dan jarak titik pengukuran lebih rapat dibandingkan dengan yang lain. Selain itu titik pengukuran dilakukan dengan memotong arah struktur sesar.



Gambar 3. 2 Peta Titik Pengukuran



Gambar 3. 3 Peta Titik Sampel Batuan

3.3 Pengolahan Data

3.3.1 Koreksi Harian (*Diurnal)*

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan merupakan data medan magnet total yang masih dipengaruhi oleh medan magnet luar dan medan magnet utama bumi, sehingga untuk mendapatkan anomali magnetik perlu menghilangkan pengaruh – pengaruh tersebut. Koreksi harian (*diurnal*) digunakan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar. Koreksi harian dilakukan dengan menggunakan persamaan (12).

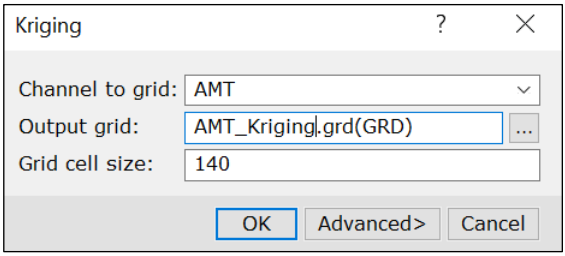
3.3.2 Koreksi IGRF

Koreksi IGRF digunakan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet utama. Koreksi ini dilakukan dengan memasukan nilai inklinasi, deklinasi, latitude, longitude, elevasi, dan tanggal pengukuran. Inklinasi dan deklinasi didapat dengan akses *website* NOAA (http://www.noaa.gov/).

3.3.3 Anomali Magnetik Total

Anomali magnetik total diperoleh setelah proses koreksi harian dan koreksi IGRF. Nilai anomali magnetik didapat dengan menggunakan persamaan (13). Selanjutnya dilakukan proses *gridding* untuk mendapatkan peta persebaran anomali magnetik total. Dalam penelitian ini jenis *griding* yang digunakan yaitu *kriging*.

Data koordinat (X,Y), elevasi, dan nilai anomali magnetik disimpan dengan format *excel 2003*. Langkah pertama yaitu membuat *project* baru dan *database*. Kemudian *import* data dengan cara pilih menu *database* → *import database* pilih *excel spreedsheet* → *single sheet* → *select sheet & coloumns* dan *OK*. Proses *gridding* dilakukan dengan pilih menu *grid & images* → *gridding* → *kriging* → pilih *channel to grid* nilai anomali, kasih nama pada *output* datanya, inputkan nilai *grid cell* sebesar 140, *OK*. *Input* data dan parameter dalam proses *gridding* dapat dilihat pada Gambar 3.4. Setelah proses tersebut maka akan muncul Peta Anomali Magnetik Total hasil interpolasi atau *gridding*.

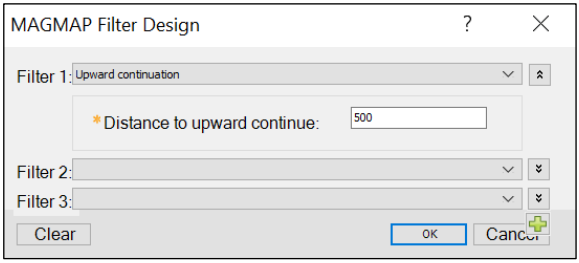


Gambar 3. 4 *Input* Data dan Parameter *griding* Anomali Magnetik Total

3.3.4 Kontinuasi Ke Atas

Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan dengan menggunakan filter kontinuasi ke atas. Proses kontinuasi ke atas dilakukan untuk mereduksi efek anomali magnetik lokal yang tidak terkait dengan target survei dan menguatkan anomali magnetik dari sumber yang dalam. Ketinggian yang dipilih dalam proses kontinuasi ke atas tidak boleh terlalu tinggi, karena dapat menghilangkan fitur anomali yang menjadi target penelitian. Pada penelitian ini kontinuasi ke atas divariasikan dari ketinggian 100m sampai dengan 1000m untuk melihat pola perubahan anomali pada ketinggian yang berbeda-beda. Proses kontinuasi ke atas dirasa cukup apabila pola anomali yang menjadi target penelitian sudah tidak lagi dipengaruhi oleh sumber anomali yang bersifat dangkal dan perubahan kontur anomali cenderung stabil.

Langkah yang dilakukan yaitu pilih menu MAGMAP → *1-Step filtering* → masukan *gridfile* Peta Anomali Magnetik Total yang sebelmnya telah dibuat, kasih nama pada *output*, pilih *name filter control* magmap.con, lalu pilih submenu *filter* → pada kolom filter 1 pilih *Upward Continuation*, lalu *input* parameter nilai ketinggian seperti pada gambar 3.5.



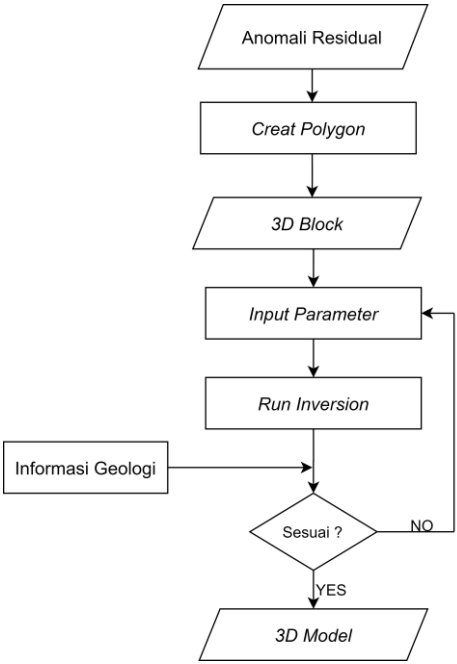
Gambar 3. 5 Parameter Kontinuasi ke Atas

3.3.5 Anomali Regional dan Residual

Anomali hasil kontinuasi ke atas menggambarkan anomali regional (Daud, dkk. 2017). Selanjutnya untuk mendapatkan Peta Anomali Residual dilakukan dengan cara pilih menu *grid & images* → *grid math* → membuat formula G0 = G1 – G2 → kasih nama G0 sebagai anomali residual, input G1 dengan *gridfile* Peta Anomali Magnetik Total dan G2 dengan *gridfile* Peta Anomali Regional, *OK*. Setelah itu akan muncul Peta Anomali Residual.

3.3.6 Pemodelan 3D

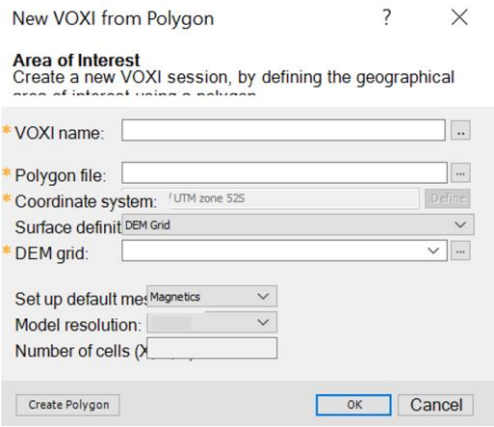
Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan fitur *VOXI 3D*. Proses inversi 3D ini dilakukan secara *online* dengan *sign-in* terlebih dahulu dengan *ID Geosoft*. Data yang digunakan dalam pembuatan model 3D yaitu Peta Anomali Residual, Peta Elevasi, dan data *polygon* batas Peta Anomali Residual. Langkah – langkah yang dilakukan untuk membuat model 3D dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 3.6 berikut:



Gambar 3. 6 Diagram Alir Pemodelan 3D

a. *Polygon*

Langkah – langkah dalam membuat *polygon* yaitu pertama pilih menu *VOXI* → *New Voxi from polygon* → *create polygon* → menggambar *polygon* sesuai batas Peta Anomali Residual. Setelah itu buat *surface definition* untuk model 3D dengan cara *input* DEM *grid* dengan data *grid* elevasi → *set up mesh* pilih magnetik → tentukan dan pilih *model resolution* untuk model 3D → *OK*. *Input* data dan parameter untuk proses membuat *polygon* model 3D dapat dilihat pada Gambar 3.7. Dalam penelitian ini *model resolution* yang dipilih yaitu 200 m. Penentuan *model resolution* akan berpengaruh pada jumlah *cell* inisial model awal. Lokasi pengambilan data memiliki luasan ± 4 x 6 km^2 sehingga *number of cell* atau dimensi (x,y,z) yang didapatkan yaitu 24, 33, 30.



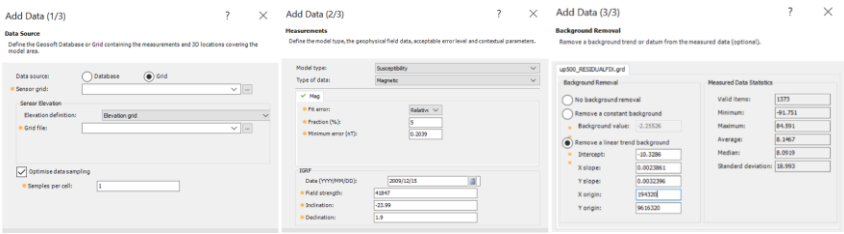
Gambar 3. 7 Input Data dan Parameter untuk *polygon* Model 3D

b. ***3D Block***

Setelah membuat *polygon* akan muncul 3D blok dengan jumlah *cell* (x, y, z) yaitu 24, 33, 30. Blok 3D yang dihasilkan masih dalam keadaan kosong.

c. ***Input Parameter***

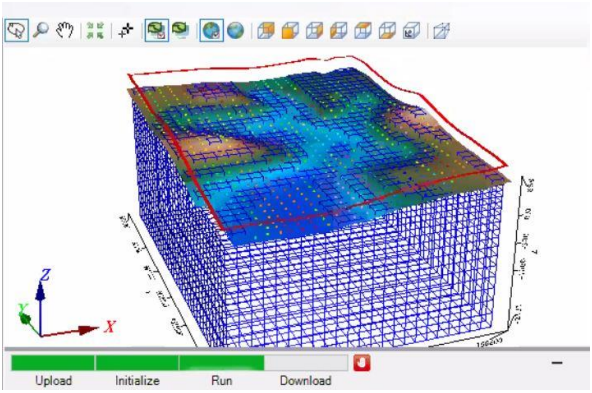
Setelah muncul 3D blok yang masih kosong akan ada pemberitahuan *add data to voxi* → *yes* kemudian akan muncul seperti Gambar 3.8. Pilih data *source grid* → pilih sensor grid dengan Peta Anomali Residual → *elevation definition* pilih *elevation grid* → *gridfile* Peta Elevasi → NEXT. Setelah itu *input* parameter pengukuran untuk model 3D dengan cara pilih *model type* → suseptibilitas → *type data* pilih magnetik → masukan tanggal waktu pengukuran dilapangan → *calculate* kemudian akan muncul nilai *field strength*, inklinasi dan deklinasi. Pengambilan data di lapangan dilakukan pada tanggal 15 Desember 2009 sehingga *field strength* bernilai 41847, besar sudut inklinasi yaitu -23,99º dan deklinasi 1,9º. Setelah itu inputkan pengaturan dari geometri 3D, OK. Pada penelitian ini menggunakan *remove a linear trend background.* Menurut *Geosoft guidebook* pilihan ini akan menghapus *trend linear* dari data pengamatan untuk menghilangkan *long-wavelength*.



Gambar 3. 8 Parameter Inversi 3D

d. *Run Inversion*

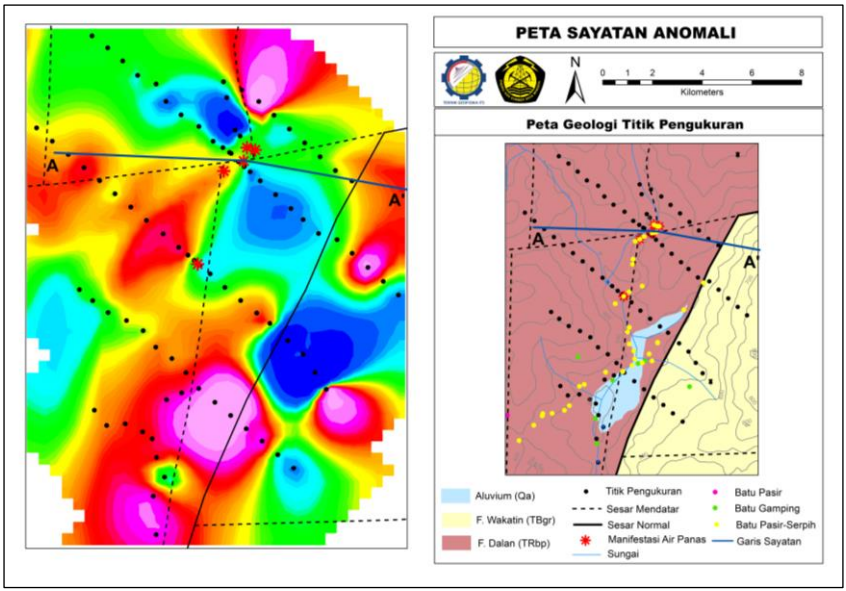
Run inversion dilakukan setelah *input* parameter. Langkah-langkah yang dilakukan yaitu pilih menu model pada jendela 3D *view voxi* → *Run Inversion* → maka secara online akan diproses download hasil inversi ke model 3D. Proses *run inversion* dapat dilihar seperti pada gambar 3.9. Setelah itu akan muncul hasil model 3D.



Gambar 3. 9 Proses *Run Inversion* secara *Online*

3.3.7 Pemodelan 2D

Pemodelan 2D dilakukan dengan sayatan pada hasil inversi 3D. Dalam penelitian ini dilakukan sayatan 1 lintasan yang melewati manifestasi air panas seperti pada Gambar 3.10. Langkah – langkah dalam 2D yaitu pertama membuat lintasan dengan cara *creat database* → pilih menu *grid&image* → *grid profile* → membuat line sesuai yang diinginkan. Selanjutnya pilih menu 3D → masukkan voxel hasil 3D. Kemudian pilih menu *section tool* → *extract section from voxel* → pilih di menu *section selection* → *displayed line from database*.



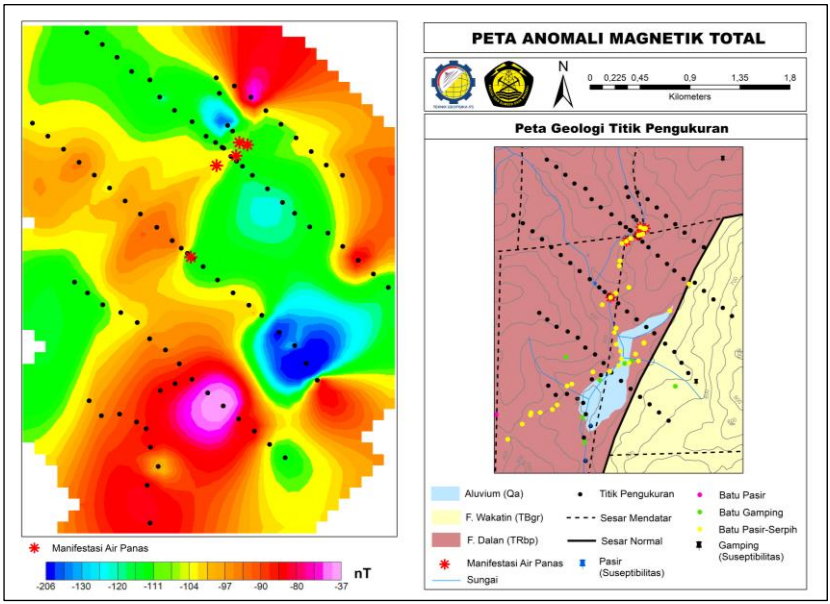
Gambar 3. 10 Peta Sayatan Anomali

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Anomali Magnetik Total

Anomali magnetik diperoleh setelah dilakukan koreksi harian dan koreksi IGRF. Anomali magnetik yang dihasilkan masih bercampur antara medan magnet yang bersifat lokal (residual) dan regional.



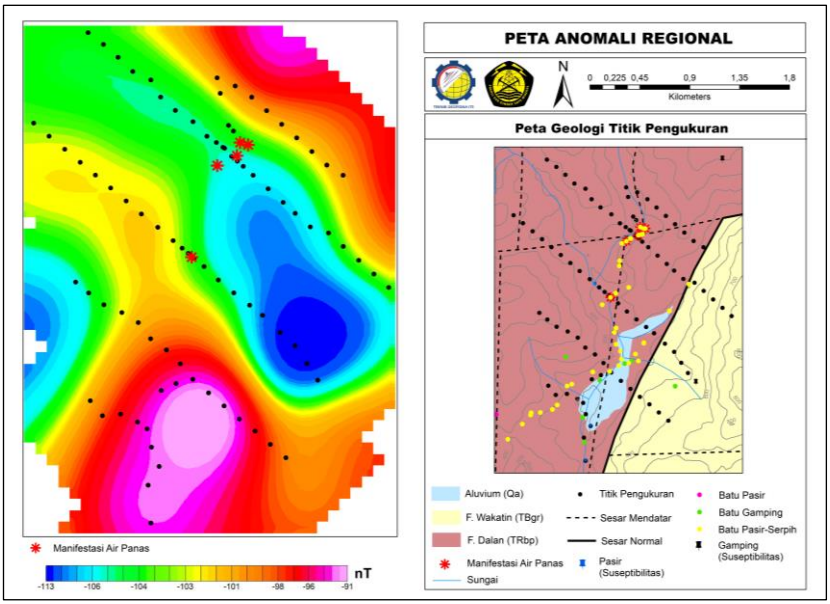
Gambar 4. 1 Peta Anomali Magnetik Total

Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa pola anomali magnetik total cenderung berarah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Nilai intensitas anomali magnetik pada daerah penelitian yaitu -206 nT hingga -37 nT dengan dikelompokkan menjadi tiga zona anomali, yaitu: anomali rendah yang ditunjukkan oleh warna biru tua hingga biru muda dengan nilai anomali magnet -206 nT hingga -120 nT. Anomali sedang ditunjukkan oleh warna hijau hingga warna orange dengan nilai anomali magnet -120 nT hingga -90 nT. Sedangkan anomali tinggi ditunjukkan oleh warna merah hingga warna ungu dengan nilai anomali magnet -90 nT hingga -37 nT. Anomali rendah terdapat di bagian tenggara merupakan batu gamping. Ditinjau dari peta geologi, anomali rendah ini berada pada Formasi Wakatin yang tersusun oleh batu gamping terumbu. Selain itu hasil sampel batuan menunjukkan pada anomali rendah ini terdapat batu gamping. Anomali sedang tersebar dengan hampir mendominasi daerah penelitian merupakan batu pasir dan serpih, sedangkan anomali tinggi dengan pola memusat yang berada di bagian selatan diduga sebagai batuan pasir dan

serpih yang kompak. Untuk memperkuat analisa diperlukan pengolahan lebih lanjut yaitu pemisahan anomali.

4.2 Anomali Regional

Anomali magnetik total selanjutnya dilakukan kontinuasi ke atas dengan tujuan untuk memisahkan anomali regional dan anomali residual. Proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan variasi 100m, 300m, 500m, 600m, 800m, 1000m. Pada peta hasil kontinuasi ke atas (lihat Lampiran 2) dapat dilihat bahwa pola kontur terlihat semakin halus dengan bertambahnya ketinggian. Hasil kontinuasi ke atas yang dianggap paling optimum yaitu pada ketinggian 600m. Hal ini karena pada ketinggian tersebut sudah tidak terdapat anomali lokal. Sedangkan pada ketinggian 800 m muncul anomali baru di bagian barat laut dan pada ketinggian 1000 m anomali baru tersebut terlihat semakin jelas dan semakin banyak informasi yang hilang. Peta hasil kontinuasi ke atas ini merupakan peta anomali regional.



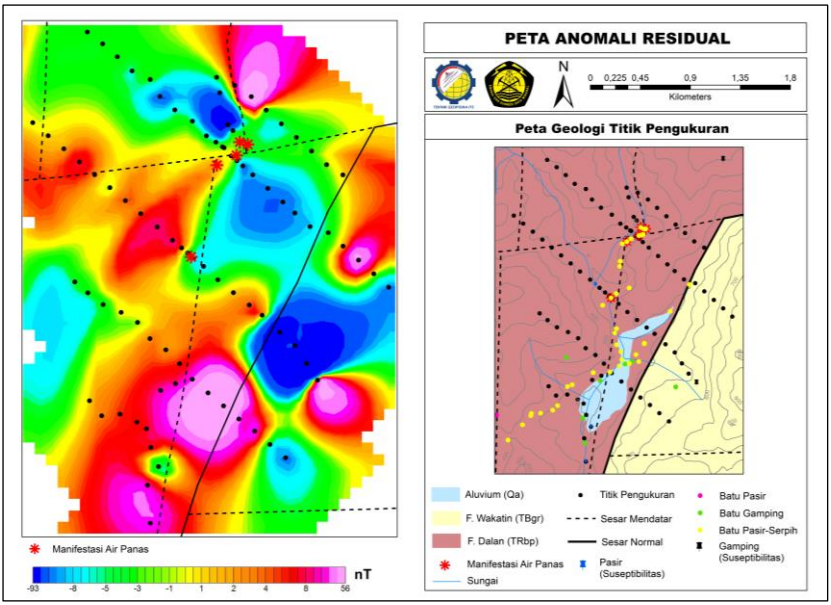
Gambar 4. 2 Peta Anomali Regional

Gambar 4.2 menunjukkan peta anomali regional. Nilai intensitas pada anomali regional yaitu -113 nT hingga -91 nT. Rentang nilai intensitas pada anomali regional lebih rendah dibandingkan pada anomali magnetik total, hal ini menandakan pada anomali regional terjadi demagnetisasi. Anomali regional memperlihatkan pola dengan arah baratlaut-tenggara. Anomali rendah dengan nilai intensitas -113 nT hingga -106 nT merupakan batuan gamping, hal ini diperlihatkan oleh hasil sampel batuan di permukaan. Anomali sedang dengan

nilai intensitas -106 nT hingga -101 nT berada pada bagian tengah di daerah manifestasi yang menerus kearah manifestasi air panas di bagian selatan diduga sebagai batuan yang mengalami proses demagnetisasi karena adanya aktifitas hidrotermal. Anomali tinggi dengan nilai intensitas -101 nT hingga -91 nT berada pada bagian selatan merupakan batu pasir dan batu serpih, dimana di bagian tenggara diduga sebagian terisi oleh batu gamping. Pada anomali regional terlihat adanya kontras anomali rendah dan tinggi. Menurut Manyoe, dkk (2017) adanya kontras anomali mengindikasikan adanya struktur sesar dan batas litologi. Kontras anomali magnetik yang terlihat jelas di bagian tenggara diduga sebagai batas antara batu pasir (Formasi Dalan) dan batu gamping (Formasi Wakatin). Anomali rendah yang berbatasan dengan anomali tinggi di bagian timur diduga adanya struktur sesar yang berarah baratlaut-tenggara.

4.3 Anomali Residual

Peta anomali residual diperoleh dengan mengurangkan anomali magnetik total dengan anomali regional (kontinuasi ke atas 600 m).



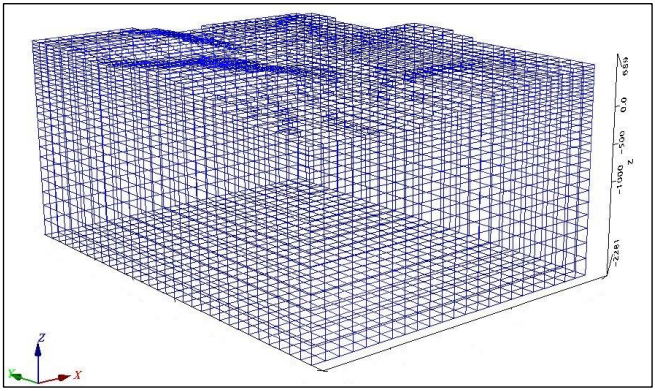
Gambar 4. 3 Peta Anomali Residual

Pada Gambar 4.3 terlihat nilai intensitas pada anomali residual yaitu -90 nT hingga 56 nT dengan pola anomali yang lebih beragam. Anomali residual memperlihatkan anomali rendah dengan nilai -90 nT hingga -5 nT berada disekitar manifestasi air panas, yang meluas kearah tenggara dan baratdaya (terhadap manifestasi) merupakan batuan pasir dan serpih. Hal ini ditunjukkan oleh batuan yang terlihat dipermukaan (hasil sampel batuan). Ditinjau dari pola

anomali yang memusat diduga batuan ini mengalami alterasi karena adanya proses hidrotermal. Anomali sedang dengan nilai -5 nT hingga 4 nT yang berada di bagian barat laut menyebar kearah timur dan baratdaya diduga merupakan batuan yang masih didominasi oleh batu pasir dan serpih. Anomali tinggi dengan nilai intensitas 4 nT hingga 56 nT yang berada di bagian selatan dengan anomali memusat diindikasikan sebagai batu pasir dan serpih yang kompak. Anomali rendah yang berbatasan dengan anomali tinggi di bagian utara menunjukkan adanya struktur sesar yang berarah hampir utara-selatan. Ditinjau dari *overlay* peta geologi terlihat bahwa pada perbedaan anomali ini terdapat sesar.

4.4 Pemodelan Inversi 3D

Data *input* yang digunakan pada proses inversi yaitu peta anomali residual. Pembuatan *polygon* dilakukan untuk menentukan batas data (peta anomali residual) yang akan dilakukan inversi. Pada inisial model awal jumlah *cell* atau blok di sumbu X yaitu 24, sumbu Y sebanyak 33, dan sumbu Z sebanyak 30, sehingga jumlah blok pada model awal yaitu 23760 seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.4. Data DEM digunakan untuk menggambarkan keadaan topografi daerah penelitian.



Gambar 4. 4 Model Awal Pemodelan 3D

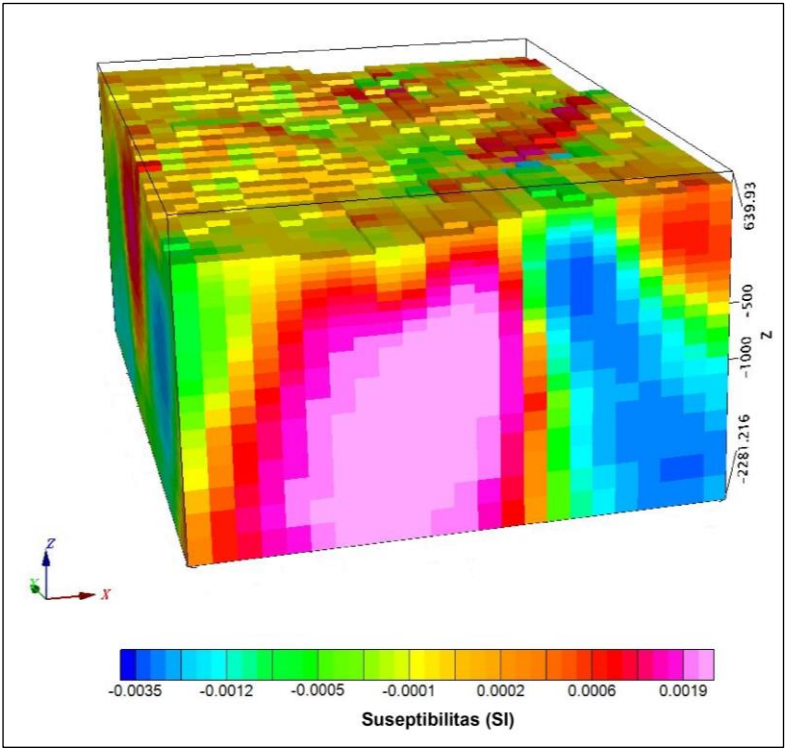
Blok 3D yang dihasilkan masih dalam keadaan kosong. Sebelum dilakukan inversi, *input* data parameter terlebih dahulu diantaranya sumber data, informasi mengenai pengukuran dan *background removal.* Nilai *error* yang digunakan dalam pemodelan 3D ini yaitu 5% dari nilai standar deviasi. Nilai standar deviasi pada data statistik yaitu 18,993, sehingga nilai *error* yaitu 0,95%. Inversi dilakukan secara *online* dengan *login* menggunakan *ID Geosoft.* Pada inversi *report* dapat dilihat iterasi dilakukan hingga nilai *data fit* mendekati 1. Pada inversi ini iterasi dilakukan sebanyak 4 kali. Inversi *report* ditunjukkan pada Gambar 4.5.

```
Solving the matrix system ...
Iter  RegScal      DataFit      ModelNorm    Time
0                2.5535e+02   0.0000e+00   0.00
1  1.0341e+08    2.0139e+01   2.2073e-04   0.17
2  1.2926e+07    3.1069e+00   7.0459e-04   0.41
3  3.2315e+06    7.1177e-01   1.1503e-03   0.80
4  4.4495e+06    1.0178e+00   1.0419e-03   1.14
************************************************************
INVERSION STATUS: SUCCESS
************************************************************
Downloading inversion results...
Job 2a718040 closed
```

Gambar 4. 5 Hasil inversi *report*

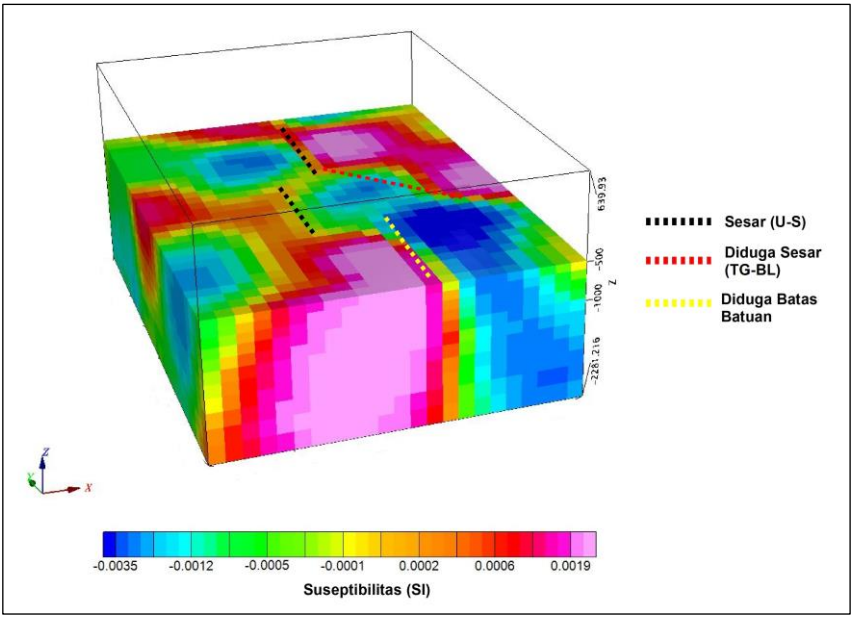
4.5 Interpretasi Model Inversi 3D

Pemodelan inversi 3D hasil inversi intensitas magnetik menghasilkan nilai suseptibilitas. Model ini bertujuan untuk memodelkan distribusi suseptibilitas pada daerah penelitian. Pada persamaan (3) memperlihatkan bahwa nilai suseptibilitas berbanding lurus dengan nilai intensitas magnetik.



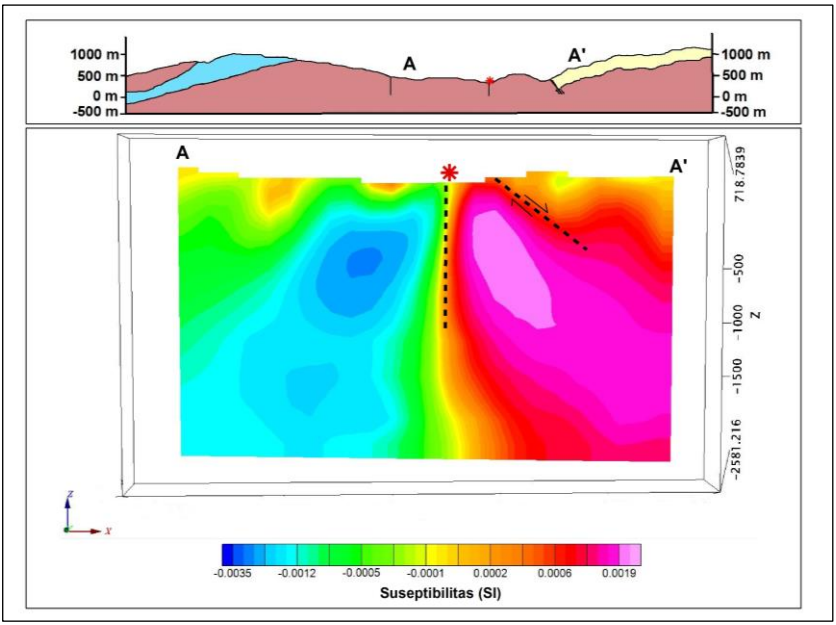
Gambar 4. 6 Model 3D Suseptibilitas

Model 3D suseptibilitas ditunjukkan pada Gambar 4.6. Nilai suseptibilitas yang didapatkan yaitu -0,0035 SI hingga 0,0019 SI. Kedalaman yang didapatkan yaitu 2281 m. Nilai suseptibilitas pada permukaan yang ditunjukkan oleh warna kuning dengan nilai rentang nilai 0 hingga 0,0006 SI sesuai dengan data hasil sampel batuan (tabel 3.1). Suseptibilitas rendah dengan nilai -0,0035 SI hingga 0,0002 SI merupakan batu gamping terumbu, sedangkan nilai 0,0002 SI hingga 0,0019 SI merupakan batu pasir dan serpih.



Gambar 4. 7 Interpretasi Model 3D

Gambar 4.7 menunjukkan model 3D pada kedalaman Pada kedalaman 600 meter terlihat adanya kontras suseptibilitas. Kontras suseptibilitas yang ditandai oleh garis hitam merupakan sesar mendatar dengan arah utara-selatan. Kontras anomali dengan ditandai garis merah diduga sebagai sesar dengan arah tenggara-baratlaur. Sedangkan kontras suseptibilitas yang terlihat jelas di bagian tenggara diduga sebagai batas batu pasir dan gamping. Bagian barat merupakan batu pasir (Formasi Dalan) dan bagian timur merupakan batu gamping terumbu (Formasi Wakatin). Pada analisis dan interpretasi model inversi 3D ini, dibuat sayatan untuk melihat penampang 2D.



Gambar 4. 8 Penampang 2D Lintasan A-A’

Hasil penampang sayatan 2D pada Lintasan A-A’ ditunjukkan pada Gambar 4.8. Berdasarkan peta geologi lintasan ini berada pada satuan batu pasir dan serpih (Formasi Dalan), serta batu gamping (Formasi Wakatin). Lintasan ini juga memotong struktur sesar mendatar dan sesar normal, serta melewati manifestasi air panas. Kontras anomali suseptibilitas pada bagian tengah menunjukkan adanya struktur sesar mendatar dengan arah utara-selatan. Sesar inilah yang diduga sebagai kontrol keluarnya manifestasi air panas pada daerah penelitian. Sedangkan kontras anomali dibagian timur merupakan struktur sesar normal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis pada penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Nilai intensitas pada anomali residual yaitu -90 nT hingga 56 nT
   a. Anomali rendah dengan nilai -90 nT hingga -5 nT merupakan batuan pasir dan serpih (sekitar manifestasi) dan batu gamping terumbu (bagian tenggara).
   b. Anomali sedang dengan nilai -5 nT hingga 4 nT merupakan batu pasir dan serpih
   c. Anomali tinggi dengan nilai intensitas 4 nT hingga 56 nT yang berada di bagian selatan dengan anomali memusat diindikasikan sebagai batu pasir dan serpih yang kompak.
2. Nilai suseptibilitas daerah penelitian yaitu -0,0035 SI hingga 0,0019 SI. Suseptibilitas rendah dengan nilai -0,0035 SI hingga 0,0002 SI merupakan batu gamping terumbu, sedangkan nilai 0,0002 SI hingga 0,0019 SI merupakan batu pasir dan serpih
3. Pada Model 3D terdapat struktur sesar dengan arah utara-selatan dan tenggara-baratlaur, sesar-sesar ini diduga sebagai kontrol munculnya manifestasi air panas.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis pada penelitian ini, penulis memiliki saran untuk selanjutnya yaitu melakukan turunan vertikal kedua (*second vertical derivative*) untuk lebih menganalisis struktur sesar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Blakely, R.J. dan Simpson, R.W. (1986), *"Approximating Edges of Source Bodies from Magnetic or Gravity Anomalies"*, Geophysics, Vol.51, No.7, hal. 1494–1498.

Campbell, W.H. (2001), *"Potential Theory in Gravity and Magnetic"*, Complementary Science, eds. Campbell, Academic Press, San Diego, hal. 1–23.

Chaerunnisah, L.F., Santoso, I.H., Sukmaya, F., Saputro, E. dan Winahyu, D.I. (2016), Identifikasi Panasbumi Krakal dengan Menggunakan Metode Geomagnetik sebagai Informasi Pengembangan dan Pembangunan Lanjutan Daerah Berpotensi, hal. 5.

Darman, H. (2000), *An Outline of the Geology of Indonesia* Ikatan Ahli Geologi Indonesia,.

Daud, Y., Rosid, S., Fahmi, S., Yunus, F.M., dan Muflihendri, R. (2017), "*Geomagnetic Survey to Explore High-Temperature Geothermal System in Blawan-ijen, East Java, Indonesi*

De Smet, M. (1999), *"On The Origin of The Outer Banda Arc, Tectonics and Sedimentation of Indonesia"*, Proc. of the Geology of Indonesia Book 50th Ann. Mem. Sem. Authored by RW van Bemmmelen, ed. by H. Darman & FH Sidi,.

Grandis, H. (2009), Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI),.

Hinze, W.J., Von Frese, R. dan Saad, A.H. (2013), "*Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications"*, Cambridge University Press, New York.

Inaiyah, A. (2015), Aplikasi Metode Magnetik untuk Identifikasi Kontak Satuan Batuan di Desa Klepu Kecamatan Pringapus Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

Ivan M.F. (1995), *Upward Continuation to the Brillouin Level of the Romanian Gravity Map. In: Sünkel H.*, Marson I. (eds) Gravity and Geoid. International Association of Geodesy Symposia, vol 113. Springer, Berlin, Heidelberg

Kasbani (2009), Tipe Sistem Panas Bumi Di Indonesia Dan Estimasi Potensi Energinya.

Kusdyantono, W. (2016), Investigasi Persebaran Mineralisasi Emas Pada Lingkungan Pengendapan Epitermal Sulfidasi Rendah Menggunakan Metode Magnetik Dan Transformasi Pseudogravitasi Di Daerah Paningkaban-Cihonje, Banyumas, Jawa Tengah, PhD Thesis, Universitas Gadjah Mada.

Kusuma, L.I. (2017), Aplikasi Metode Magnetik Sebagai Langkah Awal Eksplorasi Panasbumi, Undergraduate Thesis, Institut Teknologi Bandung

Lita, F. (2012), Identifikasi Anomali Magnetik di Daerah Prospek Panasbumi Arjuna-Welirang, hal. 75.

Manrulu, R.H. and Wahyudi, W., 2014. Pembentukan Karakter Melalui Aplikasi Sains (Pemodelan 3d Anomali Gravitasi Magma Gunungapi Merapi dengan Software Grablox, Bloxer dan Rockwork. Prosiding, 1(1), pp.107-115.

Manyoe, I.N., Suriamihardja, D.A., Irfan U.R. (2017), Penampang Anomali Geomagnet Dan Geolistrik Daerah Panas Bumi Bongongoayu, Gorontalo, hal.9

Maubana, W.M., Maryanto, S., Utami, I.W. dan Nadir, A. (2019), Reservoir Magnetic Anomaly at Geothermal Area of Mount Pandan, East Java, Indonesia, hal. 6

Milsom, J. (2000), "*Stratigraphic Constraints On Suture Models For Eastern Indonesia",*.

Pithawala, T. (2014), *Introduction to Inversion*, Geosoft's official video channel

Nettleton, L.L. (1971), *Monograph Series: Elementery Gravity and Magnetics for Geologist and Seismologists*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa Oklahoma United States of America

Nurdiyanto, B., Wahyudi, W. dan Suyanto, I. (2004), "Analisis Data Magnetik Untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Air Panas di Lereng Utara Gunungapi Ungaran", Prosiding PIT ke 29 HAGI 2004, hal. 36–45.

Sampurno, J. (2012), "Pendugaan Potensi Bijih Besi Di Desa Bulik Kecamatan Nanga Bulik Kabupaten Lamandau Kalimantan Tengah Dengan Metode Geomagnet", POSITRON, Vol.2, No.1. http://doi.org/10.26418/positron.v2i1.2002.

Sayoga, A. (2018), Identifikasi Penyebaran Zona Mineralisasi Logam Emas (Au) Menggunakan Metode Induced Polarization Dan Magnetik Studi Kasus Lapangan “ADR” – PT ANTAM, hal. 85.

Sulaeman, B., Sumardi, E. dan Setiawan, D.I. (2006), Penyelidikan Panas Bumi Pendahuluan Wilayah Kabupaten Buru-Maluku, hal. 7.

Supriyanto, E. (2007), Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi. Diktat Jurusan Fisika Komputasi Universitas Indonesia.

Telfort, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), "*Applied Geophysics Second Edition"*, Cambridge University Press,.

Tim Geologi dan Geokimia, (2009), Survei Geofisika Terpadu Lapangan Panasbumi 'X', Pusat Sumber Daya Mineral, Batu Bara dan Panasbumi

Utama, W., Warnana, D.D., Bahri, S. and Hilyah, A., (2016), Eksplorasi geomagnetik untuk penentuan keberadaan pipa air di bawah permukaan bumi. Jurnal Geosaintek, 2(3), pp.157-164

Widodo, M., Yulianto, T., Harmoko, U., Yulianto, G. dan Widada, S. (2016), Analisis Struktur Bawah Permukaan Daera Harjosari Kabupaten Semarang Menggunakan Metode Geomagnet dengan Pemodelan 2D dan 3D, Vol.5, No.4, hal. 9.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran 1

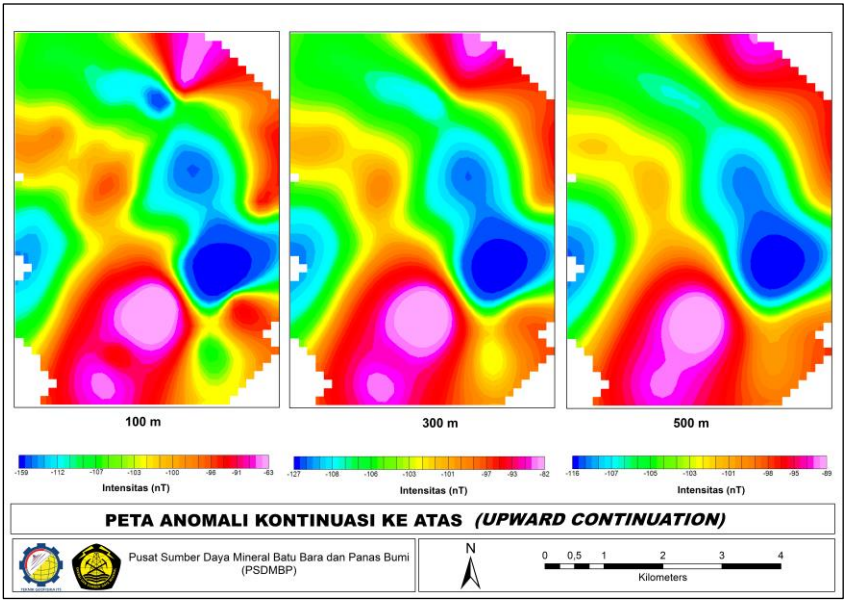
Data Sampel Batuan (demi kepentingan privasi lokasi penelitian milik perusahaan maka untuk koordinat disamarkan angkanya)

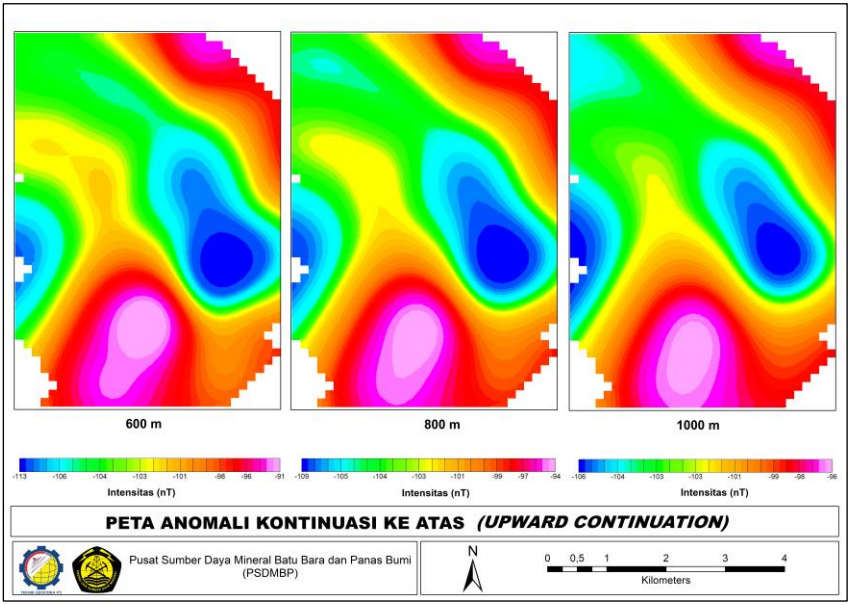
X (m)	Y (m)	Z (m)	Jenis Batuan
****14	*****28	384	Batu pasir-serpih
****07	*****34	364	Batu pasir-serpih
****72	*****19	342	Batu pasir-serpih
****84	*****64	350	Batu pasir-serpih
****72	*****69	335	Batu pasir-serpih
****15	*****30	310	Batu pasir-serpih
****12	*****22	297	Batu pasir-serpih
****12	*****06	297	Batu pasir-serpih
****09	*****43	203	Batu pasir-serpih
****33	*****88	230	Batu pasir-serpih
****58	*****20	246	Batu pasir-serpih
****13	*****50	235	Batu pasir-serpih
****94	*****10	218	Batu pasir-serpih
****02	*****48	221	Batu pasir-serpih
****67	*****86	221	Batu pasir-serpih
****04	*****76	221	Batu pasir-serpih
****23	*****47	225	Batu pasir-serpih
****93	*****93	231	Batu pasir-serpih
****97	*****81	232	Batu pasir-serpih
****59	*****96	240	Batu pasir-serpih
****70	*****31	272	Batu pasir-serpih
****76	*****35	281	Batu pasir-serpih
****21	*****87	257	Batu pasir-serpih
****11	*****29	253	Batu pasir-serpih
****98	*****80	271	Batu pasir-serpih
****55	*****51	259	Batu pasir-serpih
****42	*****74	260	Batu pasir-serpih
****97	*****61	302	Batu pasir-serpih

****95	*****86	270	Batu pasir-serpih
****66	*****85	293	Batu pasir-serpih
****95	*****15	299	Batu pasir-serpih
****61	*****72	216	Batu pasir-serpih
****18	*****09	217	Batu Gamping
****96	*****51	219	Batu pasir-serpih
****64	*****68	220	Batu pasir-serpih
****87	*****23	275	Batu pasir-serpih
****75	*****65	375	Batu pasir-serpih
****66	*****80	220	Batu pasir-serpih
****75	*****99	211	Batu pasir-serpih
****55	*****10	232	Batu pasir-serpih
****77	*****59	295	Batu Gamping
****89	*****92	330	Batu Gamping
****73	*****22	205	Batu Gamping
****26	*****71	196	Batu Gamping
****00	*****00	400	Batu Gamping
****26	*****71	200	Batu Gamping
****63	*****68	200	Batu Gamping
****81	*****30	425	Batu pasir
****84	*****18	450	Batu pasir
****23	*****28	500	Batu pasir
****45	*****41	510	Batu pasir

Lampiran 2

Hasil Kontinuasi ke Atas *(Upward Continuation)*





Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS

Mar'atus Salimah lahir di Banyuwangi pada 4 September 1997. Pendidikan formal yang ditempuh antara lain MI Islamiyah Muhammadiyah 2 Sempu, SMP N 1 Genteng, dan SMA N 1 Genteng. Tahun 2016, penulis resmi menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Riwayat organisasi penulis selama berkuliah di ITS diantaranya menjadi Sekretaris Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS pada tahun 2018/2019, dan Bendahara KMTG Al Ardh (Keluarga Muslim Teknik Geofisika) pada tahun 2019. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan, diantaranya *Semester Break* dengan tema "Pengolahan Data Well Log" yang diselenggarakan oleh HMGI Wilayah IV bersama Petro China pada tahun 2018, Petrophysics Training dengan tema "Integrated Geomodelling" yang diselenggarakan bersama Tritium Energi Nusantara pada tahun 2019, serta "Pengolahan dan Interpretasi Data Geothermal Dengan Metode Magnetotelurik" yang diselenggarakan oleh HMGI Wilayah IV bersama Elnusa tahun 2019. Penulis juga mengikuti kegiatan luar departemen, dengan bergabung dalam kegiatan RDK (Ramadhan di Kampus) sebagai Sekretaris Bidang Kajian Ilmu pada tahun 2018. Selama masa perkuliahan penulis menjadi asisten Laboratorium Fisika Dasar pada tahun 2019. Selama masa perkuliahannya, penulis sempat menerima *partial scholarship Student Excursion ITS Goes Beyond 'Singapore'* pada tahun 2019. Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai hasil dari Tugas Akhir ini atau lain hal, dapat menghubungi penulis melalui email maratusalimah74@gmail.com.