



TUGAS AKHIR - RF184838

**PEMODELAN 3D BAWAH PERMUKAAN LAPANGAN “WKUY”
BERDASARKAN SUSEPTIBILITAS MAGNETIK**

FAUZANUL ROBBANI AULY
NRP. 0341154000027

DOSEN PEMBIMBING I :
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

DOSEN PEMBIMBING II :
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S
NIP. 19591010 198803 1 001

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF184838

**PEMODELAN 3D BAWAH PERMUKAAN LAPANGAN “WKUY”
BERDASARKAN SUSEPTIBILITAS MAGNETIK**

**FAUZANUL ROBBANI AULY
NRP. 0341154000027**

**DOSEN PEMBIMBING I:
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
NIP. 19690906 199702 1 001**

**DOSEN PEMBIMBING II:
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S
NIP. 19591010 198803 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

UNDERGRADUATE THESIS - RF184838

**"WKUY" FIELD SURFACE 3D MODELING BASED ON
MAGNETIC SUSCEPTIBILITY**

FAUZANUL ROBBANI AULY
NRP. 0341154000027

Supervisor 1 :
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

Supervisor 2 :
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S
NIP. 19591010 198803 1 001

**GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

Halaman ini sengaja dikomsongkan




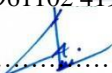
HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Fauzanul Robbani Auly
NRP : 0341140000027
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Pemodelan 3D Bawah Permukaan Lapangan
"WKUY" Berdasarkan Suseptibilitas
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 Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 30 Juli 2020

1. 
.....
Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si, M.T (Pembimbing I)
NIP. 19690906 199702 1 001
2. 
.....
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S. (Pembimbing II)
NIP. 19591010 198803 1 002
3. 
.....
Dr. Widya Utama, DEA. (Penguji I)
NIP. 1961102 4198803 1 001
4. 
.....
Mariyanto, S.Si, M.T. (Penguji II)
NIP. 19911002 201711 0 044

Menyetujui,
Kepala Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1 001

Halaman ini sengaja dikomsongkan

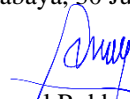
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Pemodelan 3D Bawah Permukaan Lapangan “WKUY” berdasarkan suseptibilitas magnetik” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan 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, 30 Juli 2020



Fauzanul Robbani Auly
NRP. 0341164000027

Halaman ini sengaja dikosongkan

PEMODELAN 3D BAWAH PERMUKAAN LAPANGAN “WKUY” BERDASARKAN SUSEPTIBILITAS MAGNETIK

Nama : Fauzanul Robbani Auly
Departemen : Teknik Geofisika
NRP : 0341164000027
Dosen Pembimbing I : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Amien Widodo, M.S

ABSTRAK

Ditemukannya struktur geologi pada lapangan setelah dilakukannya studi geologi lebih lanjut berupa kekar, lipatan sinklin dan sesar. Lapangan penelitian yang berbukit menyebabkan metode magnetik sangat cocok dipakai pada lapangan penelitian. Pada lapangan penelitian juga telah dilakukan pengambilan sampel yang selanjutnya diuji dengan *X-Ray Fluorence (XRF)*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran nilai suseptibilitas magnetik pada daerah penelitian yang dikorelasikan dengan hasil uji XRF dan mengidentifikasi struktur bawah permukaan berdasarkan model 3D suseptibilitas magnetik. Data yang digunakan pada penelitian ini akan dikoreksi dengan koreksi diurnal dan *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*. Filtering dilakukan menggunakan filter reduksi ke kutub, *bandpass filter* dan *tilt derivative filter*. Data dimodelkan menggunakan pemodelan inversi 3D. Sebaran nilai suseptibilitas pada daerah penelitian memiliki nilai suseptibilitas dengan distribusi rendah (-0,000198 sampai 0), sedang (0,000032 SI sampai 0,000094) sampai tinggi (0,000126 SI sampai 0,000316 SI) . Nilai suseptibilitas rendah diinterpretasikan sebagai zona alterasi yang dikelompokkan menjadi zona 1 dan zona 2. Pada zona 1, merupakan zona alterasi yang batuan dasar alterasinya adalah batuan slate. Pada zona 2, merupakan zona alterasi yang batuan dasarnya merupakan batuan filit yang dibuktikan dari pengambilan sampel pada lapangan.. Hasil uji XRF menunjukkan jika nilai kemagnetannya tinggi menunjukkan daerah tersebut mengandung mineral silika lebih dari 50%. Nilai kemagnetannya rendah menunjukkan daerah tersebut mengandung mineral logam yang lebih banyak. Rendahnya nilai kemagnetan ini disebabkan oleh proses *Thermo Remanent Magnetization*. Pada model 3D inversi magnetik daerah penelitian terdapat indikasi struktur berupa sinklin yang dilihat dari bentuk modelnya. Kepenerusan lipatan sinklin tersebut dari barat daya sampai timur laut. Pada model dan data geologi terdapat kesamaan kepenerusan adanya dugaan lipatan sinklin.

Kata Kunci: Model 3D, Struktur Geologi, Suseptibilitas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

"WKUY" FIELD SURFACE 3D MODELING BASED ON MAGNETIC SUSEPTIBILITY

Name : Fauzanul Robbani Auly
Student ID : 0341164000027
Department : Geophysical Engineering
Advisor I : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
Advisor II : Dr. Ir. Amien Widodo, M.S

ABSTRACT

The discovery of geological structures in the area of study after further geological studies in the form of fracture, syncline folds and faults. The hilly characteristic of the area of study causes the magnetic method is very suitable to be used in there. Field sampling also has been conducted which is then tested with X-Ray Fluorescence (XRF). This study aims to determine the distribution of magnetic susceptibility values in the study area which is correlated with the results of the XRF test and identify subsurface structures based on 3D magnetic susceptibility models. The data used in this study will be corrected by diurnal correction and International Geomagnetic Reference Field (IGRF) correction. Filtering is done using reduction to poles filters, bandpass filters and tilt derivative filters. Data is modeled using 3D inversion modeling. The distribution of susceptibility values in the study area has low susceptibility values (-0,000198 to 0), moderate (0.000032 SI to 0.000094) to high (0.000126 SI to 0.000316 SI). The low susceptibility value is interpreted as an alteration zone grouped into zone 1 and zone 2. In zone 1, indicates alteration zone whose alteration bedrock are slate rocks. In zone 2, indicates alteration zone whose base rocks are filitic rocks, which is proven from field sampling. The XRF test results indicate that if the magnetic value is high, the area contains more than 50% silica minerals. If the magnetic value is low indicating that the area contains more metal minerals. The low magnetism value is caused by the Thermo Remanent Magnetization process. In the 3D model of the magnetic inversion of the study area there is an indication of the structure of a syncline seen from the shape of the model. The continuity of the syncline folds from the southwest to the northeast In the geological model and data there are similarities in the continuity of the alleged syncline folds.

Keyword: 3D Model, Geological Structure, Susceptibility.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir berjudul “Pemodelan 3D bawah permukaan lapangan “wkuy” berdasarkan suseptibilitas magnetik” dengan baik. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan adik-adik penulis yang telah memberikan dukungan secara motivasi, fasilitas dan doa.
3. Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T. dan Dr. Ir. Amien Widodo, M.S. selaku dosen pembimbing. penulis atas arahan, saran dan kritik yang membangun dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
4. Para dosen dan tenaga Pendidikan Departemen Teknik Geofisika ITS atas bimbingan dan bantuan selama pengerjaan Tugas Akhir dan perkuliahan.
5. Seluruh Tim TA Pacitan 2020 yang telah bekerja sama dalam pengerjaan Tugas Akhir.
6. Silmi Afina Aliyan, Putry Vibry Hardyani, Hanif F. Falah yang telah membantu dan memberikan saran selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Teman-teman kontrakan robot yang menemani pengerjaan Tugas Akhir selama Pandemi COVID19.
8. Teman-teman TG-05 atas semangat dan dukungannya selama perkuliahan.

Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai pembelajaran penulis dan khalayak umum. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 30 Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR.....	Kesalahan!
Bookmark tidak ditentukan.	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
1.6. Target Luaran.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Dasar Teori.....	3
2.1.1. Geologi Regional.....	3
2.1.2. Medan Magnet.....	6
2.1.3. Medan Magnet Bumi	6
2.1.4. Suseptibilitas Magnetik	8
2.1.5. Koreksi Data Magnetik.....	9
2.1.6. <i>Kriging</i>	10
2.1.7. <i>Tilt Derrivative</i>	10
2.1.8. Reduksi Ke Kutub	11
2.1.9. <i>X-Ray Flourencece</i>	12
2.1.10. Pemodelan 3D Inversi Magnetik	13
2.2. Penelitian Terdahulu	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Desain Akuisi.....	17
3.2. Perangkat Lunak	17
3.3. Diagram Alir Penelitian	18
3.4. Prosedur Penelitian	19
3.4.1. Koreksi Harian.....	19

3.4.2.	Koreksi IGRF.....	19
3.4.3.	Reduksi ke Kutub.....	19
3.4.4.	<i>Tilt Derrivative</i>	19
3.4.5.	Uji XRF.....	19
3.4.6.	<i>Bandpass Filter</i>	19
3.4.6.	Pemodelan Inversi 3D.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		21
4.1.	Peta Intensitas Anomali Total Magnetik dan Peta <i>Reduced To Pole</i>	21
4.2.	Interpretasi Peta Reduce To Pole Suseptibilitas Magnetik....	24
4.3.	Peta <i>Tilt Derrivative</i> dan Analisa Korelasi dengan Data XRF..	25
4.4.	<i>Bandpass Filter</i> Untuk Pemisahan Anomali Regional	26
4.5.	Model 3D Inversi Magnetik	28
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		29
5.1.	Simpulan	29
5.2.	Saran.....	29
DAFTAR PUSTAKA.....		31
LAMPIRAN		33
BIOGRAFI PENULIS.....		43

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Suseptibilitas Magnetik Batuan dan Mineral (Telford dkk., 1990)....	8
Tabel 3. 1Perangkat Lunak yang digunakan dalam penelitian	17

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembagian jalur fisiografi Sulawesi (Smith, 1983).....	3
Gambar 2. 2 Batuan penyusun di lapangan penelitian termasuk bagian dari Formasi Meluhu tersusun dari batusabak, filit dan kuarsit, setempat sisipan batugamping hablur (Simandjuntak, 1993).....	5
Gambar 2. 3 Model <i>Tilt Derivative</i> untuk asumsi blok atau dike sebagai penyebab anomali utama (tanda panah dan garis putus-putus)(Verduzco dkk., 2004)	11
Gambar 2. 4 Anomali magnetik sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dilakukan reduksi ke kutub magnetik (Blakely, 1995).	12
Gambar 2. 5 (a) Prinsip <i>X-Ray Fluorescence</i> , (b) kekosongan elektron pada kulit L (Fansuri, 2010)	13
Gambar 2. 6 Geometri model satuan 3D berbentuk prisma tegak atau kubus untuk perhitungan respon magnetik di titik P, posisi sisi-sisi kubus sesuai sumbu x, y dan z yaitu x_1 , x_2 , y_1 , y_2 , z_1 , z_2 (kiri) dan diskretisasi medium 3D menjadi susunan kubus dengan geometri homogen (kanan) (Grandis, 2009).	14
Gambar 3. 1 Titik Pengukuran.....	17
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 4. 1 Peta Intensitas Anomali Total Magnetik.....	21
Gambar 4. 2 Peta <i>Reduced To Pole</i>	22
Gambar 4. 3 Kurva Perbandingan HA dengan RTP HA Sayatan A – A'	22
Gambar 4. 4 Kurva Perbandingan HA dengan RTP HA Sayatan B – B'	23
Gambar 4. 5 a) Peta <i>Reduced To Pole</i> Suseptibilitas, b) Peta Geologi Lokal Daerah Penelitian, c) Sayatan Geologi	24
Gambar 4. 6 Peta <i>Tilt Derrivative</i>	25
Gambar 4. 7 <i>Bandpass</i> Filter Pemisahan Anomali Regional.....	26
Gambar 4. 8 a) Peta Hasil Bandpass Regional, b) Peta Sebelum Bandpass Regional.....	27
Gambar 4. 9 a) Model 3D Anomali Regional b) Model 3D <i>Isosurface</i> dengan Nilai Suseptibilitas Rendah.....	28

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Daerah penelitian terletak di Sulawesi Tenggara. Menurut (Simandjuntak dkk., 1993) pada peta geologi regional daerah penelitian termasuk kedalam formasi Boepinang dan tidak ditemukan adanya struktur geologi. Namun setelah diteliti lebih lanjut, pada daerah penelitian merupakan formasi Meluhu dan ditemukan adanya struktur geologi berupa kekar, lipatan dan sesar. Formasi Meluhu tersusun dari batusabak, filit dan kuarsit, setempat sisipan batugamping hablur. Formasi Meluhu mempunyai rentang nilai susceptibilitas 0.001 – 0.04 SI (Setiani dkk., 2019). Secara geomorfologi daerah penelitian secara umum, sebagian besar terdiri dari perbukitan yang berkelompok dengan bentuk memanjang arah penyebaran relatif Barat Laut – Tenggara. Ketinggian daerah penelitian antara 50meter hingga 250meter diatas permukaan laut.

Metode magnetik didasarkan pada pengukuran intensitas medan magnet pada batuan yang ditimbulkan oleh mineral penyusun batuan pada saat batuan tersebut terbentuk. Menurut (Patya dkk., 2018) pada penelitiannya, intensitas medan magnet total memiliki karakteristik susceptibilitas batuan yang berpengaruh terhadap struktur geologi. Nilai susceptibilitas batuan sangat menentukan mineral dan batuan penyusun struktur geologi (Patya dkk., 2018). Pengambilan data menggunakan metode ini adalah yang paling mudah dan murah di bandingkan dengan metode geofisika lainnya (Sharma, 1997), sehingga cocok di gunakan daerah pengukuran yang berbukit. Untuk menunjukkan gambaran lebih jelas mengenai kondisi bawah digunakan pemodelan inversi 3D. Pemodelan inversi 3D adalah pemodelan yang menggunakan data pengamatan sebagai parameter modelnya (Heningtyas dkk., 2017).

Oleh karena itu pada penelitian ini, untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan dilakukan pemodelan 3D. Pemodelan 3D yang digunakan didapatkan dari data susceptibilitas magnetik hasil pengukuran yang berkorelasi dengan hasil uji xrf. Pada hasil uji xrf didapatkan data mineral yang terkandung pada area penelitian. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui struktur geologi bawah permukaan pada lapangan “WKUY” menggunakan model 3D hasil korelasi susceptibilitas magnetik dan hasil uji XRF.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas didapatkan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana persebaran nilai suseptibilitas magnetik dan korelasinya dengan hasil uji xrf?
2. Bagaimana struktur bawah permukaan berdasarkan model 3D suseptibilitas magnetik?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini yaitu:

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder.
2. Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan dengan menggunakan *filter bandpass*.
3. Pemodelan 3D menggunakan metode 3D diskrit dengan perhitungan inversi SVD dan *occam*.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini yaitu:

1. Mengetahui persebaran nilai suseptibilitas magnetik pada daerah penelitian korelasinya dengan hasil uji XRF
2. Mengidentifikasi struktur bawah permukaan berdasarkan model 3D suseptibilitas magnetik.

1.5. Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan pada tugas akhir ini adalah, bagi akademis, penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian terkait indentifikasi struktur bawah permukaan dari model 3D data magnetik..

1.6. Target Luaran

Luaran dari penelitian ini berupa laporan tugas akhir yang berjudul “Pemodelan 3D bawah permukaan lapangan “wkuy” Berdasarkan Suseptibilitas Magnetik”.

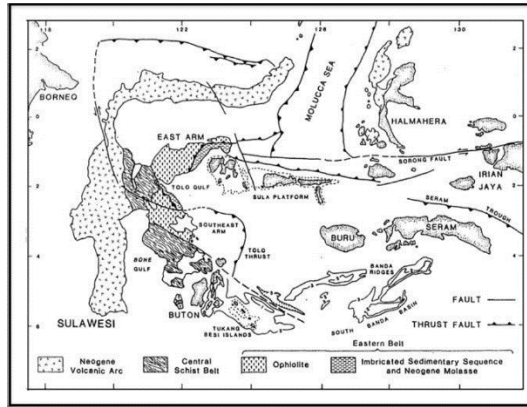
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Teori

2.1.1. Geologi Regional

2.1.1.1. Fisiografi Regional

Secara umum (Hamilton, 1979; Smith, 1983; Sukamto, 1975a, 1975b) telah membagi wilayah Sulawesi ke dalam tiga bagian fisiografi (Gambar 2.1) yaitu:



Gambar 2. 1 Pembagian jalur fisiografi Sulawesi (Smith, 1983)

1. Busur Vulkanik Neogen (*Neogene Volcanic Arc*), terdiri dari kompleks basement Paleozoikum Akhir dan Mesozoikum Awal pada bagian utara dan tengahnya, batuan melange pada awal Kapur Akhir di bagian selatan (Sukamto, 2000), sedimen *flysch* berumur Kapur Akhir hingga Eosen yang kemungkinan diendapkan pada *fore arc basin* (cekungan muka busur) (Sukamto, 1975a, 1975b) pada bagian utara dan selatan, *volcanic arc* (busur vulkanik) berumur Kapur Akhir hingga pertengahan Eosen, sekuen batuan karbonat Eosen Akhir sampai Miosen Awal dan *volcanic arc* (busur vulkanik) Miosen Tengah hingga Kuartar (Silver dkk, 1983). Batuan plutonik berupa granitik dan diorit berumur Miosen Akhir hingga Pleistosen, sedangkan batuan vulkanik berupa alkali dan kalk-alkali berumur Paleosen sampai Pleistosen. Sulawesi bagian barat memiliki aktifitas vulkanik kuat yang diendapkan pada lingkungan submarine sampai terrestrial selama periode Pliosen hingga Kuartar Awal di bagian selatan, namun pada Sulawesi Utara aktifitas vulkanik masih berlangsung hingga saat ini.

2. Sekis dan Batuan Sedimen Terdeformasi (*Central Schist Belt*), tersusun atas fasies metamorfik sekis hijau dan sekis biru. Bagian barat merupakan tempat terpisahnya antara sekis tekanan tinggi dengan sekis temperatur tinggi, genes, dan batuan granitik (Silver dkk., 1983a). Fasies sekis biru mengandung glaukofan, krosit, lawsonit, jadeit, dan aegerine.

3. Kompleks Ofiolit (*Ophiolite*), merupakan jalur ofiolit dan sedimen terimbrikasi serta molasse. Pada lengan Tenggara Sulawesi (segmen selatan) didominasi oleh batuan ultramafik (Van Bemmelen, 1949; Hamilton, 1979; Smith, 1983), harzburgit dan serpentinit harzburgit (Silver dkk., 1983b), sedangkan pada lengan Timur Sulawesi (segmen utara) merupakan segmen ofiolit lengkap, berupa harzburgit, gabro, sekuen dike diabas dan basalt, yang merupakan hasil dari tumbukan antara platform Sula dan Sulawesi pada saat Miosen Tengah sampai Miosen Akhir (Hamilton, 1979; Smith, 1983), serta batuan sedimen pelagos dan klastik yang berhubungan dengan batuan ultramafik (Silver dkk., 1983a). Berdasarkan pembagian di atas, maka daerah penelitian terletak pada Jalur Sekis dan Batuan Terdeformasi (*Central Schist Belt*). Jalur ini merupakan fasies metamorfik sekis hijau dan sekis biru yang penyebarannya mulai dari Sulawesi Tengah memanjang hingga Sulawesi Tenggara.

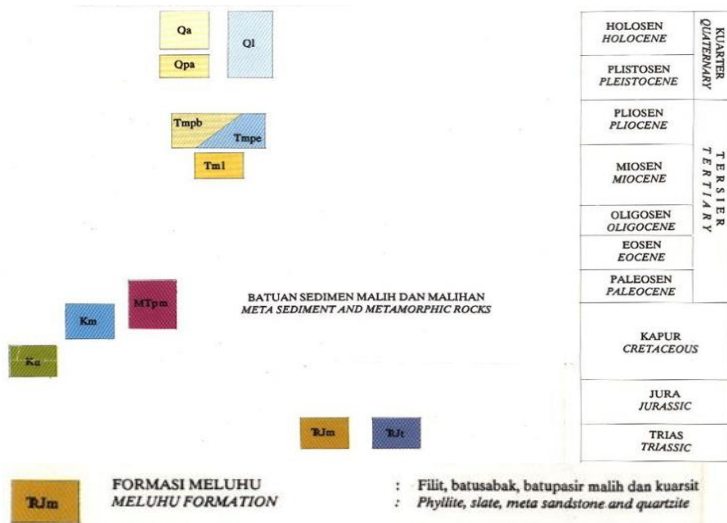
2.1.1.2 Stratigrafi Regional

Kepingan benua di lengan tenggara Sulawesi dinamai mintakat benua Sulawesi tenggara (*south east Sulawesi continental terrane*) dan mintakat matarombeo (Surono, 1994). Kedua lempengan dari jenis yang berbeda ini bertabrakan dan kemudian ditindih oleh endapan molasa Sulawesi. Setelah tabrakan tersebut lengan tenggara Sulawesi terbagi menjadi 3 lajur, yaitu :

1. Kepingan Benua
2. Kompleks Ofiolit
3. Molasa Sulawesi

Penyebaran Formasi Meluhu sangat luas di lengan tenggara Sulawesi. formasi ini telah dipublikasikan secara luas, diantaranya oleh (Surono, 1997; Surono dan Bachri, 2002). Surono membagi Formasi meluhu menjadi 3 anggota dari bawah ke atas:

1. Anggota Toronipa adalah anggota yang dengan penyebaran terluas.
2. Anggota Watutaloboto.
3. Anggota Tue.



Gambar 2. 2 Batuan penyusun di lapangan penelitian termasuk bagian dari Formasi Meluhu tersusun dari batusabak, filit dan kuarsit, setempat sisipan batugamping hablur (Simandjuntak, 1993).

Berdasarkan himpunan batuan, struktur dan umur batuan, kelompok batuan pada sekitar lapangan penelitian yaitu (Simandjuntak, 1993) Formasi Meluhu merupakan Kelompok Batuan Sedimen Mesozoikum. Formasi Meluhu yang secara tak selaras menindih batuan Malihan Kompleks Mekongga. Formasi Meluhu diperkirakan berumur Trias Akhir hingga Jura Awal (sekitar 200 juta tahun yang lalu). Formasi Meluhu tersusun dari batusabak, filit dan kuarsit, setempat sisipan batugamping hablur.

Formasi Meluhu dapat dibagi menjadi tiga anggota (Surono, 1997; Surono dan Bachri, 2002) dari bawah ke atas: Anggota Toronipa, yang didominasi oleh batupasir dengan sisipan batupasir konglomeratan, batulumpur, dan serpih serta setempat lignit. Lingkungan pengendapan anggota ini adalah sebagai endapan kipas sungai yang dipengaruhi oleh tektonik aktif semasa pengendapannya. Anggota Watutaluboto, didominasi oleh batulumpur dan batulanau dengan sisipan batupasir dan konglomerat. Bagian bawah anggota ini diendapkan pada lingkungan delta yang energinya didominasi oleh sungai, sedangkan bagian atasnya lebih didominasi energi pasang-surut. Secara selaras

anggota ini menindih Anggota Toronipa. Anggota Tuetue terdiri atas batulumpur, batulanau dan napal serta batugamping di bagian atasnya. Anggota Watutaluboto ditindih selaras Anggota Tuetue. Bagian bawah anggota ini kaya struktur sedimen yang umum ditemukan pada lingkungan pasang-surut dan bagian atasnya menunjukkan lingkungan laut.

2.1.2. Medan Magnet

Charles Augustin de Coulomb pada tahun 1785 menyatakan bahwa gaya magnet berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara dua muatan magnetik, yang persamaannya mirip hukum gaya gravitasi Newton. Dengan demikian, apabila dua buah kutub P_1 dan P_2 dari monopole magnet yang berlainan terpisah pada jarak r , maka persamaan gaya magnet dinyatakan sebagai

$$\mathbf{Gm} = \frac{1 P_1 P_2}{\mu r^2} \mathbf{r} \quad (2.1)$$

dengan \mathbf{Gm} adalah gaya magnet monopole pada P_1 dan P_2 , r adalah vektor satuan berarah dari P_1 ke P_2 , P_1 dan P_2 adalah muatan kutub 1 dan 2 monopole, μ adalah permeabilitas medium magnetik (untuk ruang hampa $\mu = 1$).

Gaya magnet \mathbf{Gm} per satuan muatan P_1 didefinisikan sebagai kuat medan magnet terukur (H). Dengan demikian dihasilkan kuat medan magnet pada muatan P_1 yang dapat dinyatakan sebagai,

$$\mathbf{H} = \frac{F}{P_2} = \frac{1 P_2}{\mu r^2} \mathbf{r} \quad (2.2)$$

dengan H adalah kuat medan magnet terukur.

Jika suatu benda terinduksi oleh medan magnet H , maka besar intensitas magnet yang dialami oleh benda tersebut adalah (Reynolds, 1997),

$$M = k H \quad (2.3)$$

dengan M adalah intensitas magnetisasi dan k adalah suseptibilitas magnetik.

2.1.3. Medan Magnet Bumi

Nilai medan magnet total setiap lokasi di berbagai belahan dunia tidak sama. Setiap lokasi yang mempunyai koordinat lintang dan bujur yang berbeda akan mempunyai nilai intensitas yang berbeda pula (Blakely, 1995). Sumber medan magnet bumi secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu medan magnet utama bumi (*main field*), medan luar (*external field*), dan medan anomali (*anomaly field*).

2.1.3.1. Medan Magnet Utama Bumi

Secara teoritis medan magnet utama bumi disebabkan oleh sumber dari dalam dan luar bumi. Medan magnet dari dalam bumi diduga dibangkitkan oleh perputaran aliran arus dalam inti bagian luar bumi yang bersifat cair dan konduktif (Sharma, 1997). Karena medan magnet utama bumi berubah terhadap

waktu maka untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi, dibuat standart nilai yang disebut dengan *International Geomagnetics Reference Field* (IGRF). Nilai medan magnet utama ini ditentukan berdasarkan kesepakatan internasional di bawah pengawasan *International Association of Geomagnetic and Aeronomy* (IAGA). IGRF diperbaharui tiap 5 tahun sekali dan diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km² yang dilakukan dalam batas waktu satu tahun (Telford dkk., 1990).

2.1.3.2. Medan Magnet Luar Bumi

Medan magnet bumi juga dipengaruhi oleh medan luar. Medan ini 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 (Telford dkk., 1990). Beberapa sumber medan luar antara lain; Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun, variasi harian (*diurnal variation*) dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai jangkau 30 nT, variasi harian (*diurnal variation*) 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai jangkau 2 n, dan badai magnetik (*magnetic storm*) yang bersifat acak dan mempunyai jangkau sampai dengan 1000 (Telford dkk., 1990)

2.1.3.3. Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet dihasilkan oleh benda magnetik yang telah terinduksi oleh medan magnet utama bumi, sehingga benda tersebut memiliki medan magnet sendiri dan ikut mempengaruhi besarnya medan magnet total hasil pengukuran. Variasi medan magnetik yang terukur di permukaan merupakan target dari survei magnetik (anomali magnetik). Besarnya anomali magnetik berkisar ratusan sampai dengan ribuan nano-tesla, tetapi ada juga yang lebih besar dari 100.000 nT yang berupa endapan magnetik. Secara garis besar anomali ini disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnet induksi. Bila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksi maka anomalnya bertambah besar, demikian juga sebaliknya. Medan magnet remanen mempunyai peranan yang besar pada magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetnya serta sangat rumit diamati karena berkaitan dengan peristiwa kemagnetan yang dialami sebelumnya. Sisa kemagnetan ini disebut dengan Normal Residual Magnetism yang merupakan akibat magnetisasi medan utama. Dalam survei magnetik, adanya anomali magnetik menyebabkan perubahan medan magnet total bumi dan dapat dituliskan sebagai berikut (Telford dkk., 1990):

$$HT = H_0 + H_L + H_A \quad (2.4)$$

2.1.4. Suseptibilitas Magnetik

Kemudahan suatu benda magnetik untuk dimagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas kemagnetan k yang dirumuskan dengan persamaan (Telford dkk., 1990):

$$I = k H \tag{2.5}$$

Besaran yang tidak berdimensi ini merupakan parameter dasar yang digunakan dalam metode magnetik. Nilai suseptibilitas magnetik dalam ruang sama dengan nol karena hanya benda berwujud yang dapat termagnetisasi. Suseptibilitas magnetik dapat diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu benda. Harga k pada batuan semakin besar apabila dalam batuan semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik. Berdasarkan harga suseptibilitas k , benda-benda magnetik dapat dikategorikan sebagai diamagnetik, paramagnetik, ferromagnetik. Diamagnetik adalah benda yang mempunyai nilai k kecil dan negatif. Paramagnetik adalah benda magnetik yang mempunyai nilai k kecil dan positif. Sedangkan Ferromagnetik adalah benda magnetik yang mempunyai nilai k positif dan besar.

Jenis Batuan/Mineral	Suseptibilitas ($\times 10^{-6}$ emu)		Jenis Batuan/Mineral	Suseptibilitas ($\times 10^{-6}$ emu)	
	Interval	Rata-rata		Interval	Rata-rata
1	2	3	1	2	3
Batuan Sedimen			Piroxenit		10500
Dolomit	0 – 75	10	Peridotit	7600 – 15600	13000
Batu kapur	2 – 280	25	Andesit		13500
Batu pasir	0 – 1660	30	Rata-rata beku asam	3 – 6530	650
Lempung	5 – 1480	50	Rata-rata beku basa	44 – 9710	2600
Rata-rata Sedimen	0 – 4000	75	Mineral		
Batuan Metamorf			Grafit		-8
Amfibolit		60	Quartz		-1
Sekis (schist)	25 – 240	120	Anidrite, batu kapur		-1
Phillite		130	Calsit	-0.6 – -1	
Gneiss	10 – 2000		Batubara		2
Kuarsit		350	Tanah liat		20
Serpentine	250 – 1400		Chalcopirit		32
Slate	0 – 3000	500	Sphalerit		60
Rata-rata Metamorf	0 – 5800		Cassiterit		90
Batuan Beku			Siderit	100 – 310	
Granit	0 – 4000	200	Pirit	4 – 420	130
Riolit	20 – 3000		Limonit		220
Dolorit	100 – 3000	1400	Garam batu		-1
Augit-senit	2700 – 3600		Arsenopirit		240
Olivin-diabas		2000	Hematit	40 – 3000	550
Diabas	80 – 13000	4500	Chromit	240 – 9400	600
Porpiri	20 – 16700	5000	Franklinit		36000
Gabro	80 – 7200	6000	Pirrhosit	100 – 500000	125000
Basal	20 – 14500	6000	Ilmenit	25000 – 300000	150000
Diorit	50 – 10000	7000	Magnetit	100000 – 1600000	500000

Tabel 2. 1 Suseptibilitas Magnetik Batuan dan Mineral (Telford dkk., 1990)

2.1.5. Koreksi Data Magnetik

Untuk memperoleh nilai anomali medan magnetik yang diinginkan, maka dilakukan koreksi terhadap data medan magnetik total hasil pengukuran pada setiap titik lokasi atau stasiun pengukuran. Terdapat 2 koreksi utama yang diterapkan pada data lapangan yaitu koreksi IGRF dan koreksi harian (*Diurnal Corection*). Koreksi IGRF digunakan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet dari dalam bumi yang disebabkan oleh medan magnet utama (*Out Core*) serta medan magnet dari kerak bumi. Sementara koreksi harian berfungsi untuk menghilangkan pengaruh medan magnet yang berasal dari luar bumi seperti pengaruh atmosfer (*ionosfer*).

2.1.5.1. Koreksi Harian

Koreksi harian (*diurnal*) merupakan koreksi yang dilakukan terhadap data magnetik untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar. Koreksi harian merupakan variasi medan magnet yang sebagian bersumber dari medan magnet luar akibat perputaran arus listrik di dalam lapisan ionosfer. 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 mengurangi nilai variasi harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi. Secara matematis dapat dituliskan dalam persamaan.

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

2.1.5.2. Koreksi IGRF

IGRF (International Geomagnetic Reference Field) merupakan medan acuan geomagnet internasional. Pada dasarnya nilai IGRF merupakan nilai kuat medan magnetik utama bumi (H_0). Koreksi ini diperlukan karena medan magnet bumi bervariasi secara alami sebagai salah satu pergerakan dari kutub ke khatulistiwa. Nilai IGRF termasuk nilai yang ikut terukur pada saat melakukan pengukuran medan magnetik dipermukaan bumi, yang merupakan komponen paling besar dalam survey magnetik, sehingga perlu dilakukan koreksi untuk menghilangkannya. Koreksi nilai IGRF terhadap data medan magnetik hasil pengukuran dilakukan karena nilai yang menjadi target survey magnetik adalah anomali medan magnetik (ΔH)

Data hasil pengukuran medan magnetik pada dasarnya adalah kontribusi dari tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi (H_0), medan magnetik luar (H) dan medan anomali (ΔH). Nilai medan magnetik utama tidak lain adalah nilai IGRF. Jika nilai medan magnetik luar dihilangkan dengan koreksi harian (H_D), maka kontribusi medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi IGRF. Persamaan koreksi IGRF dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta H = H_{total} \pm H_D - H_0 \quad (2.7)$$

2.1.6. *Kriging*

Kriging adalah suatu teknik perhitungan untuk estimasi dari suatu variabel ter regional yang menggunakan pendekatan bahwa data yang dianalisis dianggap sebagai suatu realisasi dari suatu variabel acak, dan keseluruhan variabel acak yang dianalisis tersebut akan membentuk suatu fungsi acak menggunakan model struktural variogram. Secara umum, *kriging* merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis data geostatistik, yaitu untuk menginterpolasi suatu nilai kandungan mineral berdasarkan data sampel. Data sampel pada ilmu kebumihian biasanya diambil dari lokasi-lokasi atau titik yang tidak beraturan. Dengan kata lain, metode ini digunakan untuk mengestimasi besarnya nilai \hat{Z} pada titik tidak tersampel berdasarkan informasi dari karakteristik titik-titik tersampel Z yang berada di sekitarnya dengan mempertimbangkan korelasi spasial yang ada dalam data tersebut (Puspita, 2013).

Menurut Bohling (2005), bahwa estimator *kriging* $\hat{Z}(s)$ dari $Z(s)$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\hat{Z}(s) - m(s) = \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(s_i) - m(s_i)] \quad (2.8)$$

Dengan \hat{Z} adalah estimator *kriging*, s, s_i adalah lokasi untuk estimasi dan salah satu lokasi dari data yang berdekatan, dinyatakan dengan I , $m(s)$ adalah nilai ekspektasi dari $Z(s)$, $m(s_i)$ adalah nilai ekspektasi dari $Z(s_i)$, λ_i adalah faktor bobot dan n adalah banyaknya data sampel yang digunakan untuk estimasi.

$Z(s)$ dianggap sebagai bidang acak dengan suatu komponen trend $m(s)$ dan komponen sisa $E(s) = Z(s) - m(s)$. Estimasi *kriging* untuk sisa pada s adalah jumlah berbobot dari sisa pada sekitar data titik. Nilai λ_i diturunkan dari fungsi kovariansi atau semivariogram, yang harus mencirikan komponen sisa. Tujuan *kriging* adalah untuk menentukan nilai λ_i yang meminimalkan variansi pada estimator, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{\sigma}_E^2 = \text{var} \{ \hat{Z}(s) - Z(s) \} \quad (2.9)$$

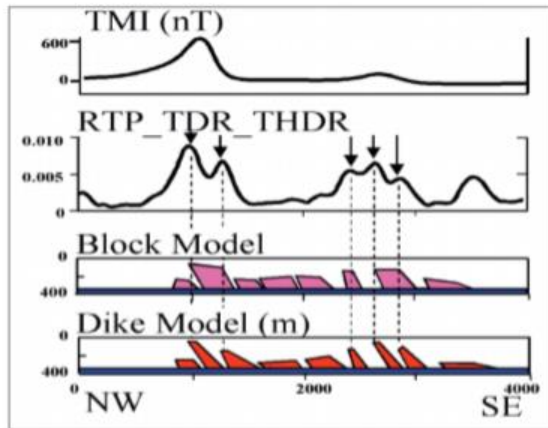
Dengan pendekatan tak bias:

$$E \left(\hat{Z}(s) - Z(s) \right) = 0 \quad (2.10)$$

2.1.7. *Tilt Derivative*

Masalah yang harus diatasi dalam peningkatan data pada geomagnetik adalah untuk mengidentifikasi dan memetakan anomali halus yang dilemahkan dalam rentang dinamis karena adanya anomali magnetik amplitudo tinggi, kontinuitas masing-masing tubuh anomali dimana ada perubahan lateral dari nilai suseptibilitas atau kedalaman anomali. *Tilt derivative* untuk memperjelas batas anomali dan memperjelas anomali dangkal (Telford dkk., 1990). Berikut teori *tilt derivative* dan contoh model 2D menunjukkan (Gambar 2.4) bagaimana ketiga masalah ini dapat berhasil diatasi, sehingga menghasilkan peta yang dapat

memberikan deskripsi yang lebih dapat diandalkan tentang parameter tubuh sumber.



Gambar 2. 3 Model *Tilt Derivative* untuk asumsi blok atau dike sebagai penyebab anomali utama (tanda panah dan garis putus-putus)(Verduzco dkk., 2004)

Tilt Derivative didefinisikan sebagai nilai cotangen dari perbandingan antara komponen *vertical derivative* (VDR) dengan komponen *total horizontal derivative* (THDR) dari nilai intensitas magnetik (Persamaan 2.11). Persamaan dasar *Filter Tilt Derivative* (TDR):

$$TDR = \tan^{-1}\left(\frac{VDR}{THDR}\right) \quad (2.11)$$

$$\text{Batasan nilai dari TDR: } -\frac{\pi}{2} \leq TDR \leq +\frac{\pi}{2} \quad (2.12)$$

Persamaan dari *Vertical Derrivative* (VDR):

$$VDR = \frac{dT}{dz} \quad (2.13)$$

Persamaan dari *Total Horizontal Derrivative* (THDR):

$$THDR = \sqrt{\frac{(dT)^2}{(dx)^2} + \frac{(dT)^2}{(dy)^2}} \quad (2.14)$$

Dimana:

dT = *Total Magnetic Intensity*

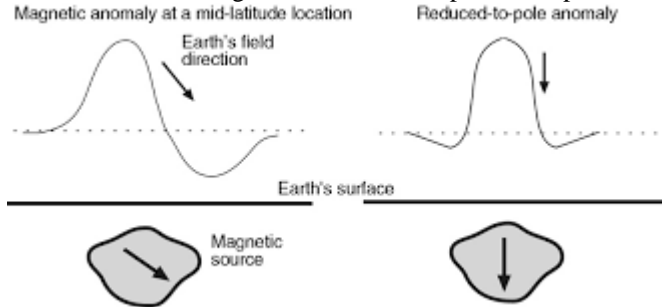
dx, dy = komponen horizontal terhadap sumbu x dan y

dz = komponen vertikal terhadap sumbu z

2.1.8. Reduksi Ke Kutub

Reduksi ke kutub adalah filter untuk menghilangkan efek arah medan magnet pada lokasi pengukuran (Everett, 2013). Penghilangan arah medan

magnet dilakukan dengan cara mengubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal. Hal ini digunakan untuk mempermudah proses interpretasi.



Gambar 2. 4 Anomali magnetik sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dilakukan reduksi ke kutub magnetik (Blakely, 1995).

Metode reduksi ke kutub dapat dilakukan melalui *Fast Fourier Transform* (FFT), dengan perumusan sebagai berikut:

$$T_R(k) = T(k)\Psi_R(k) \quad (2.15)$$

Dengan mendefinisikan filter RTP $\Psi_R(k)$ dari persamaan $T_R(k) = T(k)\Psi_R(k)$ maka akan didapatkan persamaan

$$\Psi_R(k) = \frac{F_Z D F_{ZP}}{Z^2 - F_x^2 + 2i \operatorname{sgn}(k) F_x Z} \quad (2.16)$$

Apabila data diukur di kutub utara magnet filter RTP berkurang $\Psi_R(k) = 1$, dimana $F_x = 0$ dan $F = Z = F_{ZP}$ data yang sudah di filter RTP $T_R(x)$ yang pada dasarnya memiliki efek dari arah geomagnetik lokal akan dihapus dan diperoleh dengan mengambil transformasi Fourier terbalik.

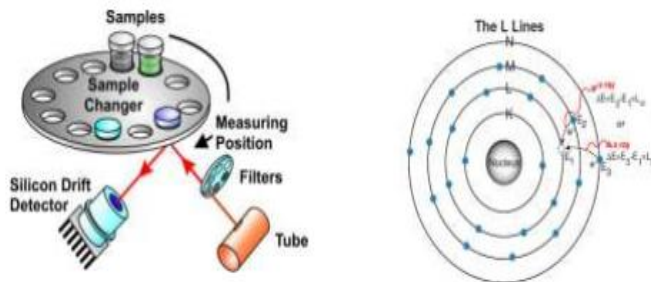
$$T_R(x) = F^{-1}\{T_R(k)\} = F^{-1}\{T_R(k)\Psi_R(k)\} \quad (2.17)$$

Dengan demikian, filter RTP dari dataset $T(x)$ dalam domain spasial setara dengan perkalian data *Fourier-transform* data $T(k)$ dengan filter $\Psi_R(k)$ dalam domain bilangan gelombang (Everett, 2013).

2.1.9. X-Ray Fluorescence

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada Gambar 2.6

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spectrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi) (Munasir dkk., 2012) .



Gambar 2. 5 (a) Prinsip *X-Ray Fluorescence* , (b) kekosongan elektron pada kulit L (Fansuri, 2010)

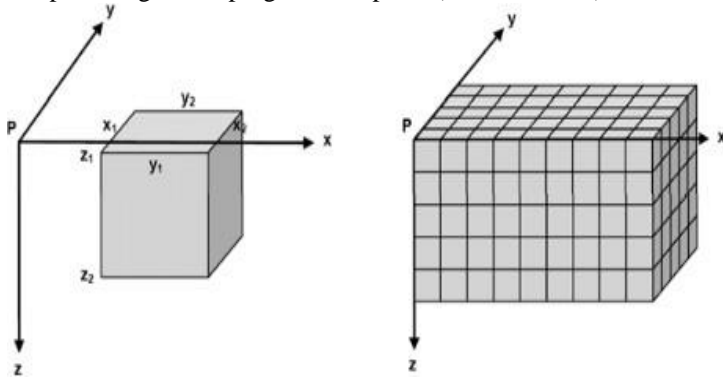
2.1.10. Pemodelan 3D Inversi Magnetik

Pemodelan inversi adalah salah satu teknik pemodelan dimana parameter modelnya diperoleh langsung dari data pengamatan. Pemodelan inversi pada data magnetik dimana model bawah permukaan didiskretisasi menjadi susunan prisma tegak atau kubus dalam ruang 3D. Geometri model tetap sehingga parameter model adalah intensitas magnetisasi yang homogen untuk tiap kubus (Gambar 2.6). Hubungan linier antara data d ($d_i, i = 1, 2, \dots, N$) dengan parameter model atau intensitas magnetisasi m ($m_k, k = 1, 2, \dots, M$) dinyatakan oleh :

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

dimana G adalah matriks *kernel* ($N \times M$) yang memetakan sumber anomali menjadi data observasi, dengan N adalah jumlah data dan M adalah jumlah parameter model. Komponen matriks kernel $G = [G_{ik}]$ menyatakan kontribusi kubus ke- k dengan intensitas magnetisasi satuan pada anomali magnetik di titik

ke i. Perhitungan komponen matriks *kernel* tersebut mengikuti perumusan, algoritma perhitungan dan program komputer (Grandis, 2009).



Gambar 2. 6 Geometri model satuan 3D berbentuk prisma tegak atau kubus untuk perhitungan respon magnetik di titik P, posisi sisi-sisi kubus sesuai sumbu x, y dan z yaitu $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ (kiri) dan diskretisasi medium 3D menjadi susunan kubus dengan geometri homogen (kanan) (Grandis, 2009).

Titik pengamatan terletak hanya di permukaan bumi pada bidang x-y dengan jumlah data N. Sementara jumlah parameter model adalah $M = n_x \times n_y \times n_z$, dimana n_x, n_y dan n_z masing-masing adalah jumlah kubus hasil diskretisasi dalam arah x, y dan z. Pada kasus seperti ini jumlah parameter model M jauh lebih besar dari pada jumlah data N. Perhitungan matriks pada pemodelan 3D inversi magnetik menggunakan teknik *Singular Value Decomposition* (SVD)

Inversi *Singular Value Decomposition* adalah suatu teknik pemfaktoran matriks dengan menguraikan suatu matriks ke dalam dua matriks, sebagai contoh dari matriks A menjadi matriks U dan V (Indrarini dan Setiawan, 2015). Secara matematis persamaannya dapat ditulis sebagai:

$$A = U S V^T \tag{2.19}$$

dimana U adalah matriks ortogonal sebelah kiri, S adalah suatu matriks diagonal, dan V adalah matriks ortogonal sebelah kanan. Perhitungan inversi matriks menggunakan teknik SVD relatif lebih stabil. Dalam penerapan teknik SVD, nilai singular yang lebih kecil dari harga tertentu dapat diabaikan atau dianggap sama dengan nol sehingga tidak diikutsertakan pada proses perhitungan solusi. Penerapan teknik SVD pada pemodelan inversi (khususnya pada perhitungan matriks) umumnya dapat menghasilkan solusi inversi yang cukup baik (Grandis, 2009). Hasil model yang didapatkan dengan teknik SVD ini masih belum dapat menampilkan kecocokan hasil model dengan data pengukuran dengan baik sehingga diperlukan inversi *occam* untuk memaksimalkan kecocokan antara hasil pengukuran dan data hasil perhitungan..

Inversi *Occam* adalah suatu metode inversi yang memanfaatkan tingkat kekasaran (*roughness*) suatu model (Constable, 1987) yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$U = \|\delta m\|^2 + \mu^{-1} \{ \|Wd - WGm\|^2 - X^2 \} \quad (2.20)$$

dimana, $\|\delta m\|^2$ merupakan kekasaran (*roughness*), μ^{-1} adalah *Lagrange multiplier*, $\|Wd - WGm\|^2$ adalah *missfit*, dan X^2 adalah error.

2.2. Penelitian Terdahulu

Menurut (Setiani dkk., 2019) pada penelitian di daerah Kota Kendari yang bertujuan untuk menentukan pola sebaran anomali medan magnetik regional dan menentukan struktur bawah permukaan berdasarkan hasil pemodelan 2D data geomagnetik. Pengolahan data dilakukan dengan koreksi variasi harian, koreksi IGRF (International Geomagnetic Reference Field), reduksi ke kutub dan kontinuitas ke atas. Pemodelan 2D data anomali medan magnetik regional menunjukkan dugaan keberadaan 5 formasi batuan. Formasi tersebut terdiri dari Formasi Meluhu (TRJm) dengan rentang nilai dengan rentang nilai suseptibilitas 0.001– 0.04 SI, Formasi Langkowala (Tml) dengan rentang nilai suseptibilitas 0.001 – 0.009 SI, Formasi Buara (Ql) dengan nilai suseptibilitas 0.0003 SI. Formasi Alangga (Qpa) dengan rentang nilai suseptibilitas 0.00064 – 0.0025 SI, dan endapan Alluvium (Qa) dengan nilai suseptibilitas 0.00001257 SI. Kemudian didapatkan adanya sesar geser yang memotong Formasi Buara, Formasi Alangga dan Formasi Meluhu yang berada pada koordinat 447017.90 hingga 444755.50.

Menurut (Heningtyas dkk., 2017) pada penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pola sebaran anomali medan magnet di sekitar jalur Sesar Oyo, mengetahui susunan formasi batuan di wilayah sekitar jalur Sesar Oyo, dan mengetahui jalur Sesar Oyo berdasarkan pemodelan geomagnet. Pengambilan data dilakukan menggunakan PPM dengan 35 titik pengamatan dan spasi antar titik pengamatan 1,5 km. Pengolahan data dilakukan dengan koreksi variasi harian, koreksi IGRF, reduksi ke kutub dan kontinuitas ke atas. Hasil pemodelan 3D menunjukkan Sesar Oyo merupakan sesar geser dengan kedalaman 150 – 300 m, jalur sesar tersebut terbagi menjadi 2 segmen yaitu dengan arah N120°E sepanjang 5,8 km dan N160°E dengan panjang 2,5 km.

Menurut (Patya dkk., 2018) yang telah melakukan penelitian dengan menggunakan metode magnetik untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan di sekitar Laut Sulawesi. Pengolahan data dengan koreksi IGRF untuk mendapatkan anomali medan magnet total. Hasil dari interpretasi kualitatif maupun kuantitatif yaitu berupa variasi nilai intensitas magnet total sebesar -450 nT dari arah timur laut menuju ke barat daya sebesar 110 nT. Variasi nilai anomali intensitas magnet total merupakan parameter dalam menentukan nilai

suseptibilitas batuan yang sangat berpengaruh terhadap struktur geologi bawah permukaan di sekitar Laut Sulawesi. Pengaruh geologi yang dihasilkan adalah berupa daerah penunjaman dan terdapat patahan atau sesar. Nilai suseptibilitas magnetik batuan pada struktur bawah permukaan di sekitar Laut Sulawesi di dominasi batuan beku jenis andesit dan basalt, dan batuan metamorf ($k = 0,067833 - 0,065333$ SI).

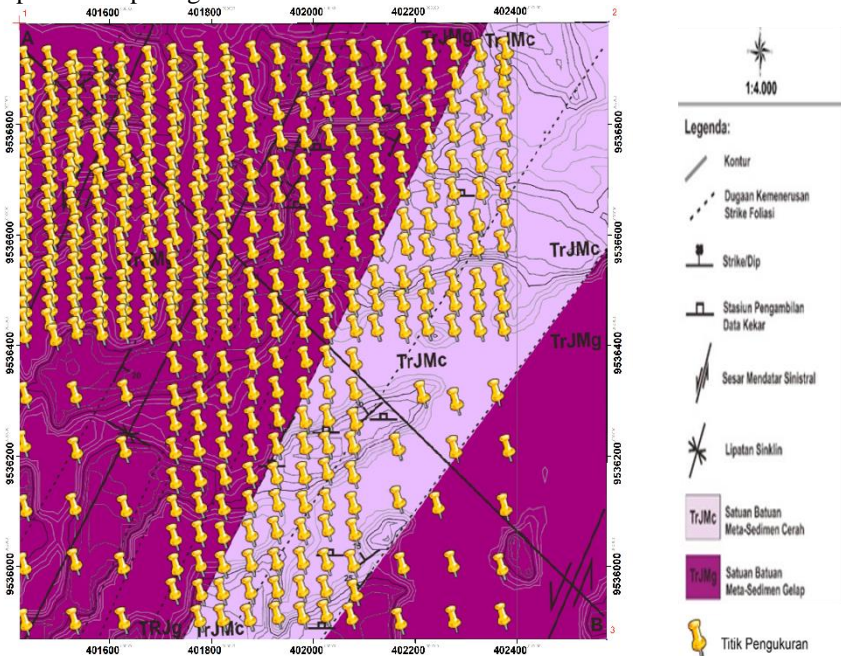
Berdasarkan hasil penelitian (Harifan dkk., 2015), pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur sampel topsoil, maka diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Polutan hasil industri di Kota Padang mengandung unsur Fe. Komposisi persentase unsur Fe tertinggi terdapat di lokasi Kecamatan Padang Barat pada nilai suseptibilitas magnetik $4135.9 (x10^{-8} \text{m}^3/\text{kg})$ dengan persentase berat 15.977%. Persentase Fe terendah terdapat di lokasi Kecamatan Pauh pada nilai suseptibilitas magnetik $332.1 (x10^{-8} \text{m}^3/\text{kg})$ dengan persentase berat 4.012%.
2. Hasil penelitian pada sampel topsoil di Kota Padang, hubungan komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik masing-masing sampel secara umum adalah sebanding. Tinggi rendahnya nilai suseptibilitas magnetik tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi unsur Fe saja, tetapi juga dipengaruhi oleh unsur lain yang terkandung pada sampel topsoil, seperti unsur Si, Al, Ca, dan Ti.
3. Fe dapat mengalami penurunan kerentanan magnetik bila bersenyawa dengan Ti. Persentase Fe dan Ti pada sampel Topsoil di Kota Padang berasal dari mineral penyusun utama besi yaitu ilmenite (FeTiO_3), bersifat paramagnetik. Sampel yang akan dilakukan pengukuran nilai komposisi unsur Fe sebaiknya dipilih berdasarkan jenis mineral yang terkandung pada sampel. Agar bisa dilihat lebih jelas lagi kaitan komposisi unsur Fe terhadap nilai suseptibilitas magnetik tersebut. Lalu Pada pengukuran nilai suseptibilitas magnetik Low Field (lf) pada sampel yang akan diuji komposisi unsur besinya sebaiknya dilakukan juga pengukuran menggunakan suseptibilitas *High Field* (hf). Agar diketahui perbedaan mengenai kaitan komposisi unsur terhadap nilai suseptibilitas magnetik menggunakan *Low Field* (lf) dan *High Field* (hf).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Desain Akuisi

Penelitian ini dilakukan pada lapangan yang berukuran 1km x 1km. Spasi yang digunakan pada pengambilan data bervariasi yaitu 25m, 50m dan 100m dengan jumlah titik sebanyak 421 titik. Perbedaan spasi pada pengambilan data dikarenakan data yang digunakan merupakan data eksplorasi tambang. Spasi yang rapat merupakan indikasi zona prospek tambang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Titik Pengukuran

3.2. Perangkat Lunak

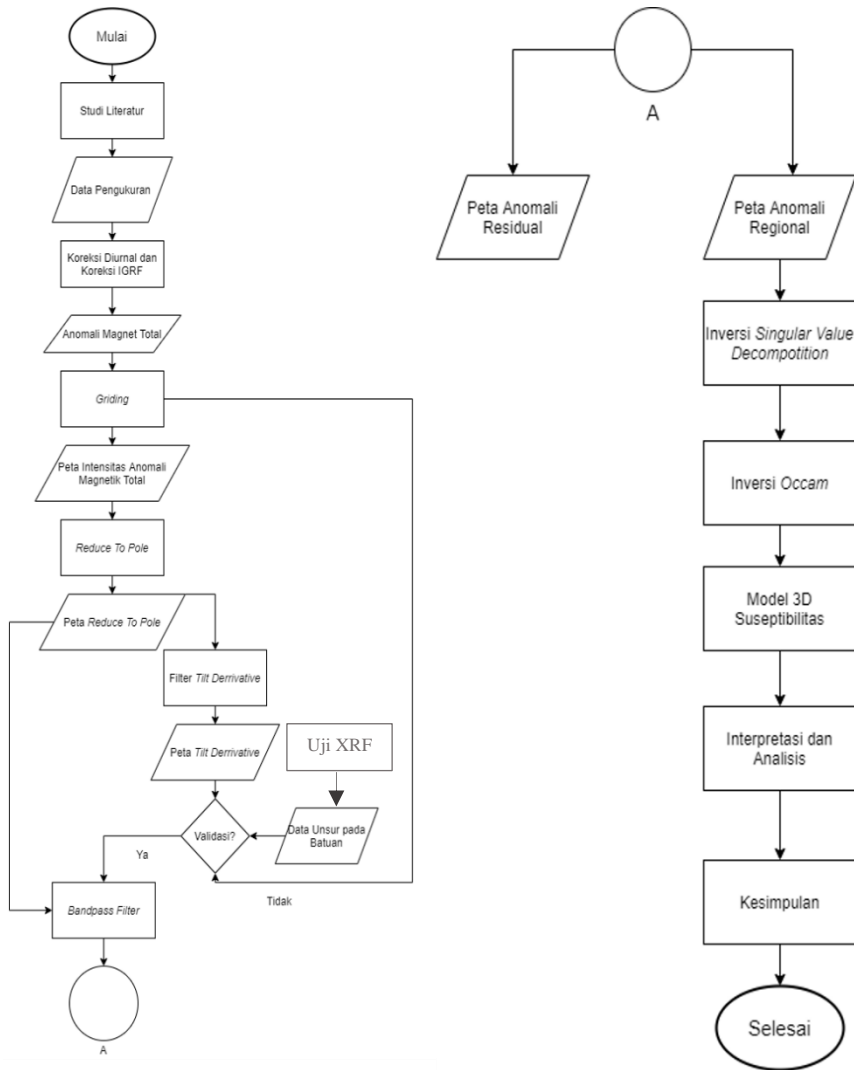
Penelitian ini menggunakan perangkat lunak untuk membantu pengolahan data. Perangkat lunak yang digunakan dijelaskan pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Perangkat Lunak yang digunakan dalam penelitian

Ms. Word 2016	Program pengolahan Kata
Ms. Excel 2016	Program manajemen data numerik
Oasis Montaj	Program pengolahan data magnetik

3.3. Diagram Alir Penelitian

Tugas akhir ini dikerjakan sebagaimana dengan alur pengerjaan yang tertera pada diagram dibawah



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Koreksi Harian

Koreksi harian merupakan variasi medan magnet yang sebagian bersumber dari medan magnet luar akibat perputaran arus listrik di dalam lapisan ionosfer. Koreksi harian yang dilakukan pada penelitian ini untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar.

3.4.2. Koreksi IGRF

International Geomagnetic Reference Field (IGRF) merupakan nilai kuat medan magnetik utama bumi. Koreksi ini diperlukan pada penelitian untuk menghilangkan medan magnet utama bumi daerah pengukuran sehingga data yang di dapatkan anomali daerah pengukuran. Anomali yang didapatkan setelah koreksi ini kemudian digunakan sebagai input membuat peta intensitas anomali total.

3.4.3. Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub adalah filter untuk menghilangkan efek arah medan magnet pada lokasi pengukuran. Filter ini mengubah data *dipole* menjadi *monopole* untuk mempermudah interpretasi.

3.4.4. Tilt Derivative

Tilt Derivative merupakan dari perbandingan antara komponen *vertical derivative* (VDR) dengan komponen *total horizontal derivative* (THDR) dari nilai intensitas magnetik. Filter ini digunakan untuk memperjelas batas antar anomali dan memperjelas anomali dangkal. Hasil dari filter ini selanjutnya digunakan sebagai input korelasi dengan data XRF.

3.4.5. Uji XRF

Uji XRF adalah uji sampel untuk mendapatkan unsur yang terdapat pada sampel (batuan). Sampel yang akan diuji menggunakan sampel yang diambil pada permukaan.

3.4.6. Bandpass Filter

Filter *Bandpass* dilakukan untuk meloloskan tapis tinggi dan tapis rendah. Sinyal yang diloloskan adalah sinyal yang memiliki panjang gelombang lebih kecil dari panjang gelombang *cutoff*. Filter ini digunakan untuk memisahkan anomali regional yang berfrekuensi rendah dan menghasilkan anomali yang dalam. Peta anomali regional selanjutnya digunakan sebagai parameter pembentukan model awal inversi 3D dikarenakan target penelitian adalah struktur yang akan terlihat jelas pada kedalaman 81meter.

3.4.7. Pemodelan Inversi 3D

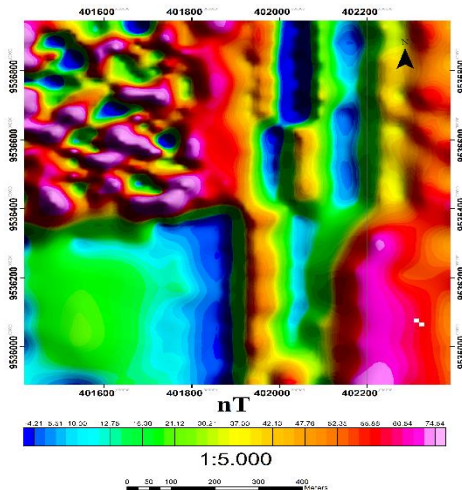
Pemodelan inversi yang digunakan adalah dengan mendiskrit anomali kedalam kubus-kubus yang nilai tiap kubusnya dihitung dengan teknik SVD lalu di-*smoothing* dengan inversi *occam* untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Pemodelan 3D ini menggunakan anomali regional sebagai parameter pembentukan model awalnya. Pemodelan inversi yang diaplikasikan dalam penelitian ini adalah memperkirakan model struktur bawah permukaan dalam bentuk persebaran nilai suseptibilitas dari data pengukuran metode magnetik.

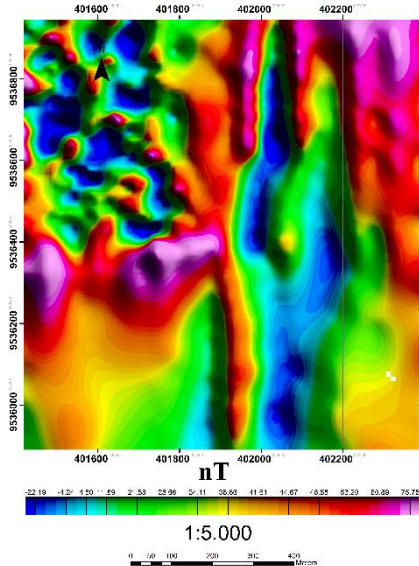
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Peta Intensitas Anomali Total Magnetik dan Peta *Reduced To Pole*

Untuk mendapatkan anomali magnetik (ΔH) dilakukan dengan perhitungan koreksi dengan menghilangkan nilai intensitas magnetik buminya (IGRF) dan nilai intensitas harian (Hvar). Hasil nilai anomali magnetik ini digunakan sebagai dasar untuk pemodelan peta 2 dimensi, berupa peta intensitas anomali magnetik (ΔH), peta reduksi ke kutub (RTP), dan peta filter. Peta intensitas anomali magnetik (ΔH) adalah peta yang menggambarkan distribusi nilai intensitas anomali magnetik sesuai dengan keadaan persebaran batuan di bawah permukaan bumi dengan satuan kemagnetan nanoTesla (nT). Peta intensitas anomali magnetik ini masih dipengaruhi oleh dua kutub bumi (*dipole*), sehingga posisi dari anomali di bawah permukaan bumi arah gaya magnetiknya belum tepat vertikal (sudut inklinasi) karena efek dari dua kutub yang mempengaruhinya. Nilai intensitas anomali yang masih dipengaruhi oleh dua kutub ini akan mempersulit interpretasi, karena posisi anomalnya belum tepat sesuai keadaan di bawah permukaan. Sehingga proses untuk memposisikan arah gaya dari anomali magnetik agar tepat vertikal di bawah permukaan yaitu dengan melakukan reduksi ke kutub (RTP). Reduksi ke kutub adalah proses mentransformasikan kearah kutub anomali *dipole* menjadi *monopole*, dengan cara mengubah sudut inklinasi menjadi vertikal (90°) dan sudut deklinasi dijadikan 0° .

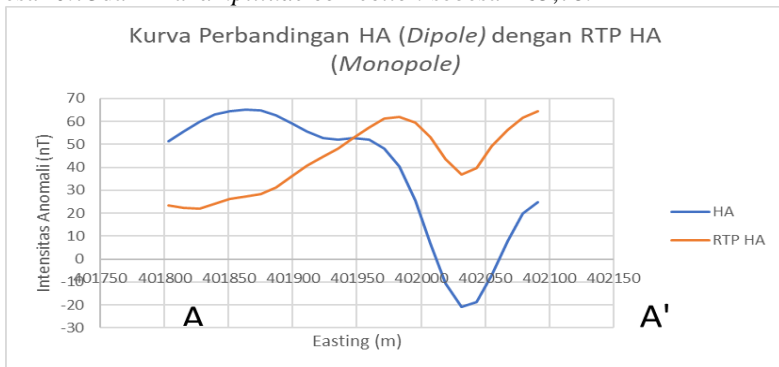


Gambar 4. 1 Peta Intensitas Anomali Total Magnetik

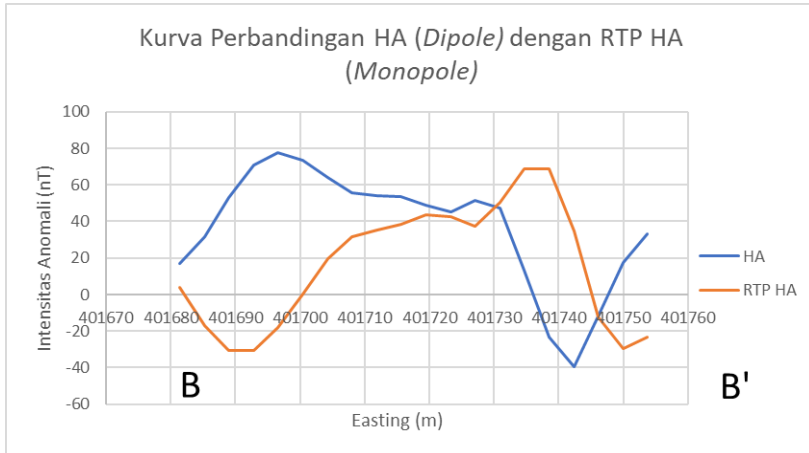


Gambar 4. 2 Peta *Reduced To Pole*

Peta intensitas anomali magnetik (ΔH) pada (Gambar 4.1) menunjukkan persebaran nilai intensitas anomali yang bervariasi dari nilai tinggi (ungu muda) sampai rendah (biru). Variasi nilai anomali magnetik ini memiliki nilai intensitas maksimal anomali magnetik yaitu sebesar 74,54 nT dan nilai intensitas minimal anomaly magnetik yaitu sebesar -4,21 nT. Peta intensitas anomali magnetik ini ditransformasikan ke arah kutub (RTP) untuk memposisikan arah gaya anomali magnetiknya agar tepat sesuai keadaan di bawah permukaan menjadi vertikal (*monopole*), dengan koreksi sudut inklinasi sebesar -24,22, sudut deklinasi sebesar 0.73 dan nilai *amplitude correction* sebesar -65,78.



Gambar 4. 3 Kurva Perbandingan HA dengan RTP HA Sayatan A – A'

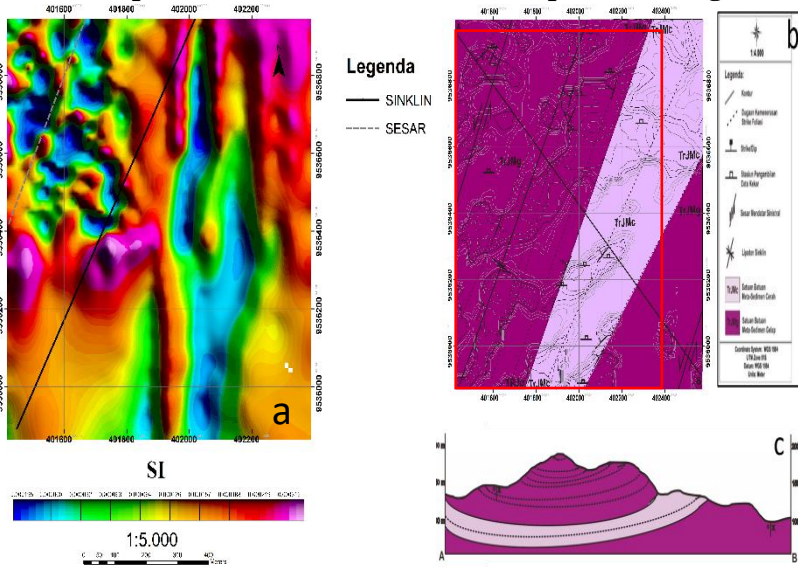


Gambar 4. 4 Kurva Perbandingan HA dengan RTP HA Sayatan B – B'

Peta intensitas anomali magnetik (ΔH) menunjukkan adanya penguatan nilai intensitas anomali secara lateral setelah dilakukan proses *reduce to pole* (Gambar 4.3 dan 4.4). Pada peta RTP juga terlihat adanya penguatan nilai anomali yang semula *range* intensitas anomali pada peta intensitas anomali total sebelum RTP menunjukkan nilai -4,21 nT sampai 74,54 nT, lalu setelah RTP range intensitas anomali nya menjadi -22,19 sampai 75,75.

Pada peta intensitas anomali magnetik (ΔH) sebelum di RTP memperlihatkan dominasi nilai intensitas tinggi (ungu muda) yang distribusinya tersebar pada daerah barat laut dan tenggara, dengan nilai intensitasnya berkisar antara 60,54 sampai 74,54 nT. Distribusi intensitas rendah tersebar pada bagian barat laut, selatan sampai barat daya dan utara dengan nilai intensitas berkisar antara -4,21 sampai 5,51 nT. Pada peta RTP distribusi intensitas anomali magnetiknya menjadi bergeser dimana pada distribusi nilai intensitas magnetik tinggi (ungu muda) persebarannya membentuk memanjang pada arah timur dan dari utara sampai timur laut, dengan nilai berkisar antara 60,89 sampai 75,75 nT. Persebaran nilai intensitas rendah (warna biru) membentuk *circular* dari barat sampai barat laut dan memanjang dari arah selatan ke utara, dengan nilai intensitas berkisar antara -22,19 sampai -4,24 nT.

4.2. Interpretasi Peta Reduce To Pole Suseptibilitas Magnetik

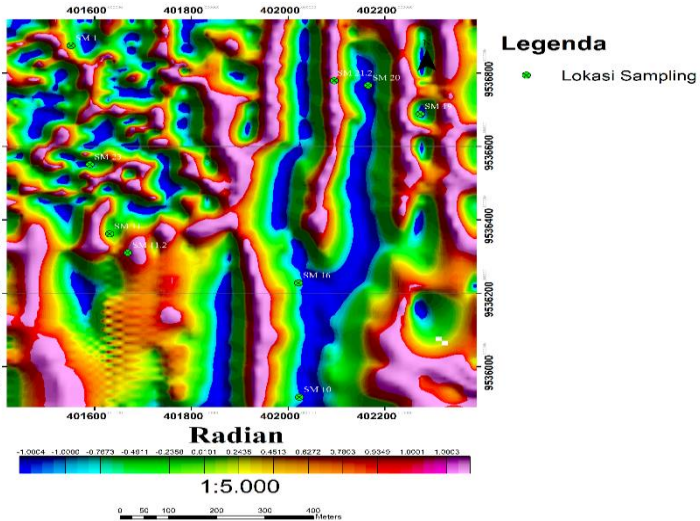


Gambar 4. 5 a) Peta *Reduced To Pole* Suseptibilitas, b) Peta Geologi Lokal Daerah Penelitian, c) Sayatan Geologi

Untuk mempermudah proses interpretasi peta RTP yang masih menggunakan intensitas magnetik dilakukan perhitungan suseptibilitas yang dapat dilihat hasilnya pada gambar 4.2. Perhitungan suseptibilitas dilakukan dengan membagi induksi magnetik dengan intensitas magnetik terukur. Interpretasi dari peta RTP (gambar 4.2 a) dilakukan dengan meng-*overlay* peta tersebut dengan peta geologi (gambar 4.2 b). Pada peta RTP suseptibilitas terlihat distribusi suseptibilitas tinggi (oranye sampai ungu muda) dengan nilai 0,000126 SI sampai 0,000316 SI yang merupakan yang berbentuk memanjang dari barat daya sampai timur laut dan selatan sampai utara. Rentang nilai suseptibilitas tinggi tersebut diduga sebagai *slate* berdasarkan tabel suseptibilitas (Tabel 2.1). Nilai suseptibilitas sedang (hijau) dengan rentang 0,000032 SI sampai 0,000094 SI diduga sebagai batuan filit. Distribusi nilai rendah berbentuk memanjang dari selatan hingga utara dan berbentuk sirkular di bagian barat laut dengan rentang nilai -0,000198 SI sampai 0 SI diinterpretasikan sebagai zona alterasi mineral. Zona alterasi yang dipengaruhi suhu tinggi hingga mencapai suhu *curie* menyebabkan nilai kemagnetan menjadi hilang sehingga suseptibilitasnya menjadi rendah, proses hilangnya nilai kemagnetan yang dipengaruhi oleh suhu yang tinggi ini disebut *Thermo Remanent Magnetization* (Telford dkk., 1990). Pada peta *reduced to pole* suseptibilitas, zona alterasi dibagi dua berdasarkan batuan dasarnya. Pada zona pertama yang di tandai oleh angka 1 pada peta,

diindikasikan sebagai zona alterasi yang batuan dasar sebelum alterasi adalah batuan *slate*. Pada daerah tersebut terdapat sisa batuan dasar yang belum teralterasi dibuktikan dengan adanya nilai suseptibilitas tinggi yang merupakan batuan *slate*. Dari nilai suseptibilitas tinggi tersebut dugaan pergeseran yang terjadi karena pengaruh sesar geser. Indikasi sesar tersebut dapat dilihat dari kepenerusan sisa batuan dasar yang ditandai oleh garis bantu. Pada zona kedua yang di tandai oleh angka 2 pada peta, diindikasikan sebagai zona alterasi yang batuan dasar sebelum alterasi adalah batuan filit. Hal tersebut dibuktikan dari hasil pengambilan sampel geologi di daerah penelitian. Struktur geologi yang terlihat pada peta RTP diindikasikan sebagai struktur yang mengontrol zona alterasi pada daerah penelitian.

4.3. Peta *Tilt Derivative* dan Analisa Korelasi dengan Data XRF

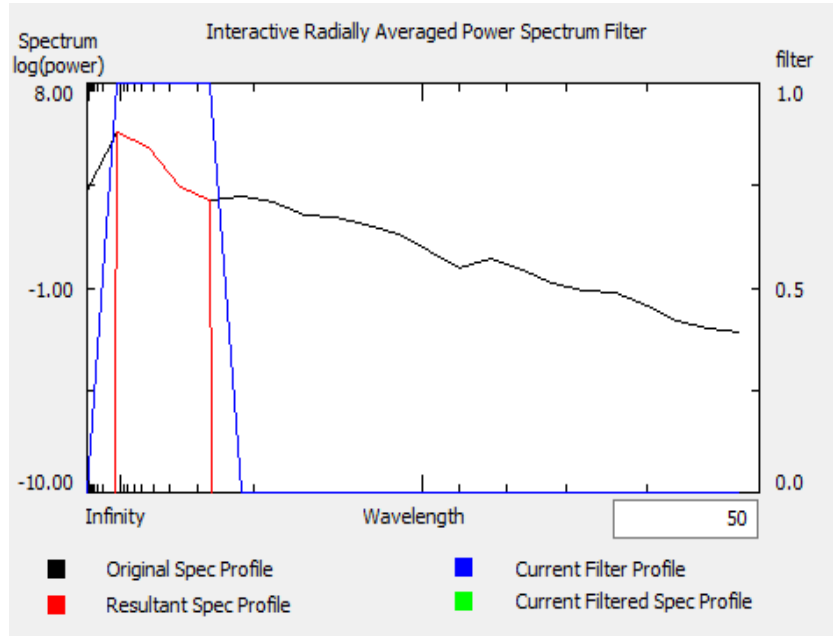


Gambar 4. 6 Peta *Tilt Derivative*

c Hasil uji xrf menunjukkan unsur-unsur yang teridentifikasi yaitu berupa Al, Si, P, K, Ti, V, Cr, Ca, Fe, Cu, Zn, Zr, dan Ba. Dari hasil uji XRF, diketahui bahwa pada sampel- pada sampel SM.1, SM 11, SM 11.2 dan SM 21.2 diketahui bahwa mineral silika yang terkandung lebih dari 50% pada setiap sampelnya. Sedangkan pada sampel-sampel pada SM 10, SM 16, SM 19, SM 20 dan 23 diketahui bahwa terdapat kandungan mineral logam yang lebih banyak konsentrasinya. Pada peta *tilt derivative* setiap sampel yang mengandung unsur silika lebih dari 50% mempunyai nilai kemagnetan tinggi dan setiap sampel yang kandungan mineral logam yang lebih banyak mempunyai nilai kemagnetan rendah. Hal tersebut mengindikasikan proses mineralisasi pada lapangan

penelitian dipengaruhi oleh suhu tinggi yang menyebabkan terjadinya *Thermo Remanent Magnetization* sehingga nilai kemagnetan pada logam menjadi rendah. Pada peta *tilt derivative* semakin menguatkan indikasi struktur yang terdapat pada daerah penelitian merupakan struktur yang mengontrol zona alterasi.

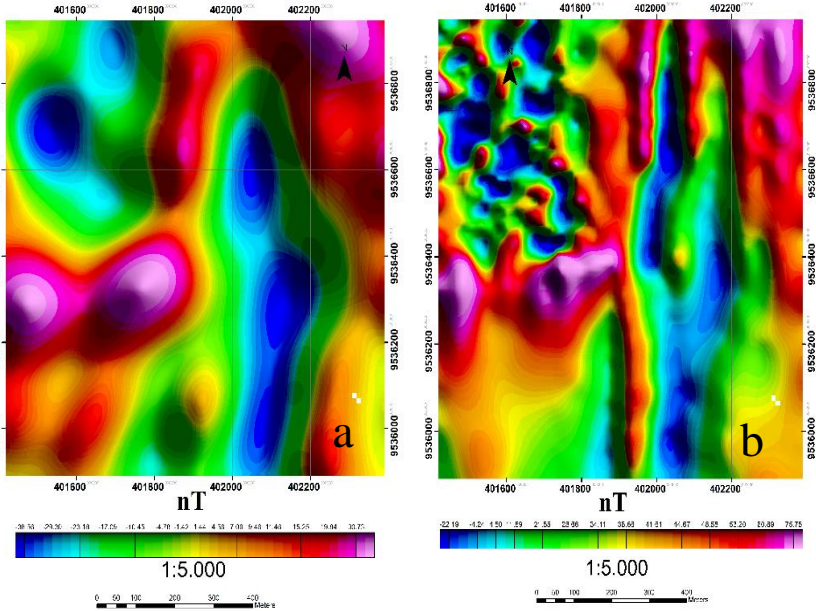
4.4. *Bandpass Filter Untuk Pemisahan Anomali Regional*



Gambar 4. 7 *Bandpass Filter Pemisahan Anomali Regional*

Filter *bandpass* adalah jenis filter yang digunakan untuk memisahkan nilai anomali regional dan lokal dari *cutoff* frekuensi dengan menyaring nilai frekuensi rendah dan tinggi. Pada prinsip gelombang, meloloskan nilai frekuensi rendah (*lowpass frequency*) yang dalam (Blakely, 1995). Peta regional bandpass filter ini dibuat dengan meloloskan frekuensi yang rendah (*lowpass frequency*) dapat menghasilkan peta anomali yang dalam. Anomali regional mempunyai frekuensi yang rendah dikarenakan panjang gelombang yang bernilai tinggi. Peta regional dibuat dengan peta dasar yaitu peta *reduce to pole* intensitas magnetik yang sudah dikoreksi posisi anomalnya menjadi *monopole*. Tujuan menggunakan filter *bandpass* ini yaitu untuk mengetahui posisi dan distribusi persebaran anomali yang dalam di daerah penelitian yang akan digunakan sebagai dasar pemodelan 3D.

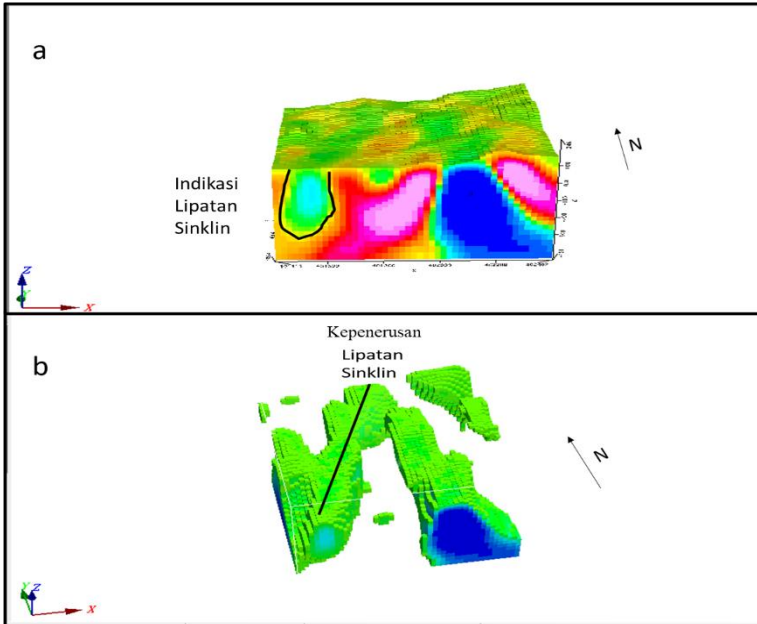
Parameter dari filter (dapat dilihat pada gambar 4.7) bandpass untuk mendapatkan peta regional ini yaitu pembatasan minimum *wavelength* sebesar 50 m. Dimana batas trend regional memiliki unsur *long wavelength* sebesar 1250 meter dengan *log spectrum* memiliki nilai 7 sedangkan unsur *short wavelength* sebesar 217 meter dengan *log spectrum* memiliki nilai -0.8.



Gambar 4. 8 a) Peta Hasil Bandpass Regional, b) Peta Sebelum Bandpass Regional

Pada peta regional (gambar 4.8 a) menunjukkan bentukan anomali-anomali yang dalam. Pada peta regional ini hasil filter *bandpass* dapat terlihat perbedaan bentuk anomali di pada lapangan penelitian. Perbedaannya pada kompleksitas bentukan anomali. Diperkirakan kompleksitas anomali pada gambar 4.8b merupakan anomali dangkal (residual). Sehingga data peta tersebut digunakan sebagai inputan untuk membuat permodelan 3D.

4.5. Model 3D Inversi Magnetik



Gambar 4. 9 a) Model 3D Anomali Regional b) Model 3D *Isosurface* dengan Nilai Suseptibilitas Rendah

Hasil pemodelan 3D memiliki kedalaman sampai 421m dan mempunyai distribusi nilai suseptibilitas rendah sampai tinggi. Nilai suseptibilitas tinggi (oranye sampai ungu muda) dengan nilai 0,000126 SI sampai 0,000316 SI diinterpretasikan sebagai batuan *slate*. Nilai suseptibilitas rendah (biru) dengan nilai -0,000198 SI sampai 0 diinterpretasikan sebagai batuan zona alterasi. Nilai suseptibilitas sedang rentang 0,000032 SI sampai 0,000094 diinterpretasikan sebagai batuan filit. Namun pada rentang nilai tersebut ditemukan adanya indikasi struktur berupa lipatan sinklin pada batuan *slate* yang menyebabkan nilai suseptibilitasnya menjadi rendah.

Pengindikasikan struktur lipatan dilihat dari garis pada gambar 4.9 a yang berbentuk struktur lipatan sinklin. Struktur lipatan sinklin ini mempunyai keenerusan dari barat daya sampai timur laut (dapat dilihat pada gambar 4.9b). Arah lipatan tersebut dibuktikan dengan menyamakan arah lipatan pada geologi dan terdapat kesamaan. Pada model 3D ini tidak ditemukan adanya indikasi struktur lain yang terdapat pada lapangan penelitian yaitu berupa sesar.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebaran nilai suseptibilitas pada daerah penelitian memiliki nilai suseptibilitas dengan distribusi rendah (-0,000198 SI sampai 0 SI) yang diindikasikan sebagai zona alterasi, sedang (0,000032 SI sampai 0,000094 SI) yang diinterpretasikan sebagai batuan filit dan tinggi (0,000126 SI sampai 0,000316 SI) yang diinterpretasikan sebagai batuan *slate*. Nilai suseptibilitas rendah diinterpretasikan sebagai zona alterasi yang dikelompokkan menjadi zona 1 dan zona 2. Pada zona 1, merupakan zona alterasi yang batuan dasar alterasinya adalah batuan *slate*. Pada zona 2, merupakan zona alterasi yang batuan dasarnya merupakan batuan filit yang dibuktikan dari pengambilan sampel pada lapangan.
2. Hasil uji XRF menunjukkan jika nilai kemagnetannya tinggi menunjukkan daerah tersebut mengandung mineral silika lebih dari 50%. Nilai kemagnetannya rendah menunjukkan daerah tersebut mengandung mineral logam yang lebih banyak. Rendahnya nilai kemagnetan ini disebabkan oleh proses *Thermo Remanent Magnetization*.
3. Pada model 3D inversi magnetik daerah penelitian terdapat indikasi struktur berupa sinklin yang dilihat dari bentuk modelnya. Kepenerusan lipatan sinklin tersebut dari barat daya sampai timur laut. Pada model dan data geologi terdapat kesamaan kepenerusan adanya dugaan lipatan sinklin.

5.2. Saran

Saran penulis yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Diperlukan studi geologi yang lebih luas untuk mendukung interpretasi pada daerah penelitian.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan metode geofisika yang lain seperti seismik untuk mengetahui batas lithologi sebagai studi pendugaan struktur pada daerah penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R.J. (1995), *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, Cambridge.
<http://doi.org/10.1017/cbo9780511549816>.
- Constable, S.C. (1987), *smooth I-*, Vol.52, No.3.
- Everett, M.E. (2013), *Near-surface applied geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge. <http://doi.org/10.1017/CBO9781139088435>.
- Fansuri, H. (2010), *Modul Pelatihan Operasional XRF*, Laboratorium Energi dan Rekayasa LPPM ITS.
- Grandis, H. (2009), *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Jakarta.
- Hamilton, W. (1979), "Tectonics of the Indonesian Region", *Geological Society of Malaysia, Bulletin*,.
- Harifan, E., Mahrizal dan Mufit, F. (2015), "ANALISIS KOMPOSISI UNSUR Fe TERHADAP NILAI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DI KOTA PADANG MENGGUNAKAN METODE X-RAY FLUORESCENCE (XRF)", *PILLAR OF PHYSICS*, Vol.5, No.April, hal. 57–64.
- Heningtyas, Wibowo, N.B. dan Darmawan, D. (2017), "Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode Geomagnet Di Jalur Sesar Oyo", *Jurnal Fisika*, Vol.6, hal. 138–148.
- Indrarini, F. dan Setiawan, A. (2015), *Pemodelan Struktur Bawah Permukaan 3D Purwokerto dan Sekitarnya Berdasarkan Data Anomali Gravitasi Bouguer Lengkap*, Vol.19, No.57, hal. 6–12.
- Munasir, Triwikantoro dan Zainuri, M. (2012), "UJI XRD DAN XRF PADA BAHAN MENERAL (BATUAN DAN PASIR) SEBAGAI SUMBER MATERIAL CERDAS (CaCO₃ DAN SiO₂)", *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, Vol.2, No.1, hal. 20–29.
- Patya, D.I., Rusdiana, D., Purwanto, C. dan Ardi, N.D. (2018), "Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik Batuan Di Laut Sulawesi", *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, Vol.5, No.1, hal. 57–63. <http://doi.org/10.36754/jmkg.v5i1.68>.
- Reynolds, J.M. (1997), *An introduction to applied and environmental geophysics*. <http://doi.org/10.1071/pvv2011n1550ther>.
- Setiani, N., Safani, J. dan Manam, A. (2019), *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Kota Kendari Berdasarkan Data Anomali Medan Magnetik Regional*, Vol.01, No.03, hal. 25–32.
- Sharma, P. V. (1997), *Environmental and Engineering Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge. <http://doi.org/10.1017/cbo9781139171168>.
- Silver, E., McCaffrey, R., Joyowiryo, Y. dan Steven, S. (1983a), "Collision, rotation and the initiation of subduction in the evolution of Sulawesi, Indonesia", *Journal of Geophysics Research*, Vol.88B, hal. 9407–9418.
- Silver, E., McCaffrey, R., Joyowiryo, Y. dan Steven, S. (1983b), "Ophiolite

- emplacement by collision between the Sula Platform and the Sulawesi Island Arc, Indonesia", *Journal of Geophysics Research*, Vol.88B, hal. 9419–9435.
- Simandjuntak, T.O., Surono dan Sukido (1993), *Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi*, Pusat Penelitian dan pengembangan Geologi, Bandung.
- Smith, R. (1983), "Sedimentary and tectonics of a Miocene collision complex and overlying late orogenic elastic stata: Buton island, Eastern Indonesia", *Unpubl. Ph.D. thesis University of California*,.
- Sukanto (1975a), "Geologic Map of Indonesia, Sheet VIII, Ujung Pandang, scale 1:1.000.000", *Geological Survey of Indonesia*,.
- Sukanto (1975b), "Perkembangan Tektonik di Sulawesi dan Daerah Sekitarnya, Suatu Sintesis Perkembangan Berdasarkan Tektonik Lempeng", *Majalah IAGI*, Vol.2, hal. 1–13.
- Surono (1994), "Stratigraphy of the Southeast Sulawesi Continental Terrane, Eastern Indonesia", *Journal Of Geology and Mineral Resources*, Vol.31, hal. 4–10.
- Surono (1997), "A provenance study of sandstones from the Meluhu Formation, Southeast Sulawesi, Eastern Indonesia", *Geology and Mineral Resources* 73, hal. 2–16.
- Surono dan Bachri, S. (2002), "Stratigraphy, sedimentation and palaeogeographic significance of the Triassic Meluhu Formation, Southeast arm of Sulawesi, Eastern Indonesia", *Journal of Asian Earth Sciences*, [http://doi.org/10.1016/S1367-9120\(01\)00037-2](http://doi.org/10.1016/S1367-9120(01)00037-2).
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press, Cambridge. <http://doi.org/10.1017/cbo9781139167932>.
- Van Bemmelen, R.W. (1949), "The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes" *Government Printing Office, The Hague*. <http://doi.org/10.1109/VR.2018.8447558>.
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M. dan MacKenzie, C. (2004), "New insights into magnetic derivatives for structural mapping", *Leading Edge (Tulsa, OK)*, <http://doi.org/10.1190/1.1651454>.

LAMPIRAN

Berikut ini adalah hasil pengukuran dari ke-sembilan sampel di lapangan penelitian, yaitu:

1. Sampel Stasiun 1
 - a. Singkapan di atas



Gambar A. Singkapan urat kuarsa pada stasiun 1 di bagian atas sungai.

Tabel A. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St.1 Atas

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	15	Al ₂ O ₃	18
Si	75.6	SiO ₂	78.1
Ca	0.81	CaO	0.4
Fe	7.98	Fe ₂ O ₃	3.73
Cu	0.2	CuO	0.074

b. Sungai dan bekas galian



Gambar B. Singkapan urat kuarsa pada stasiun 1 di bagian bawah dan bekas lubang galian.

Tabel B. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St.1 sungai atau lubang galian.

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	1.9	Al ₂ O ₃	2.2
Si	92.2	SiO ₂	95.3
K	0.09	K ₂ O	0.05
Ca	0.67	CaO	0.29
Fe	4.96	Fe ₂ O ₃	2.09
Cu	0.17	CuO	0.058

2. Sampel Stasiun 10



Gambar C. Singkapan urat kuarsa pada St. 10 di bagian selatan lapangan penelitian.

Tabel C. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St. 10 di bagian selatan wilayah lapangan penelitian.

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	14	Al ₂ O ₃	18
Si	35.7	SiO ₂	47.3
P	0.63	P ₂ O ₅	0.78
K	9.34	K ₂ O	6.25
Ti	2.17	TiO ₂	1.91
V	0.065	V ₂ O ₅	0.061
Cr	0.048	Cr ₂ O ₃	0.037
Fe	37.5	Fe ₂ O ₃	25.4
Cu	0.2	CuO	0.1

2. Sampel Stasiun 11



Gambar D. Singkapan lapisan batuan teroksidasi pada St. 11 di bagian barat lapangan penelitian.

Tabel D. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St. 11 di bagian barat wilayah lapangan penelitian.

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	13	Al ₂ O ₃	15
Si	60.4	SiO ₂	70.9
K	9.51	K ₂ O	4.94
Ti	1.61	TiO ₂	1.09
V	0.05	V ₂ O ₅	0.03
Fe	15.2	Fe ₂ O ₃	8.03
Cu	0.2	CuO	0.087
Zr	0.34	ZrO ₂	0.15
Ba	0.2	BaO	0.09

3. Sampel Stasiun 11.2



Gambar E. Singkapan urat kuarsa pada St. 11.2 di bagian barat lapangan penelitian.

Tabel E. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St. 11.2 di bagian barat wilayah lapangan penelitian

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	5.7	Al ₂ O ₃	6.6
Si	79.8	SiO ₂	86.9
K	4.91	K ₂ O	2.1
Ca	0.59	CaO	0.27
Ti	0.42	TiO ₂	0.24
V	0.02	V ₂ O ₅	0.01
Fe	8.42	Fe ₂ O ₃	3.84
Cu	0.17	CuO	0.062

4. Sampel Stasiun 16

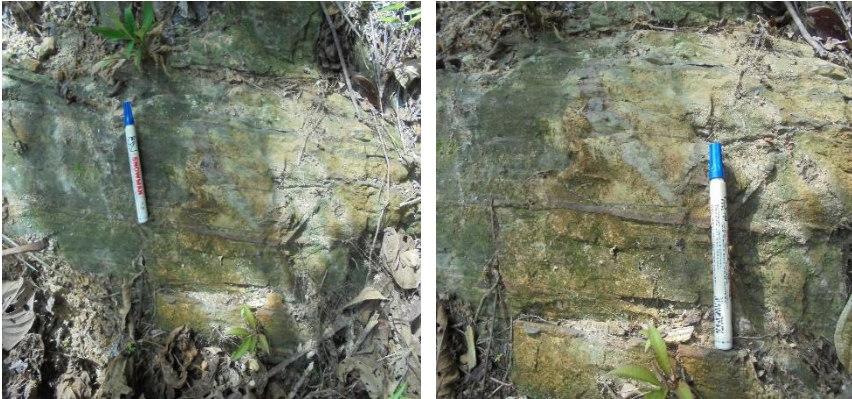


Gambar F. Singkapan lapisan batuan teroksidasi pada St. 16 di bagian barat lapangan penelitian.

Tabel F. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St. 16 di bagian barat wilayah lapangan penelitian.

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	6.1	Al ₂ O ₃	7.7
Si	59.6	SiO ₂	48.5
K	3.4	K ₂ O	3.94
Ca	0.43	CaO	0.28
Ti	0.57	TiO ₂	0.44
V	0.04	V ₂ O ₅	0.03
Fe	29.5	Fe ₂ O ₃	38
Cu	0.2	CuO	0.088
Ba	0.1	BaO	0.04

5. Sampel Stasiun 19



Gambar G. Singkapan lapisan batuan teroksidasi pada St. 19 di bagian timur laut lapangan penelitian.

Tabel G. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St. 19 di bagian timur laut lapangan penelitian.

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	11	Al ₂ O ₃	14
Si	28	SiO ₂	39.3
K	8.85	K ₂ O	6.65
Ti	1.1	TiO ₂	1.1
V	0.04	V ₂ O ₅	0.04
Cr	0.03	Cr ₂ O ₃	0.02
Fe	50.49	Fe ₂ O ₃	38.3
Cu	0.14	CuO	0.085
Zn	0.051	ZnO	0.029
Ba	0.34	BaO	0.23

6. Sampel Stasiun 20



Tabel H. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St. 20 di bagian timur laut wilayah lapangan penelitian.

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	9.1	Al ₂ O ₃	12
Si	26.6	SiO ₂	38.2
K	7.02	K ₂ O	5.28
Ti	0.85	TiO ₂	0.85
V	0.03	V ₂ O ₅	0.03
Cr	0.036	Cr ₂ O ₃	0.026
Fe	56	Fe ₂ O ₃	43.76
Cu	0.13	CuO	0.081
Ba	0.2	BaO	0.1

7. Sampel Stasiun 21.2



Gambar I. Singkapan lapisan batuan teroksidasi pada St. 21.2 di bagian utara wilayah IPR.

Tabel I. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St. 21.2 di bagian utara wilayah IPR.

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	6.8	Al ₂ O ₃	7.9
Si	70.8	SiO ₂	81
K	6.84	K ₂ O	3.28
Ca	0.51	CaO	0.28
Ti	0.72	TiO ₂	0.45
V	0.02	V ₂ O ₅	0.02
Fe	14	Fe ₂ O ₃	6.93
Cu	0.19	CuO	0.072
Ba	0.1	BaO	0.06

8. Sampel Stasiun 23

Gambar J. Singkapan lapisan batuan teroksidasi pada St. 23 di bagian barat



wilayah IPR.

Tabel J. Komposisi Unsur dan Senyawa pada sampel St. 23 di bagian barat wilayah IPR.

Unsur	Presentase(%)	Senyawa	Presentase (%)
Al	8.8	Al ₂ O ₃	10.9
Si	59.9	SiO ₂	47.5
K	8.45	K ₂ O	5.58
Ca	0.43	CaO	0.29
Ti	0.93	TiO ₂	0.67
V	0.03	V ₂ O ₅	0.03
Fe	21	Fe ₂ O ₃	34.8
Cu	0.19	CuO	0.081
Zn	0.054	ZnO	0.026
Ba	0.2	BaO	0.1

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Fauzanul Robbani Auly lahir di Padang, 27 November 1997. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di SD Kartika 1-12, Padang tahun kelulusan 2009, SMPN 1 Padang (2009-2012), SMAN 1 Padang (2012-2015) lalu penulis menempuh perkuliahan di Teknik Mesin Universitas Andalas pada 2015-2016. Lalu penulis menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS pada tahun 2016. Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS, penulis aktif dalam organisasi dan mendapatkan beberapa pengalaman. Penulis aktif di organisasi antara lain: Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS sebagai staff pengembangan sumber daya mahasiswa (2017-2018) dan sebagai Kepala Divisi Kaderisasi dan Pelatihan (2018-2019). Penulis juga memiliki beberapa pengalaman dalam kepanitiaan antara lain: sebagai staff Sie Perlengkapan di GEOSPHERE 2017 dan sebagai staff Sie Dokumentasi di GEOSPHERE 2019 yang diadakan oleh HMTG ITS; dan sebagai Ketua Pelaksana *Training For Trainee* 2017 yang diadakan oleh HMTG ITS. Selain itu penulis juga mempunyai riwayat pelatihan antara lain: LKMM tingkat Pra-TD yang diselenggarakan oleh BEM FTSP ITS (2016); dan LKMW yang diselenggarakan oleh BEM ITS (2016). Pada bidang akademik, penulis juga memiliki pengalaman pelatihan antara lain : *Field Trip* Wringinanom (2017) yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Geofisika ITS; Kuliah lapangan Karang Sambung (2018) yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Geofisika ITS; dan Kuliah Lapangan Terpadu Gondang, Bojonegoro (2019) yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Geofisika ITS. Selain itu penulis juga mempunyai pengalaman sebagai asisten laboratorium Geofisika Eksplorasi pada mata kuliah Eksplorasi Geolistrik. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tugas Akhir dapat menghubungi penulis melalui alamat e-mail fauzanulrobbani.auly@gmail.com.