

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAAN TANAH
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER-
SCHLUMBERGER (STUDI KASUS : DESA HARAPAN LAMPIA
KECAMATAN MALILI KABUPATEN LUWU TIMUR)**



**ANDI FIRMAN
H061 17 1513**



**PROGRAM GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITASA HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI *WENNER-
SCHLUMBERGER* (STUDI KASUS : DESA HARAPAN LAMPIA
KECAMATAN MALILI KABUPATEN LUWU TIMUR)**

**ANDI FIRMAN
H061 17 1513**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI *WENNER-
SCHLUMBERGER* (STUDI KASUS : DESA HARAPAN LAMPIA
KECAMATAN MALILI KABUPATEN LUWU TIMUR)**

**ANDI FIRMAN
H061 17 1513**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Geofisika

pada

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER-
SCHLUMBERGER (STUDI KASUS : DESA HARAPAN LAMPIA
KECAMATAN MALILI KABUPATEN LUWU TIMUR)**

ANDI FIRMAN

H061 17 1513

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Program Studi Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada
tanggal 08 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Geofisika
Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar
2024

Mengesahkan:

Pembimbing tugas akhir,



Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T., Sury

NIP. 196406161989031006

Mengetahui:

Ketua Departemen,



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng.

NIP. 19709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Studi Kasus : Desa Harapan Lampia Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur)" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing utama Prof.Dr.Ir.Muh.Altin Massinai, MT, Surv.IPM dan pembimbing pertama Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si., M.T. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, Agustus 2024



56846ALX325028822
ANDI FIRMAN
NIM. H061 17 1513

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah Rabbil 'Aalamiin, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas segala berkah, rahmat, dan karunia-nya yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, kekuatan, kesehatan, kesabaran, dan kesempatan kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul "Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Studi Kasus : Desa Harapan Lampia Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur)". Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan dan teladan umat manusia, Baginda Rasulullah SAW, beserta para keluarga dan sahabat yang senantiasa membawa kebaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Geofisika, Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Melalui kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu semasa penulis berjuang menuntut ilmu di perguruan tinggi dan semua pihak yang membantu kelancaran penelitian skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang teramat mendalam serta penghargaan setinggi-tingginya kepada Orang Tua saya Ayahanda **Alm. Andi Abu Bakar** dan Ibunda **Andi Cahaya** yang telah memberikan dorongan yang kuat baik motivasi, dukungan, bantuan berupa materil maupun non materil, serta doanya yang tidak pernah putus selama penulis menjalani studi hingga akhir penulisan tugas akhir ini. Semoga menjadi langkah awal untuk membuat ayah dan ibu bahagia dan bangga. Kepada ketiga saudara kesayangan penulis, **Andi Firdaus, Andi Faridah, Andi Fatmawati**, terima kasih atas segala doa, bantuan, dan canda tawanya, terima kasih karena selalu menunggu adikmu ini untuk pulang dan berkumpul bersama. Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan, dukungan, bimbingan, motivasi, serta nasehat dari berbagai pihak. Oleh karena dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya, serta Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, M.Si** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam beserta jajarannya.
2. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof.Dr.Ir.Muh.Altin Massinai, MT, Surv.IPM** selaku pembimbing utama dan Bapak **Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si.,M.T.** selaku pembimbing pertama yang dengan sabar, tulus, dan ikhlas meluangkan banyak waktu di tengah kesibukan dan prioritasnya untuk membimbing dan memberi masukan serta motivasi dalam penulisan skripsi.
4. Ibu **Dra. Maria, M.Si** selaku dosen penguji pertama dan Bapak **Syamsuddin, S.Si., M.T** selaku dosen penguji kedua yang telah

- meluangkan waktunya untuk memberikan masukan dan kritikan yang membangun terhadap penyempurnaan penulisan skripsi ini.
5. Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si.,M.T** selaku dosen pembimbing akademik yang selalu meluangkan waktunya dan memberi perhatian, bimbingan, nasihat serta motivasi.
 6. Bapak/Ibu **Dosen Program Studi Geofisika** yang telah mendidik dan memberikan ilmunya kepada penulis selama proses perkuliahan. Serta kepada **Staf dan Pegawai Departemen Geofisika** yang telah membantu dalam proses administrasi.
 7. Ibu **Bunga Tang, S.Pd** dan Ibu **Syamsiah** selaku tante penulis yang selalu memberikan doa, nasehat, dan dukungan baik secara moril maupun material selama masa perkuliahan hingga selesainya penulisan skripsi.
 8. Bapak **Syarifuddin DM** (Kru Survei CLM), Bapak **Frian Budi Mukti S.T** (Geos eksplorasi), Bapak **Erwin Kamaruddin, S.T** (Geos Eksplorasi), Bapak **Hengki Rizaldy, S.T**, Bapak **Idhul Adha Maknum Muller, S.T** (Eksternal CLM) dan Bapak **Hamzah** (Kru Survei CLM) terima kasih atas bantuan dan ilmunya selama Tugas Akhir di PT. CLM (Citra Lampia Mandiri)
 9. Kanda **Nurhidayat Nurdin S.Si** dan Kanda **Alm.Muhammad Adimaher Zamhuri, S.Si**, terimakasih telah membantu menyelesaikan tugas akhir terutama masalah teknis di lapangan.
 10. Teman seperjuangan seangkatan Geofisika 2017 (**Adhe, Ainun, Ajeng, Albar, Aldo, Ale', Ano, Andika, Angga, Aul, Aya, Bintang, Dandung, Danti, Daya, Desha, Dicky, Esi, Eki, Epi, Faishal, Fajar, Farid, Faqih, Firman, Gufa, Hikmah, Illa, Indra, Jefri, Karmila, Khalis, Khusnul, Melsi, Mifta, Mirna, Nea, Nia, Reza, Rina, Riri, Sindi, Syakirah, Tsaqif, Titien, Ucha, Unia, Wide, Yusrin, Zahari**) terima kasih atas segala cerita dan kesan yang terukir selama kuliah. Semoga perjuangan dan perjalanan yang dilalui menjadi saksi atas kesuksesan kita kelak.
 11. Keluarga Besar **UKM Renang Unhas** terima kasih atas kebersamaan yang telah memberikan banyak kesan dan mengukir kisah yang tidak akan terlupakan. "Berjaya Kita di Air"
 12. Keluarga Besar **IKADAH SINJAI** dan **IKADAH SULSEL** yang menjadi wadah bagi penulis untuk tumbuh dan berkembang serta memberikan banyak kesan dan pengalaman dalam berorganisasi.
 13. Sahabat **Hitec Group (Irfandi, Ahmad Fuad, Husnul Khatimah R dan Dian Adriana)** terima kasih karena selalu ada dan peduli, yang telah banyak memberikan bantuan, cerita dan pengalaman hidup kepada penulis selama menempuh studi.
 14. Sahabat Seperantauan Saudara **Agung Rinekso Ansori, Riska SM dan Kifani Jatting Palewo** terima kasih atas cerita dan kebersamaan yang terjalin selama penulis merantau dan menempuh pendidikan di Kota Makassar.
 15. Sahabat F4 (**Andi Fara, Muh.Faisal dan Fajri Hamzah**) terima kasih kebersamaanya selama ini.

16.Sahabat **AFM'S Swimming Club** terima kasih atas kesempatan dan pengalaman yang luar biasa yang diberikan kepada penulis selama menempuh studi.

17.Serta kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menempuh masa studi sampai pada tahap penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk memperbaiki kekurangan yang ada. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis.

Penulis,

Andi Firman

ABSTRAK

ANDI FIRMAN. **Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Studi Kasus : Desa Harapan Lampia Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur)** (dibimbing oleh Muh. Altin Massinai dan Muhammad Fawzy Ismullah M).

Latar Belakang. Kondisi geologi dan iklim berdampak pada lapisan tanah di suatu tempat, sehingga mengakibatkan struktur lapisan tanah di berbagai daerah bervariasi. Kondisi geologi dan iklim tersebut menyebabkan Indonesia khususnya Malili memiliki banyak potensi dan informasi-informasi geologi yang belum terungkap dengan jelas. Hal ini disebabkan karena pemetaan geologi yang dilakukan pada umumnya masih berskala regional 1: 250.000 dan membutuhkan penelitian lebih detail. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah di Desa Harapan Lampia Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur berdasarkan kondisi geologi daerah penelitian dan nilai resistivitas yang diperoleh. **Metode.** Penelitian ini menggunakan metode geolistrik resistivitas 2D konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dengan menggunakan 30 elektroda pada tiap lintasan. **Hasil.** Penelitian ini menggunakan 3 lintasan dengan panjang tiap lintasan sejauh 145 m. Lintasan 1 sebaran nilai resistivitas berkisar 19,7 Ωm - 404 Ωm . Lintasan 2 sebaran nilai resistivitas berkisar 11,7 Ωm - 400 Ωm . Lintasan 3 sebaran nilai resistivitas berkisar 16,5 Ωm - 402 Ωm . **Kesimpulan.** Berdasarkan hasil analisis penampang resistivitas, daerah penelitian terdiri dari dua jenis lapisan, antara lain lapisan pertama dengan rentang nilai resistivitas (102 Ωm - 402 Ωm) diinterpretasikan sebagai batupasir dan lapisan kedua dengan rentang nilai resistivitas (11,7 Ωm - 87,9 Ωm) diinterpretasikan sebagai batulempung.

Kata kunci : Geolistrik; *Wenner-Schlumberger*; Batupasir; Batulempung.

ABSTRACT

ANDI FIRMAN. **Identification of Subsurface Structures Using the Wenner-Schlumberger Configuration Geoelectric Method (Case Study: Harapan Lampia Village, Malili District, East Luwu Regency)** (supervised by Muh. Altin Massinai and Muhammad Fawzy Ismullah M).

Background. Geological and climatic conditions have an impact on the soil layers in a place, resulting in variations in the structure of the soil layers in various regions. These geological and climatic conditions mean that Indonesia, especially Malili, has a lot of potential and geological information that has not been clearly revealed. This is because the geological mapping carried out is generally still on a regional scale of 1: 250,000 and requires more detailed research. **Aim.** This research aims to determine the subsurface structure of the land in Harapan Lampia Village, Malili District, East Luwu Regency based on the geological conditions of the research area and the resistivity values obtained. **Method.** This research uses the Wenner-Schlumberger configuration 2D resistivity geoelectric method using 30 electrodes on each track. **Results.** This research uses 3 tracks with a length of each track of 145 m. Trajectory 1, the distribution of resistivity values ranges from 19.7 Ωm - 404 Ωm . Trajectory 2, the distribution of resistivity values ranges from 11.7 Ωm - 400 Ωm . Trajectory 3, the distribution of resistivity values ranges from 16.5 Ωm - 402 Ωm . **Conclusion.** Based on the results of the resistivity cross-sectional analysis, the research area consists of two types of layers, including the first layer with a resistivity value range (102 Ωm - 402 Ωm) interpreted as sandstone and the second layer with a resistivity value range (11.7 Ωm - 87.9 Ωm) interpreted as mudstone.

Keywords: Geoelectricity; Wenner-Schlumberger; Sandstone; Mudstone.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.2.1 Tujuan Penelitian	2
1.2.2 Manfaat Peneitian	2
1.3 Landasan Teori	2
1.3.1 Geologi Regional.....	2
1.3.2 Sifat Kelistrikan Batuan	4
1.3.3 Metode Geolistrik	5
1.3.4 Hubungan antara Geologi dan Resistivitas	12
1.3.5 Dasar Teori Inversi.....	13
1.3.6 Interpolasi Kriging	16
BAB II METODE PENELITIAN	17
2.1 Lokasi Penelitian	17
2.2 Alat dan Bahan.....	17
2.3 Metode Penelitian	18
2.3.1 Kajian Pustaka	18
2.3.2 Pengambilan Data.....	18
2.3.3 Pengolahan Data	18
2.3.4 Interpretasi	19
2.4 Bagan Alir Penelitian.....	20

BAB III HASIL PENELITIAN	21
3.1 Hasil	21
3.1.1 Hasil Lintasan 1	21
3.1.2 Hasil Lintasan 2	22
3.1.3 Hasil Lintasan 3	22
BAB IV PEMBAHASAN.....	24
4.1 Pembahasan	24
4.1.1 Pembahasan Lintasan 1	24
4.1.2 Pembahasan Lintasan 2	25
4.1.3 Pembahasan Lintasan 3	25
BAB V KESIMPULAN	27
5.1 Kesimpulan	27
DAFTAR PUSTAKA.....	28
LAMPIRAN.....	30

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Variasi Resistivitas Beberapa Jenis Material.....	5

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Peta Geologi Lembar Malili.....	2
2. Medium homogen isotropis dialiri listrik.....	6
3. Sumber Arus Tunggal di Dalam Bumi.....	7
4. Sumber Arus Tunggal di Permukaan Bumi.....	9
5. Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan.....	9
6. Aturan elektroda konfigurasi <i>Wenner Schulmberger</i>	11
7. Resistivitas semu.....	11
8. Jangkauan harga resistivitas batuan.....	13
9. Peta Lokasi Daerah Penelitian.....	17
10. Bagan Alir Penelitian.....	20
11. Penampang hasil inversi resistivitas lintasan 1.....	21
12. Penampang hasil inversi resistivitas lintasan 2.....	22
13. Penampang hasil inversi resistivitas lintasan 3.....	22
14. Interpretasi hasil inversi resistivitas lintasan 1.....	24
15. Interpretasi hasil inversi resistivitas lintasan 2.....	25
16. Interpretasi hasil inversi resistivitas lintasan 3.....	25

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi geologi dan iklim berdampak pada lapisan tanah di suatu tempat, sehingga mengakibatkan struktur lapisan tanah di berbagai daerah bervariasi. Kondisi geologi dan iklim tersebut menyebabkan Indonesia khususnya Malili memiliki banyak potensi dan informasi-informasi geologi yang belum terungkap dengan jelas. Hal ini disebabkan karena pemetaan geologi yang dilakukan pada umumnya masih berskala regional 1: 250.000 dan membutuhkan penelitian lebih detail. Ilmu geofisika memanfaatkan konsep dasar fisika untuk menemukan struktur di bawah permukaan bumi, salah satu metode yang digunakan yaitu metode geolistrik. Metode Geolistrik merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk menyelidiki kondisi geologi bawah permukaan (Hendrajaya dan Arief, 1990).

Metode geolistrik adalah metode geofisika yang mengidentifikasi struktur bawah tanah dengan menggunakan karakteristik arus listrik di bumi seperti yang ditentukan oleh hukum kelistrikan. Ide di balik metode ini adalah untuk mengalirkan arus listrik ke media tanah untuk menciptakan beda potensial di bawah permukaan tanah yang membawa data tentang resistivitas (Prasetiawati, 2004).

Pengukuran satu dimensi (1D), dua dimensi (2D), dan tiga dimensi (3D) semuanya dapat digunakan dengan pendekatan geolistrik. Model dua dimensi (2D) digunakan untuk pengukuran bawah permukaan dan memungkinkan variasi nilai resistivitas baik secara vertikal maupun horizontal disepanjang jalur pengukuran. Pengukuran dua dimensi (2D) memberikan data yang akurat dengan biaya survei yang lebih rendah. Oleh karena itu, pengukuran tersebut lebih banyak digunakan (Loke, 2004).

Konfigurasi yang dapat digunakan juga bervariasi, antara lain *Wenner*, *Schlumberger*, *Wenner-schlumberger*, *Pole-Pole*, *Pole-dipole*, dan *Dipole-dipole*. Adapun pada penelitian ini akan digunakan pengukuran secara 2D dengan konfigurasi *Wenner-schlumberger*. Metode ini dipilih karena lebih ekonomis dan mudah dalam pengambilan data lapangan. Selain itu, konfigurasi yang digunakan juga memberikan gambaran bawah permukaan baik secara *mapping* (horizontal) dan *sounding* (vertikal). Sebagai halnya yang telah dilakukan (Oktavia *et al.*, 2020) tentang "Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis sebagai Informasi Awal Rancang Bangun Pondasi Bangunan" dan (Yogi *et al.*, 2020) tentang "Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Sekitar Daerah Jembatan Kuning di Desa Korek Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner-Schlumberge*" yang menggunakan Metode yang sama.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian dengan judul "Mengidentifikasi Struktur Bawah Permukaan Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* di Desa Harapan Lampia Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur".

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.2.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah di Desa Harapan Lampia Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur berdasarkan kondisi geologi daerah penelitian dan nilai resistivitas yang diperoleh.

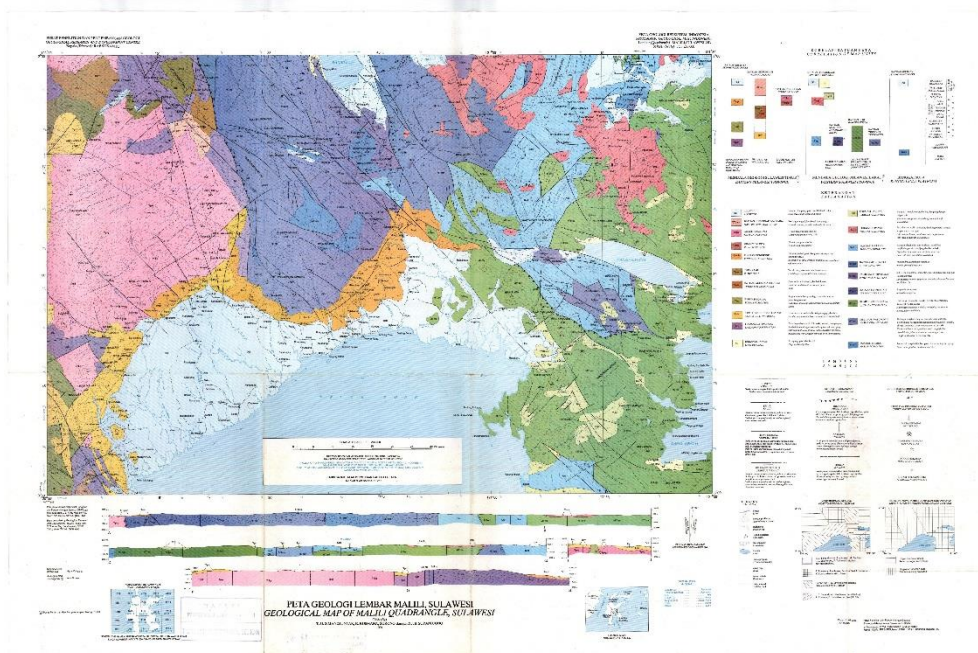
1.2.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Harapan Lampia Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur dengan harapan memberikan informasi dan gambaran struktur permukaan lokasi penelitian.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Geologi Regional

Secara regional lembar Malili termasuk Mandala geologi Sulawesi Timur dan Mandala geologi Sulawesi Barat, dengan batas sesar Palu Koro yang membujur hampir utara selatan. Mandala geologi Sulawesi Timur dapat dibagi menjadi dua lajur (Telt): lajur batuan malihan dan lajur ofiolit Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan ultramafik dan batuan sedimen petagos Mesozoikum (Simandjuntak et al., 1991), Seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Malili (Simandjuntak et al., 1991).

Batuan metamorf dan jalur ofiolit Sulawesi Timur yang tersusun dari batuan ultramafik dan batuan sedimen petagos Mesozoikum merupakan dua jalur (Telt) yang membentuk Mandala Geologi Sulawesi Timur. Sabuk vulkanik Paleogen dan Neogen, intrusi Neogen, dan sedimen flysch Mesozoikum yang diendapkan di pinggiran benua (Paparannya Sunda) inilah yang membentuk Mandala Geologi Sulawesi Barat.

Batuan tertua di Mandala Geologi Sulawesi Timur adalah batuan ultrabasa seperti harzburgit, dunit, piroksenit, dan serpentin, serta batuan mafik lokal seperti gabro dan basal. Meskipun umur pastinya tidak diketahui, diperkirakan sebanding dengan ofiolit di lengan timur Sulawesi, yang diyakini berumur Kapur sampai Tersier Awal (Simandjuntak, 1986).

Lajur metamorf yang disebut kompleks Pompangeo dapat ditemukan di bagian barat Mandala ini. Itu terdiri dari berbagai jenis sekis hijau, termasuk sekis mika, sekis hornblenda, sekis glaukofan, filit, batu tulis, batu kapur berdaun atau alabaster, dan breksi lokal. mengaku tidak lebih tua dari Kapur. Formasi Matano diendapkan secara tidak merata di atas ofiolit; bagian yang lebih tinggi terdiri dari rijang radiolaria, argilit, dan batulempung napal, sedangkan bagian bawah terdiri dari rijang radiolaria dengan peningkatan jumlah insersi kalsilit di bagian atas. Formasi ini menunjukkan umur Zaman Kapur berdasarkan keberadaan fosil. Komplek bancuh bawah tanah (Melange Wasuponda) dengan fragmen batuan asing dengan berbagai ukuran, termasuk serpentin, pikrik, rijang, batu kapur berdaun, sekis, amphibolt, dan eclogite, juga terdapat di Mandala ini. Wilayah Wasuponda serta wilayah Ensa, Koro Mudi, dan Petumbea semuanya termasuk batuan tektonik terbuka yang diperkirakan berasal sebelum Tersier. (Simandjuntak, 1986).

Batuan sedimen Post-orogenik Neogen (Kelompok Molasa Sulawesi) diendapkan secara tidak selaras di atas strata awal selama Zaman Miosen Akhir. Formasi Larona yang secara tipikal terdiri dari klastik kasar yang diendapkan pada habitat laut dangkal hingga terestrial, dan Formasi Tomata yang terdiri dari klastik halus hingga kasar termasuk dalam kelompok ini. Hingga Pliosen, pengendapan ini berlangsung terus.

Formasi Latimojong yang diperkirakan berumur Kapur Akhir merupakan batuan tertua di Mandala Geologi Sulawesi Barat. Seri flysch yang mencakup konglomerat dan sisipan rijang radiolaria, berganti-ganti antara argilit, filit, sabak, dan bangun di batuan ini. Di pinggiran Benua Sunda inilah batuan-batuan ini dianggap telah diendapkan. Formasi Toraja yang tersusun oleh serpih, batugamping, batupasir, dan konglomerat diendapkan secara tidak beraturan di atasnya. Itu berasal dari Eosen hingga Miosen Tengah (Djuri dan Sudjatmiko, 1974).

Aktivitas vulkanik bawah laut terjadi sepanjang Zaman Oligosen, menghasilkan lava bantal dan breksi dengan karakter basa hingga sedang. Batuan Vulkanik Lamasi terbentuk oleh bebatuan. Beberapa dari struktur ini telah naik di atas permukaan laut pada Miosen Tengah (Batu Vulkanik Tineba dan Tufa Rampi), selama itu aktivitas ini terus berlangsung. Formasi Bone-Bone, yang terdiri dari endapan turbidit dan pergeseran antara konglomerat dan klastik halus, diendapkan secara tidak selaras di atasnya. Banyak fosil foram kecil yang ditemukan di strata ini berasal dari Miosen

Akhir hingga periode Pliosen. Aktivitas vulkanik Plio-Plistosen dan bahkan Holosen menghasilkan produksi lava andesit dan puing-puing piroklastik (Batu Gunungapi Masamba). Terdapat dua batuan intrusi granit, satu dari Miosen Akhir dan yang lainnya dari Pliosen. Sudut barat laut lembar peta berisi jumlah yang cukup besar dari yang terakhir. Mineralisasi hidrotermal tercipta ketika granit di wilayah Miosen Akhir Palopo menembus Formasi Latimojong dan Formasi Toraja. Alluvium, yang meliputi endapan sungai, danau, dan pantai, merupakan jenis batuan termuda di kawasan ini. Jangkauannya terbentang jauh ke selatan Danau Poso dan utara Teluk Bone.

1.3.2 Sifat Kelistrikan Batuan

Lapisan-lapisan tanah yang menyusun bumi memiliki komposisi tanah yang bermacam-macam. Kemampuan setiap lapisan tanah untuk menghantarkan listrik dapat dipengaruhi oleh komposisi tanah. Setiap lapisan tanah memiliki arus dan potensial listrik alami yang dipengaruhi oleh komposisi lapisan tanah karena komposisi tersebut terdiri dari satu atau lebih atom yang bersama-sama membentuk struktur kimiawi (Vebrianto, 2016).

Kemampuan batuan untuk menghantarkan arus listrik bergantung pada konduktivitasnya. Biasanya, bahan dengan resistivitas kurang dari $10^{-8} \Omega m$ dianggap sebagai konduktor, sedangkan bahan dengan resistivitas lebih besar dari $10^7 \Omega m$ dianggap isolator. Dan bahan semikonduktor terletak di antara keduanya. Ada beberapa elektron bebas dengan mobilitas sangat tinggi di dalam konduktor. Sebaliknya, ada lebih sedikit elektron bebas dalam semikonduktor. Ikatan ion adalah karakteristik isolator, mencegah elektron valensi bebas bergerak (Prastiho et al., 2018).

Secara umum, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga berdasarkan harga resistivitas listriknya (Telford et al., 1990) yaitu:

1. Konduktor baik : $10^{-8} < \rho < 1 \Omega m$
2. Konduktor pertengahan : $1 < \rho < 10^7 \Omega m$
3. Isolator : $\rho > 10^7 \Omega m$

Harga tahanan jenis batuan tergantung macam-macam materialnya, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori-pori batuan, kandungan air, kualitas dan suhu. Variasi resistivitas beberapa jenis material ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 1. Variasi Resistivitas Beberapa Jenis Material (Telford, 1990)

Material	Resistivity (Ωm)
Udara	~
Pirit	0,1-100
Kwarsa	500-800000
Kalsit	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
GaramBatu	$30 - 1 \times 10^{13}$
Granit	200-10000
Andesit	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basal	200-100000
Gamping	500-10000
BatuPasir	200-8000
BatuTulis	20-2000
Pasir	1-1000
Lempung	1-100
Air Tanah	0,5-300
Air Asin	0,2
Magnetit	0,01-1000
KerikilKering	600-1000
Aluvium	10-800
Kerikil	100-600

1.3.3 Metode Geolistrik

Metode geolistrik adalah salah satu yang digunakan untuk penyelidikan bawah permukaan memanfaatkan karakteristik arus listrik dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Metode ini dikenal sebagai geolistrik resistivitas atau Metode tahanan jenis dengan memanfaatkan sepasang elektroda arus untuk menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah menghasilkan beda potensial dan arus listrik yang dapat diukur. Sepasang elektroda potensial digunakan untuk mengukur beda potensial (Nisa et al., 2012).

Metode geolistrik tahanan jenis dapat dibagi menjadi 2 kelompok besar, yaitu :

1. Metode resistivitas Mapping (Pendugaan secara horisontal)

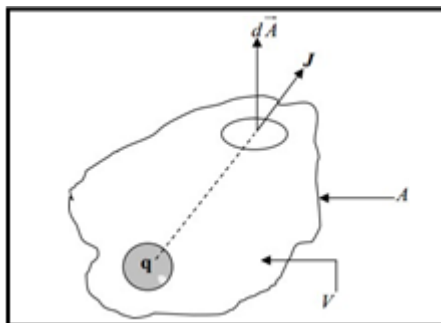
Metode dengan jarak elektroda ini sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi. Metode ini dilakukan untuk mempelajari variasi sebaran resistivitas lapisan bawah permukaan secara horisontal. Pengukuran pada suatu titik sounding (titik amat) dilakukan dengan jarak spasi elektroda yang tetap untuk semua titik sounding di permukaan bumi.

2. Metode resistivitas Sounding (Pendugaan secara vertikal)

Metode ini untuk menafsirkan perbedaan batuan vertikal dengan menyesuaikan jarak elektroda, pengukuran dilakukan pada titik sounding. Dimulai dengan nilai jarak minimum, jarak elektroda diubah secara bertahap. Semakin dalam batuan dapat dideteksi, semakin jauh jarak antara elektroda (Hendrajaya dan Arif, 1990).

1.3.3.1 Potensial pada Media Homogen

Bumi diasumsikan sebagai medium yang homogen isotropis, maka perjalanan arus yang kontinu pada medium bumi dapat digambarkan seperti pada Gambar 2 berikut (Siregar, 2006):



Gambar 2. Medium homogen isotropis dialiri listrik (Hendrajaya dan Arif, 1990) jika $d\vec{A}$ adalah elemen luas dan \vec{J} adalah kerapatan arus listrik (A/m^2), maka besarnya arus listrik (I) (Telford *et al.*, 1990) dirumuskan:

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

sedangkan menurut Hukum Ohm rapat arus dan medan listrik yang ditimbulkannya dirumuskan sebagai berikut:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (2)$$

Dengan \vec{E} dalam volt/meter (V/m) dan σ adalah konduktivitas medium (S/m), karena medan listrik merupakan gradien potensial ditulis sebagai :

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V \quad (3)$$

Maka dengan mensubstitusikan persamaan (3) ke persamaan (2) maka diperoleh persamaan :

$$\vec{j} = -\sigma \vec{\nabla} V \quad (4)$$

Arus yang mengalir dalam bumi homogen isotropik didasarkan pada hukum kekekalan muatan yang ditulis dalam bentuk:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = \frac{\partial q}{\partial t} \quad (5)$$

Untuk arus stasioner berlaku persamaan berikut:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0 \quad (6)$$

Sehingga persamaan (4) disubstitusikan ke persamaan (6) maka:

$$\vec{\nabla} \cdot (-\sigma \vec{\nabla} V) = 0 \quad (7)$$

Dengan menggunakan aturan diferensial, Persamaan (7) dapat dituliskan:

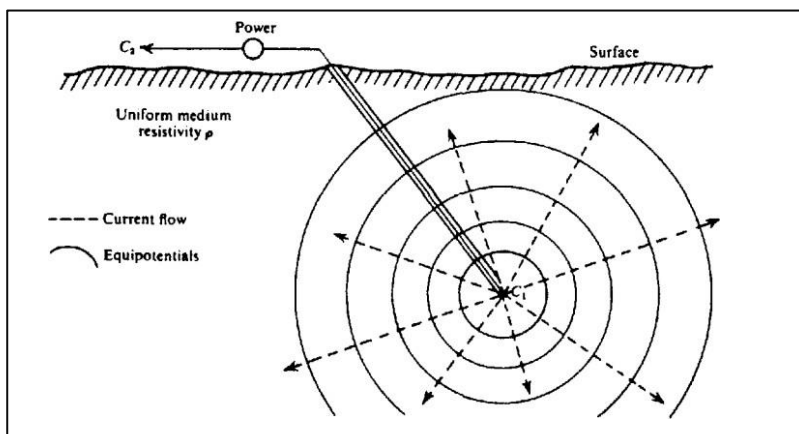
$$\vec{\nabla} \sigma \cdot \vec{\nabla} V + \sigma \vec{\nabla} V = 0 \quad (8)$$

Jika arus stasioner dengan koefisien konduktivitas konstan, maka suku pertama pada persamaan (8) dapat diabaikan sehingga diperoleh persamaan Laplace dengan potensial harmonik:

$$\vec{\nabla}^2 V = 0 \quad (9)$$

persamaan (9) termasuk dalam teori dasar penyelidikan geolistrik tahanan jenis (Hendrajaya dan Arif, 1990).

1.3.3.2 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Dalam Bumi



Gambar 3. Sumber Arus Tunggal di Dalam Bumi (Telford et al., 1990)

Pada medium homogen dengan (ρ) konstan pada seluruh ruang maka potensial (V) akibat suatu sumber arus tunggal (I) lebih sesuai jika dibahas dalam sistem koordinat bola seperti diilustrasikan pada Gambar 3. Karena sifat simetri yang ditinjau dalam hal ini tidak berotasi dan berevolusi maka potensial hanya sebagai fungsi jarak r dari sumber, sehingga persamaan (9) dapat dinyatakan sebagai (Telford et al., 1990):

$$\vec{\nabla}^2 V = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (10)$$

Integrasi sebanyak dua kali terhadap persamaan (10) sehingga diperoleh:

$$\int r^2 \frac{dV}{dr} dr = 0 \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = P \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (11)$$

$$V = \int \frac{P}{r^2} dr = -\frac{P}{r} + Q \quad (12)$$

Dengan P dan Q merupakan konstanta integral yang nilainya bergantung pada

syarat batas dengan menerapkan bahwa potensial pada jarak tidak berhingga memiliki harga sama dengan nol ($V = 0, r = \infty$), maka $Q = 0$, sehingga persamaan (12) menjadi:

$$V = -\frac{P}{r} \quad (13)$$

Substitusi persamaan (4) pada persamaan (1) maka diperoleh:

$$I = (-\sigma \nabla V) 4\pi r^2 \quad (14)$$

Karena V hanya dipengaruhi oleh r maka persamaan (11) disubstitusikan ke persamaan (14), sehingga diperoleh:

$$I = -4\pi r^2 \sigma \left(\frac{P}{r^2} \right) \quad (15)$$

Atau dapat ditulis:

$$P = -\frac{I}{4\pi\sigma} \quad (16)$$

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$, maka persamaan (16) dapat ditulis:

$$P = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (17)$$

Persamaan (17) disubstitusikan pada persamaan (13) maka diperoleh:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (18)$$

Dengan,

V = Potensial Listrik (Volt)

ρ = Resistivitas (Ohm.m)

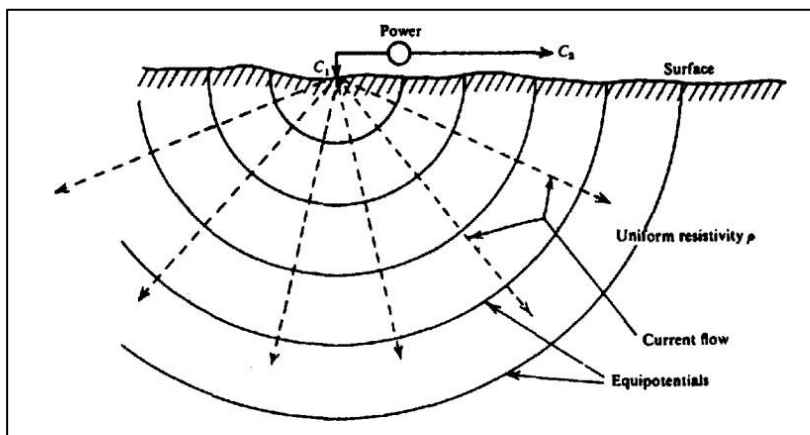
I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

P = Konstanta

J = Rapat Arus (A/m²)

σ = Konduktivitas (S/m)

1.3.3.3 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Permukaan Bumi



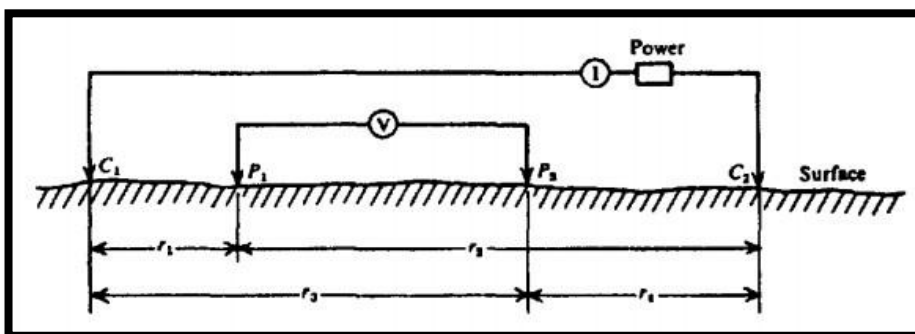
Gambar 4. Sumber Arus Tunggal di Permukaan Bumi (Telford et al., 1990)

Suatu sumber arus berada di permukaan medium homogen isotropik seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4. Permukaan equipotensial membentuk setengah bola karena konduktivitas listrik di udara sama dengan nol. Dengan demikian persamaan (18) dapat ditulis sebagai (Telford et al., 1990):

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (19)$$

1.3.3.4 Potensial oleh Dua Sumber Arus di Permukaan Bumi

Jika dua elektroda arus berada di permukaan bumi (Gambar 5), maka besarnya nilai potensial di permukaan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut (Telford et al., 1990)



Gambar 5. Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan (Telford et al., 1990)

Potensial di titik P_1 yang ditimbulkan oleh arus C_1 adalah:

$$V_{P11} = \left(\frac{I\rho}{2\pi r_1} \right) \quad (20)$$

Dan potensial di titik P₁ yang ditimbulkan oleh arus C₂ adalah:

$$V_{P12} = \left(-\frac{I\rho}{2\pi r_2}\right) \quad (21)$$

Potensial total di titik P₁ yang dipengaruhi oleh arus C₁ dan C₂ adalah:

$$V_1 = V_{P11} + V_{P12} \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (22)$$

Dengan cara yang sama maka potensial di titik P₂ yang dipengaruhi oleh arus C₁ dan C₂ adalah:

$$V_2 = V_{P21} + V_{P22} \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right) \quad (23)$$

Beda potensial antara P₁ dan P₂ adalah:

$$\Delta V = V_1 - V_2 \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right] \quad (24)$$

Sehingga dipeoleh persamaan:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} - \frac{\Delta V}{I} \quad (25)$$

Atau dapat dituliskan:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (26)$$

Dengan,

ΔV = Beda Potensial (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

ρ = Resistivitas (Ohm.m)

r_1 = Jarak Antara C₁ dan P₁ (m)

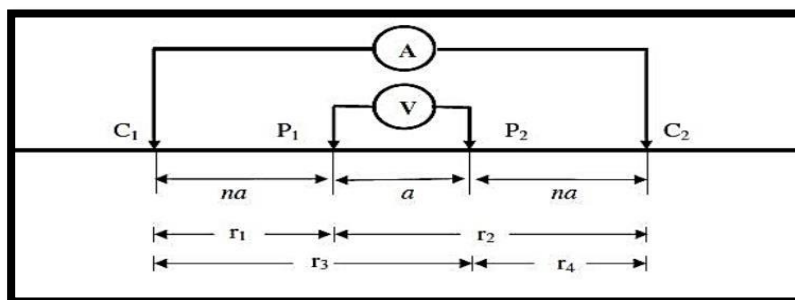
r_2 = Jarak Antara C₂ dan P₁ (m)

r_3 = Jarak Antara C₁ dan P₂ (m)

r_4 = Jarak Antara C₂ dan P₂ (m)

K = Faktor Geometri Elektroda

1.3.3.5 Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger



Gambar 6. Aturan elektroda konfigurasi *Wenner Schulmberger* (Loke, 2004)

Persamaan untuk menghitung faktor geometri Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*:

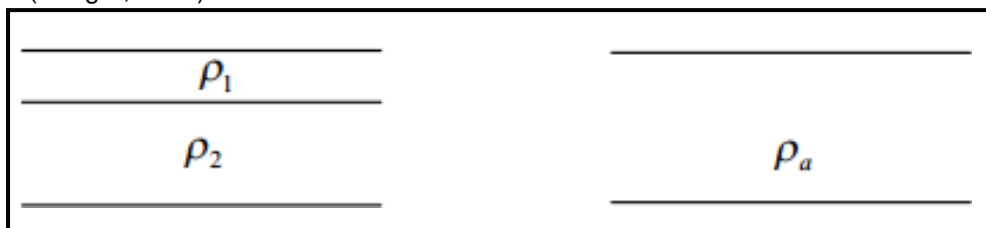
$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{(a+na)} \right) - \left(\frac{1}{a+na} - \frac{1}{na} \right) \right]} \quad (27)$$

$$K = \pi n (n + 1) a \quad (28)$$

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* pada dasarnya merupakan pengembangan dari desain *Wenner* dengan konfigurasi *Schlumberger*, seperti terlihat pada Gambar 6 memiliki keunggulan memiliki resolusi vertikal yang tinggi, kemampuan mendeteksi perubahan nilai resistivitas secara horizontal, sensitivitas lateral yang tinggi terhadap dampak ketidakhomogenan material di bawah permukaan bumi, dan ketiganya (Mulyani *et al.*, 2016).

1.3.3.6 Konsep Resistivitas Semu

Meskipun diasumsikan bahwa bumi adalah homogen dan isotropik, sebenarnya bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan resistivitas (ρ) yang berbeda-beda, sehingga resistivitas yang terukur bukanlah resistivitas yang sebenarnya. Akibatnya, terutama pada jarak yang sangat jauh, resistivitas yang diukur adalah resistivitas semu (ρ_a) yang merupakan nilai resistivitas untuk satu lapisan saja (lihat Gambar 7). Resistivitas media hipotetis homogen yang setara dengan media berlapis yang ekuivalen dikenal sebagai resistivitas semu. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 7 (Siregar, 2006).



Gambar 7. Resistivitas semu (Siregar, 2006)

Medium berlapis yang ditinjau misalnya terdiri dari 2 lapis dan mempunyai resistivitas berbeda-beda (ρ_1 dan ρ_2). Dalam pengukuran, medium ini terbaca sebagai medium satu lapis homogen yang memiliki satu harga resistivitas yaitu resistivitas semu ρ_a . Resistivitas semu dirumuskan dengan:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (29)$$

K merupakan faktor geometri yang bergantung pada susunan elektroda, jadi nilai resistivitas semu (ρ) untuk konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dapat dihitung dengan rumus (Loke, 2004)

$$\rho_a = \pi n(n + 1) a \frac{\Delta V}{I} \quad (30)$$

Dengan,

ρ_a = Resistivitas semu (Ohm.m)

K = Faktor geometri

ΔV = Beda potensial pada MN (V)

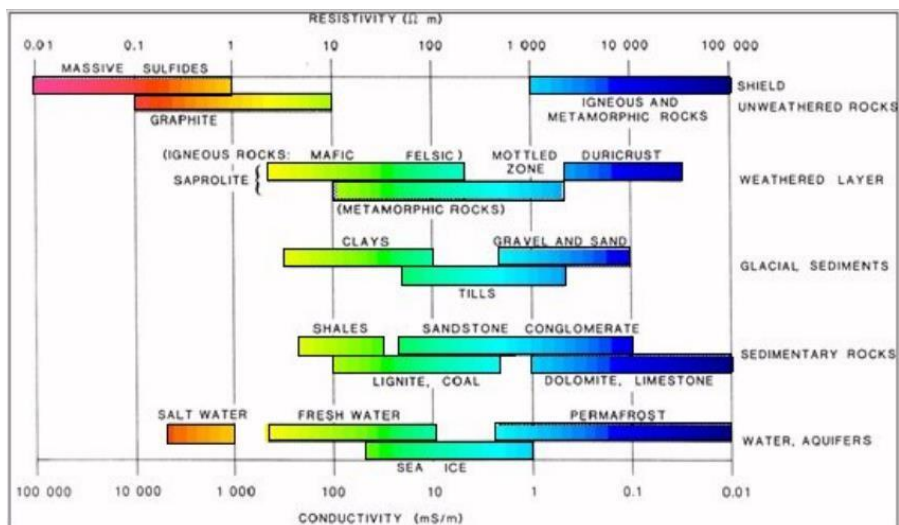
I = Kuat arus (A)

Cukup sulit untuk memahami bagaimana resistivitas semu dan resistivitas sebenarnya berhubungan satu sama lain. Penting untuk menggunakan perangkat lunak komputer untuk membalikkan nilai resistivitas semu untuk menemukan resistivitas sebenarnya di bawah permukaan (Loke, 1999).

1.3.4 Hubungan antara Geologi dan Resistivitas

Distribusi resistivitas bawah permukaan diuraikan oleh survei resistivitas. Gambar resistivitas diubah menjadi gambaran geologi daerah, dan nilai resistivitas digunakan untuk menghitung berbagai jenis material bawah permukaan (Loke, 1999).

Setiap batuan di dunia memiliki kisaran nilai kelistrikan yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis batuan berdasarkan nilai resistivitasnya, atau sebaliknya. Gambar 8 menampilkan nilai range untuk setiap jenis batuan. Misalnya, batuan lempung memiliki nilai 5 – 100 Ω m. Nilai ini dipengaruhi oleh jenis batuan serta kandungan fluida pori-pori dan jumlah pori batuan (Prameswari *et al.*, 2012).



Gambar 8. Jangkauan harga resistivitas batuan (Prameswari *et al.*, 2012)

Batuan sedimen seringkali memiliki kandungan air yang lebih besar, lebih berpori, dan memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah. Bahkan nilai resistivitas yang lebih rendah ditemukan di tanah lembab dan air tanah segar. Biasanya, tanah liat kurang resistif dibandingkan tanah berpasir. Peringkat resistivitas klasifikasi batuan dan tanah yang berbeda, bagaimanapun, tumpang tindih jika Anda melihat lebih dekat. Hal ini disebabkan berbagai parameter tambahan, termasuk porositas, derajat kejenuhan air, dan konsentrasi garam terlarut, mempengaruhi resistivitas batuan atau tanah.

1.3.5 Dasar Teori Inversi

Tujuan mendasar dari semua metode inversi adalah untuk mengidentifikasi model bawah permukaan yang responnya, dalam batas tertentu, berkorelasi dengan data terukur. Nilai resistivitas sel model berfungsi sebagai parameter model dan nilai resistivitas semu yang diukur berfungsi sebagai data dalam metode berbasis sel yang digunakan oleh program *RES2DINV*. Metode *finite-difference* atau elemen hingga menyediakan hubungan matematis antara parameter model dan respons model untuk model resistivitas 2D.

Semua Metode pengoptimalan mencakup modifikasi model asli secara iteratif untuk mengurangi perbedaan antara respons model dan nilai data yang diamati. vektor Column 'y' yang mewakili kumpulan data yang diamati dapat dituliskan sebagai (Loke, 2004).

$$y = \text{col} (y_1, y_2, \dots, \dots, y_m) \quad (31)$$

banyaknya pengukuran disimbolkan m . Respon model y_0 dapat ditulis :

$$y_0 = \text{col} (y_{01}, y_{02}, \dots, \dots, y_{0m}) \quad (32)$$

Nilai resistivitas yang digunakan adalah logaritma nilai resistivitas semu untuk datayang diamati dan respon model. Parameter model dapat dituliskan sebagai berikut:

$$x = \text{col}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (33)$$

Dengan n adalah banyaknya parameter model. Perbedaan antara data pengukuran dengan respon model adalah:

$$\Delta y = y - y_0 \quad (34)$$

Metode optimasi *least-square*, model awal dimodifikasi sedemikian rupa sehingga jumlah kuadrat error E dari perbedaan antara respon model dengan data hasil pengukuran dapat diperkecil.

$$E = \Delta y^T \Delta y \quad (35)$$

Persamaan Gauss-Newton untuk menentukan perubahan dalam parameter model yang dapat mengurangi kesalahan jumlah kuadrat.

$$\Delta x_i = [G^T G]^{-1} G^T \Delta y \quad (36)$$

Dengan Δx Perubahan Parameter Model dan G adalah matrix Jacobi dari turunan parsial. Elemen matrix Jacobi diberikan persamaan:

$$G_{ij} = \frac{\partial y_{0i}}{\partial X_j} \quad (36)$$

Perubahan parameter model ke -i yang disebabkan oleh perubahan parameter model ke -j. Model baru diperoleh dari perhitungan perubahan parameter model, yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$x_{k+1} = \Delta x_k + x_k \quad (38)$$

Pada kenyataannya, inversi geofisika hampir tidak pernah digunakan secara terpisah dari persamaan kuadrat terkecil langsung. Dalam beberapa kasus, matrix $[G^T G]$ singular, sehingga persamaan last-squares tidak memiliki solusi untuk Δx_i (Loke, 2004). Jika model awal buruk dan sangat berbeda dari model yang digunakan hal itu dapat terjadi. Nilai model baru tidak akan realistis karena komponen signifikan dari perubahan parameter diturunkan menggunakan persamaan (36).

Persamaan *Gauss-Newton* dapat dimodifikasi dengan menggunakan pendekatan *Marquardt-Levenberg* sebagai berikut:

$$\Delta x_i = [G^T G + \lambda I]^{-1} G^T \Delta y \quad (39)$$

Dengan I adalah matrix identitas, faktor λ disebut sebagai *Marquardt* atau *damping*. Faktor *damping* secara efektif membatasi rentang nilai komponen perubahan parameter Δx_i . Metode Gauss-Newton pada saat perhitungan berupaya

meminimalkan jumlah kuadrat dari vektor perbedaan. Sedangkan modifikasi Metode Marquardt-Levenberg berupaya meminimalkan kombinasi besarnya vektor perbedaan dan parameter perubahan vektor. Metode ini telah berhasil digunakan dalam inversi data resistivitas *sounding* yang terdiri dari lapisan-lapisan kecil. Namun jika jumlah parameter model besar, yang terdiri dari sejumlah sel kecil, model ini dapat memiliki distribusi resistivitas yang tidak menentu pada daerah dengan nilai resistivitas rendah atau tinggi sehingga tidak merepresentasikan kondisi sebenarnya. Persamaan Gauss-Newton dimodifikasi lebih lanjut guna meminimalkan variasi spasial pada parameter model sehingga didapatkan Metode kuadrat terkecil *smoothness-constraint* sebagai berikut (Loke, 2004):

Faktor λ tersebut dikenal sebagai *Marquardt* atau damping dimana I adalah matriks identitas. Kisaran nilai komponen perubahan parameter Δx_i secara efektif dibatasi oleh faktor redaman. Pada saat perhitungan, Metode *Gauss-Newton* bertujuan untuk mengurangi jumlah kuadrat selisih vektor. Sedangkan penyesuaian metode *Marquardt-Levenberg* bertujuan untuk mereduksi baik perubahan parameter vektor maupun besarnya perbedaan vektor. Metode ini telah digunakan untuk membalikkan data resistivitas *sounding* yang terdiri dari lapisan tipis. Namun, model ini mungkin memiliki distribusi resistivitas yang tidak beraturan dengan nilai resistivitas rendah atau tinggi, sehingga didapatkan Metode kuadrat terkecil *smoothness-constraint* sebagai berikut (Loke, 2004):

$$\Delta x_i = [G^T G + \lambda F]^{-1} G^T \Delta y \quad (40)$$

dengan,

$$F_R = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z \quad (41)$$

Dan C_x , C_y dan C_z merupakan matrix (*smoothing matrices*) pada arah x, y, z dan α_x , α_y dan α_z adalah suatu besaran nilai *smoothness filter* yang diberikan pada arah x, y, z. Persamaan (40) juga mencoba meminimalkan kuadrat dari perubahan spasial dari nilai resistivitas model. Metode ini sebenarnya adalah Metode optimasi *smoothness-constrained* normalisasi l_2 . Model yang dibuat menggunakan Metode ini seringkali memiliki variasi nilai resistivitas yang halus. Jika resistivitas bawah permukaan sebenarnya bervariasi secara halus dan bergradasi pendekatan ini dapat diterima (Loke, 2004).

Dalam contoh lain, geologi bawah permukaan terdiri dari sejumlah bagian yang hampir homogen di bagian dalam tetapi memiliki batas yang jelas antar daerah yang berbeda. Dalam situasi seperti ini, dimungkinkan untuk memodifikasi rumus inversi persamaan (40) untuk mengurangi keseluruhan perubahan nilai resistivitas model. Metode ini umumnya disebut sebagai Metode inversi blok atau Metode pengoptimalan dengan kendala kelancaran normal (Metode pengoptimalan dengan kendala kelancaran normal). Pendekatan iterasi kuadrat terkecil *reweighted* adalah salah satu cara paling sederhana untuk menggunakan rumus kuadrat terkecil saat menerapkan Metode optimasi l_1 . Penyesuaian berikut dapat dilakukan pada persamaan (40) (Loke, 2004):

$$\Delta x_i = [G^T G + \lambda F_R]^{-1} G^T \Delta y \quad (42)$$

Dengan

$$F_R = \alpha_x C_x^T R_m C_x + \alpha_y C_y^T R_m C_y + \alpha_z C_z^T R_m C_z \quad (43)$$

R_m merupakan *weighting matrices* sehingga elemen-elemen yang berbeda dari data *misfit* dan model *roughness* diberikan bobot yang sama dalam proses inversi. Sebagai contoh, jika diketahui bahwa variasi resistivitas bawah permukaan cenderung terbatas pada area tertentu, maka nilai dari dapat dimodifikasi sedemikian rupa sehingga perubahan kondisi area yang signifikan dapat diterima. Persamaan (36) memberikan Metode yang dapat dimodifikasi lebih lanjut jika diperlukan, termasuk informasi geologi bawah permukaan (Loke, 2004).

1.3.6 Interpolasi Kriging

Istilah “kriging” nama seorang spesialis bernama D.G. Krige, orang pertama yang menggunakan korelasi spasial dan estimator yang tidak memihak. Dengan menerapkan kombinasi linier dari variabel-variabel yang diketahui, kriging adalah metode untuk memprediksi nilai suatu variabel pada lokasi atau blok yang tidak memiliki nilai sampel (Octova et al., 2020).

Metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang diketahui adalah interpolasi. Interpolasi yang digunakan dalam pemetaan, adalah metode estimasi nilai di tempat-tempat yang belum diukur untuk menciptakan distribusi nilai di seluruh area (Pranomo, 2008).

Dalam pendekatan geolistrik 2D, pola nilai antara titik datum yang tidak terukur harus diestimasi dengan menggunakan Metode interpolasi. Penampang resistivitas akan dibuat menggunakan pola nilai. Akibatnya, penampang menjadi beraneka warna, dengan masing-masing warna menunjukkan nilai dari yang terkecil hingga yang terbesar. Menggunakan interpolasi Kriging, bagian resistivitas diproduksi dengan lokasi datum yang diketahui.

Persamaan untuk menghitung nilai estimasi pada titik tertentu adalah sebagai berikut (Isaaks dan Srivastava, 1989).

$$Z_A = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (44)$$

dengan,

Z_A = nilai estimasi pada titik A,

n = jumlah data yang akan digunakan

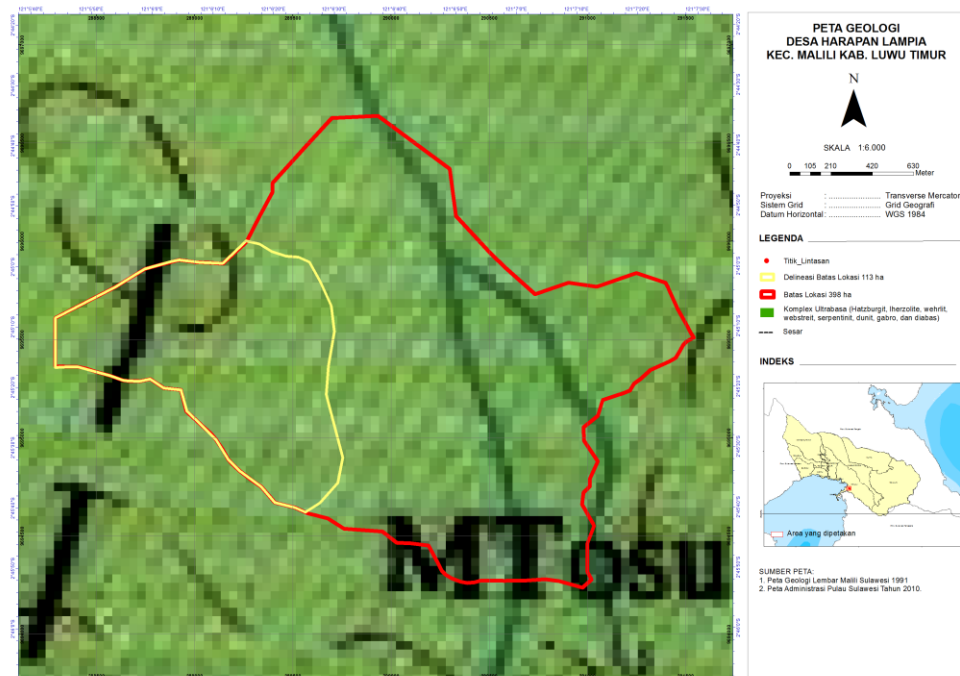
W_i = nilai pembobotan pada lokasi i

Z_i = nilai yang terukur pada lokasi i

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Harapan Lampia Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Pengukuran yang dilakukan menggunakan Metode geolistrik resistivitas 2D konfigurasi *Wenner Schlumberger*.



Gambar 9. Peta Lokasi Daerah Penelitian (Modifikasi Peta Google Earth, 2022)

2.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk akuisisi, pengolahan data dan interpretasi pada penelitian ini :

a. Akuisisi

1. *Resistivity Meter Multi-channel*
2. *Kabel Multi-channel*
3. Konektor
4. Elektroda (30 buah)
5. *Jumper* (30 buah)
6. Aki
7. Palu
8. *GPS (Global Positioning System)*
9. Larutan NaCl

b. Pengolahan dan interpretasi data

1. Laptop dengan Aplikasi terinstal (Microsoft Office Excel dan Word, Software Res2Dinv, Google Earth dan Notepad.
2. Printer

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Kajian Pustaka

Dalam kajian Pustaka meliputi pengumpulan berbagai macam literatur berupa informasi dari kajian geologi daerah yang mencakup area penelitian seperti jenis batuan yang berada pada area penelitian serta mempelajari bahan bacaan berupa artikel penelitian tentang geolistrik agar dapat mempermudah dalam melakukan interpretasi.

2.3.2 Pengambilan Data

Penentuan pengukuran dilakukan dengan panjang bentangan sekitar 145 meter dengan spasi elektroda terkecil 5 meter. Kemudian untuk melakukan pengukuran resistivitas secara umum dilakukan dengan menginjeksikan arus ke dalam tanah melalui dua buah elektroda arus (C1 dan C2) serta mengukur hasil beda potensial yang ditimbulkannya dari dua elektroda potensial (P1 dan P2). Dalam pengambilan data, elektroda disiram dengan larutan NaCl untuk mempermudah pembacaan dan menghindari nilai eror pada alat pembacaan. Pada penelitian yang dilakukan menggunakan data pendukung berupa data geologi. Prosedur pengambilan data resistivitas sebagai berikut:

1. Membuat peta lintasan pengukuran dengan Metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner-Schulmberger*. Lintasan pengukuran dibuat jarak dan panjang lintasan 145 meter dengan spasi antara 5 meter.
2. Menyusun rangkaian alat yang digunakan dengan menghubungkan elektroda dengan kabel ke *Main Unit Geomative Seri GD-10*.
3. Melakukan pengambilan data secara langsung di lapangan setelah alat sudah dipastikan dalam posisi baik.

2.3.3 Pengolahan Data

1. Data yang diperoleh dari pengukuran adalah nilai arus (I) dan beda potensial (V) titik pengukuran.
2. Melakukan perhitungan faktor geometri dari nilai $AB/2$ dan $MN/2$.
3. Menghitung nilai resistivitas semu dari faktor geometri sesuai konfigurasi.
4. Memasukan data yang diperoleh dalam *software Res2Dinv*.
5. Melakukan inversi untuk mendapatkan model penampang dari hasil pengukuran. Proses inversi data, Inversi nilai resistivitas dilakukan untuk mendapatkan nilai resistivitas material dan memunculkan penampang 2D. Proses inversi data menggunakan "Least-square inversion" pada *software Res2Dinv*.
6. Data resistivitas hasil inversi memiliki nilai eror yang disebut RMSE (*Root Mean Squared Error*). Nilai RMSE merupakan nilai eror yang menunjukkan perbedaan

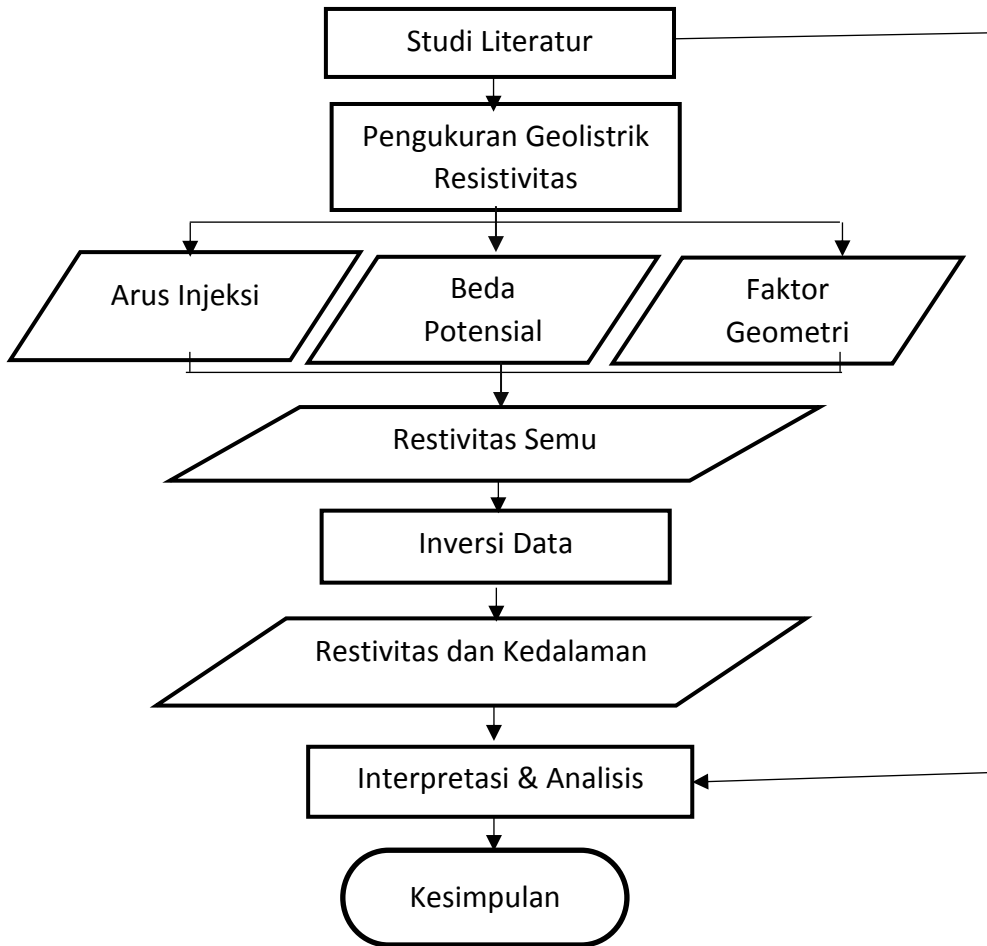
antara nilai resistivitas semu hasil pengukuran (*Measured Apparent Resistivity*) dan nilai resistivitas semu hasil perhitungan (*Calculated Apparent Resistivity*). Maka dari itu dilakukan Proses *trimming*. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan data-data yang merupakan *noise*. Proses pemilihan dan eliminasi data yang diduga *noise* dalam *software Res2DInv* disebut sebagai proses "*Bad Data Points Extermination*".

7. Menyimpan hasil dari *software Res2DInv*.

2.3.4 Interpretasi

Hasil penampang resistivitas 2D diinterpretasi dengan tabel resistivitas batuan sebagai acuan, kemudian peta geologi sebagai data pendukung untuk mengidentifikasi dan mengkorelasikan lapisan geologi regional yang ada di bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas. Pada tahap ini nantinya akan diperoleh perbedaan warna untuk nilai-nilai tahanan jenis permukaan penelitian berdasarkan nilai resistivitas yang ditampilkan pada gambar penampang hasil olahan data dan kedalaman lapisan. Perbedaan nilai tahanan jenis ini dapat mengidentifikasi struktur bawah permukaan tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner Schlumberger* di daerah penelitian.

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 10. Bagan Alir Penelitian