

Skripsi Geofisika

**Penentuan Zona Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Tahanan
Jenis di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros**

Disusun dan Diajukan Oleh:

MUHAMMAD FAJAR

H061171503



**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

HALAMAN JUDUL

**Penentuan Zona Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Tahanan
Jenis di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros**

SKRISPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

OLEH:

MUHAMMAD FAJAR

H061171503

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**Penentuan Zona Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Tahanan
Jenis di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD FAJAR

H061171503

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

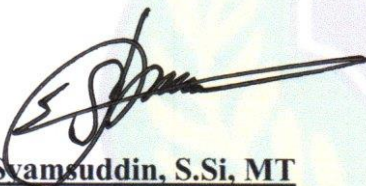
Pada tanggal 25 Februari 2022


Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,


Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama


Syamsuddin, S.Si, MT
NIP. 197401152002121001


Muh. Fawzy Ismullah Massinai, S.Si, MT
NIP. 199111092019031010

**Mengetahui,
Ketua Program Studi,**


Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Fajar

Nim : H061171503

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“Penentuan Zona Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Tahanan Jenis di
Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 25 Februari 2022

Yang menyatakan



MUHAMMAD FAJAR

SARI BACAAN

Rembesan atau intrusi air laut merupakan salah satu faktor yang dapat mengganggu kualitas air tanah di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros, sehingga perlu dilakukan pengidentifikasian zona intrusi air laut menggunakan Metode Tahanan Jenis. Penelitian ini dilakukan akuisisi sebanyak dua lintasan yang saling berpotongan dengan panjang masing-masing lintasan 470 meter menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger spasi 10 meter. Berdasarkan nilai resistivitas daerah penelitian terdapat tiga lapisan yang diinterpretasi sebagai lapisan timbunan ($1 - 1000 \Omega\text{m}$), lapisan alluvium ($1 - 6 \Omega\text{m}$) dan lapisan batugamping ($\geq 7 \Omega\text{m}$). Zona intrusi air laut berada pada lapisan alluvium dengan kedalaman yang bervariasi, mulai dari kedalaman 40 meter dan juga ada yang sampai ke permukaan. Hasil dari penelitian ini bisa menjadi acuan masyarakat atau pemerintah dalam pencarian air bersih.

Kata Kunci: Intrusi air laut, Resistivitas, Soreang, Wenner-Schlumberger.

ABSTRACT

Seepage and seawater intrusion in one of factor that can interfere with groundwater quality at Soreang village, maros regency, so it is necessary to identify seawater seepage zones use resistivity method. In this research, measurements were carried out with 2 tracks that cross each other with a length of each track 470 meters use Wenner Schlumberger configuration space 10 meters. Based on the resistivity value of the research area, there are 3 layers that interpreted as stockpile material ($1 \Omega m - 1000 \Omega m$), alluvium deposits ($1 \Omega m - 6 \Omega m$) and limestone ($\geq 7 \Omega m$). Seawater seepage zones is found in the alluvium layer with various depths, from 40 meter and some have reached the surface. The results of this research can be used as a reference for the people or government In search of freshwater.

Keywords: *Resistivity, Soreang, Seawater intrusion, Wenner-Schlumberger*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabaraktu

Alhamdulillahirobbil'amin, Segala puji bagi Allah *Subhaanahu Wa Ta'ala*, atas segala rahmat dan hidayah yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul 'Penentuan Zona Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Tahanan Jenis di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros'. Selawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabiullah Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam*.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Departemen Geofisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin. Penulis memahami bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari ridho dan karunia Allah *Subhaanahu Wa Ta'ala* serta bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini izinkan penulis dengan segala kerendahan hati mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua penulis yakni **Bapak Saharuddin** dan **Ibu Husni** yang selalu memberikan segala cinta dan kasih sayang serta doa terbaik untuk penulis. Ucapan terima kasih pula penulis sampaikan kepada **saudara-saudari** penulis yang senantiasa ada untuk penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Melalui kesempatan ini pula, penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

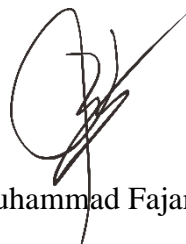
1. Bapak **Syamsuddin, S.Si, MT** selaku pembimbing utama yang senantiasa memberi motivasi, dorongan dan nasihat kepada penulis dan Bapak **Muhammad Fawzy Ismullah, S.Si, MT** selaku pembimbing pertama yang senantiasa memberi perhatian, bimbingan, nasihat serta masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Muhammad Hamzah, S.Si, MT** dan Ibu **Makharani, S.Si, M.Si** sebagai tim penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam penulisan skripsi ini.
3. Kanda **Sulfian, S.Si** dan Kanda **Zafran Safruddin S.T** yang telah banyak membantu dan bersedia meluangkan waktu untuk memberi bimbingan, memberikan pengalaman dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si, MT** dan Kanda **Nurhidayat Nurdin, S.Si, M.Si** atas ilmu dan pengalamannya yang telah memberikan kesempatan kepada penulis merasakan dunia perproyekan selama menempuh masa perkuliahan.
5. Bapak **Muhammad Hamzah, S.Si, MT** selaku Penasehat Akademik yang telah banyak memberi nasehat dan arahan kepada penulis selama menempuh masa perkuliahan.
6. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.
7. Bapak **Dr. Eng Amiruddin** selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.

8. Seluruh dosen dan staf Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin khususnya Departemen Geofisika atas ilmu yang telah diajarkan dan pelayanan yang diberikan serta bantuannya kepada penulis.
9. Seluruh **Tim Survey** yang ikut dalam pengambilan data penelitian yakni **Albaar, Andika, Azhardi, Faqih, Khalis, Harry (UNM), Ainun, Esi, Titien** dan **Kanda Zafran**, terima kasih yang sebesar-besarnya.
10. Saudara - saudari **MIPA 2017 “Kami Satu, Kami Bersaudara”** yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu persatu. Terima kasih untuk kebersamaanya selama ini.
11. Saudara - saudari **Fisika17 “Teguh dalam Keyakinan, Kukuh dalam Kebersamaan”** yang telah membersamai perjuangan dalam melalui tiap jenjang pengaderan di **Himafi FMIPA Unhas** dan **HMGF FMIPA Unhas**, kalian luar biasa.
12. Saudara – saudara tak sedarah **Tampan maks** yakni, **Aat, Agung, Albaar, Aldo, Alek, Angga, Ano, Ardi, Bintang, Callu, Dandung, Dicky, Ebiet, Fadlan, Faishal, Faqih, Fuat, Khalis, Madan, Qoil, Reza, Rial, Riyadi, Roni, Sabran, Tsaqif, Ucha, Wahyu, Zahari, dan Zein** yang telah membersamai selama di masa perkuliahan dan perhimpunan.
13. Kanda-kanda serta adik-adik **HMGF** dan **Himafi** yang telah memberikan ilmu pengetahuan, arti kebersamaan, kekeluargaan serta pengalaman yang sangat berharga yang didapatkan selama berproses.
14. Saudara – saudari **Geofisika17** yang telah membersamai perjuangan dalam menjalani perkuliahan

15. Teman – teman **KKN Kemendikbud Tematik Covid-19** yakni **Abdul Rahman, Angga, Astrid, Aulia, Esi, Ghupa, Karina, Khusnul, Melsi** di Kelurahan Lakkang yang telah memberikan dorongan semangat menjalankan program kerja dan berbagi cerita serta pengalaman selama menjalani KKN.
16. Kepada saudari **Refsinawati M Nur** yang telah menemani dan menyupport penulis selama ini.
17. Serta kepada seluruh pihak yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga skripsi tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca. Segala kemampuan telah penulis kerahkan dalam menyelesaikan skripsi tugas akhir ini, tentunya sebagai manusia tidak dapat luput dari kesalahan. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan karena hakekatnya kesempurnaan hanyalah milik Allah *Subhaanahu Wa Ta'ala*. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan.

Makassar, 25 Februari 2022



Muhammad Fajar

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI BACAAN	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Ruang Lingkup	3
I.4 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Geologi Regional	5
II.2 Intrusi Air Laut	8
II.3 Sifat Kelistrikan Batuan	9
II.4 Metode Geolistrik Tahanan Jenis	10
II.4.1 Potensial pada Media Homogen	11
II.4.2 Potensial Arus Tunggal di Dalam Bumi	13
II.4.3 Potensial Arus Tunggal di Permukaan	15
II.4.4 Potensial Arus Ganda di Permukaan	16
II.4.5 Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger	18
II.4.6 Konsep Resistivitas Semu	19

II.5 Hubungan antara Geologi dan Resistivitas	20
II.6 Dasar Teori Inversi.....	22
II.7 Interpolasi Kriging	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
III.1 Lokasi Penelitian.....	28
III.2 Alat dan Bahan.....	28
III.2.1 Alat.....	28
III.2.2 Bahan Pengolahan Data	29
III.3 Metode Penelitian	29
III.3.1 Tahap Kajian Pustaka	30
III.3.2 Tahap Akuisisi	30
III.3.3 Pengolahan Data	30
III.3.4 Tahap Interpretasi	31
III.4 Bagan Alir Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
IV.1 Hasil	33
IV.2 Pembahasan.....	36
BAB V PENUTUP	42
V.1 Kesimpulan.....	42
V.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Peta geologi kabupaten maros	5
Gambar II.2 Hubungan air tawar dan air asin	9
Gambar II.3 Medium homogen isotropis dialiri listrik	11
Gambar II.4 Potensial di sekitar titik arus dalam bumi.....	13
Gambar II.5 Aliran arus satu sumber dalam bumi yang homogen isotropis.....	15
Gambar II.6 Potensial pada jarak r di titik p	16
Gambar II.7 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan	17
Gambar II.8 Aturan elektroda konfigurasi Wenner-Schulmberger.....	18
Gambar II.9 Resistivitas semu	19
Gambar II.10 Jangkauan harga resistivitas batuan.....	21
Gambar III.1 Peta lokasi penelitian	28
Gambar IV.1 Peta lintasan pengukuran.....	33
Gambar IV.2 Penampang resistivitas lintasan 1	34
Gambar IV.3 Penampang resistivitas lintasan 2.....	35
Gambar IV.4 Posisi sondir terhadap lintasan 1	36
Gambar IV.5 Interpretasi penampang 2D hasil inversi yang diikat dengan data sondir.....	37
Gambar IV.6 Zona intrusi air laut lintasan 1	38
Gambar IV.7 (a) Penampang resistivitas 2D hasil inversi, dan (b) hasil interpretasi.....	39
Gambar IV.8 Zona intrusi air laut lintasan 2	40
Gambar IV.9 (a) dari arah barat, dan (b) dari arah timur.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan kadar garam dengan resistivitas	22
---	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Peta Geologi Kabupaten Maros
Lampiran 2	Peta Lokasi Peneliti
Lampiran 3	Peta lintasan pengukuran
Lampiran 4	Hasil inversi lintasan 1
Lampiran 5	Hasil inversi lintasan 2
Lampiran 6	Interpretasi lintasan 1
Lampiran 7	Interpretasi lintasan 2
Lampiran 8	Perkiraan zona intrusi lintasan 1
Lampiran 9	Perkiraan zona intrusi lintasan 2
Lampiran 10	Dokumentasi pengukuran

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Air yang kita gunakan sehari-hari telah menjalani siklus hidrologi, yaitu telah melalui proses penguapan (*evaporation*) dari air laut, danau maupun sungai lalu mengalami kondensasi di atmosfer dan kemudian menjadi air hujan yang turun ke permukaan bumi. Air hujan yang turun ke permukaan bumi tersebut, ada yang langsung mengalir di permukaan bumi (*run off*) dan ada yang meresap ke bawah permukaan bumi (*infiltration*). Air yang meresap ke bawah permukaan bumi akan tersimpan pada lapisan batuan yang biasa disebut dengan akuifer (*aquifer*). Akuifer atau lapisan pembawa air, secara geologi merupakan suatu lapisan batuan yang mengandung air yang memiliki permeabilitas serta porositas yang cukup baik. Biasanya, akuifer merupakan lapisan pasir (*sandstone*) atau lapisan lainnya yang mengandung pasir (Bowen, 1986).

Akuifer pada daerah pesisir dapat menjadi media merembesnya air laut menggantikan posisi air tanah. Proses merembesnya air laut tersebut dikenal dengan istilah intrusi air laut. Air laut atau air asin yang menggantikan air tanah terletak di bawah air tawar karena adanya perbedaan densitas antara air tawar dan air asin. Air asin memiliki densitas yang lebih tinggi dibanding air tawar. Hal itu dikarenakan air asin memiliki kandungan mineral yang lebih banyak dibandingkan air tawar (Salam, 2011).

Haman (2006, Astutik, 2016) mengatakan bahwa di daerah pesisir, penurunan air tanah dapat menyebabkan intrusi air laut ke daratan. Hal ini merupakan salah satu faktor yang dapat mengganggu kualitas air tanah. Air bersih yang diperoleh dari air tanah, yang mulanya memiliki kualitas air layak minum, mengalami penurunan kualitas disebabkan adanya kontaminasi dengan air asin.

Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros merupakan daerah yang dekat dengan pesisir dan dikelilingi anak-anak sungai yang masih dipengaruhi pasang surut air laut. Masyarakat di sekitar daerah tersebut sulit mendapatkan sumber air bersih terlebih saat memasuki musim kemarau, air sumur yang awalnya tawar menjadi sangat asin. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu kajian untuk mengetahui area dan kedalaman di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros yang memiliki air tawar maupun air asin. Kajian ini dapat dilakukan dengan memetakan struktur bawah permukaan tanah menggunakan metode geolistrik tahanan jenis.

Metode geolistrik tahanan jenis merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk penyelidikan bawah permukaan dengan memanfaatkan sifat aliran listrik di dalam permukaan bumi. Metode ini meliputi pengukuran beda potensial dan arus listrik yang terjadi akibat injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui sepasang elektroda arus dan perbedaan potensial diukur melalui sepasang elektroda potensial. Harga tahanan jenis batuan tergantung macam-macam materialnya, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori-pori batuan, kandungan air, kualitas dan suhu, dengan demikian tidak ada kepastian harga tahanan jenis untuk setiap macam batuan pada akuifer yang terdiri atas material lepas mempunyai harga tahanan jenis yang berkurang apabila makin besar kandungan air tanahnya atau makin besar

kandungan garamnya (salinitas) (Nisa et al, 2012). Sebagai halnya yang telah dilakukan (Simanjuntak et al, 2021) tentang “Aplikasi Geolistrik Resistivitas dengan Konfigurasi Schlumberger untuk Identifikasi Air Laut di Kecamatan Jayapura Utara Kota Jayapura” dan (Hasan et al, 2021) tentang “Identification of seawater intrusion using geoelectrical resistivity method in the Goa Cina Beach Malang Area, Indonesia” yang menggunakan metode geolistrik resistivitas.

Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan penelitian tentang **“Penentuan Zona Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Tahanan Jenis di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros”** agar dapat mengetahui gambaran area-area yang telah terkena atau terdampak intrusi air laut.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana struktur bawah permukaan di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros?
2. Dimana zona lapisan yang mengalami intrusi air laut?

I.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada proses pengambilan data primer geolistrik resistivitas berupa nilai arus, nilai potensial dan nilai tahanan jenis batuan dengan menggunakan Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Software Res2Dinv* untuk mendapatkan penampang resistivitas 2D hasil inversi dan diinterpretasi menggunakan data pendukung berupa data sondir dan peta geologi daerah penelitian.

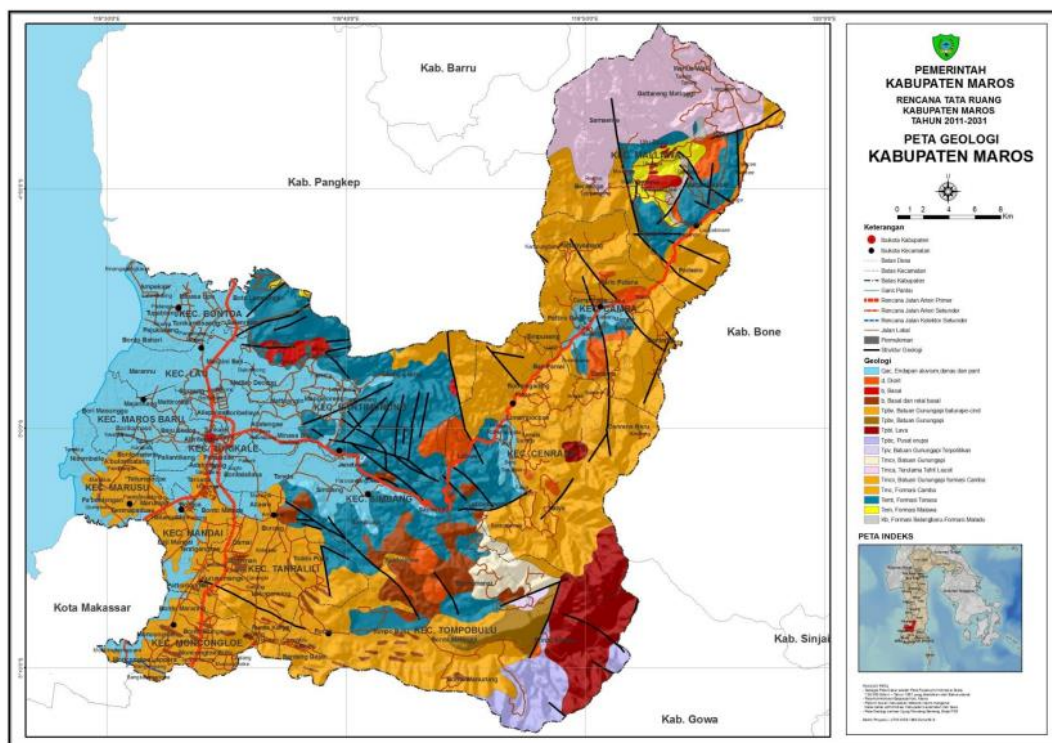
I.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui struktur penyusun bawah permukaan di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros.
2. Mengetahui zona lapisan yang mengalami intrusi air laut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Secara geografis Kabupaten Maros (Gambar II.1) berbatasan langsung dengan laut Selat Makassar pada sisi barat. Hal ini mengakibatkan pada daerah sisi barat Kabupaten Maros memiliki dataran luas yang relatif landai dengan struktur geologi penyusunnya berupa endapan alluvium (Qac).



Gambar II.1 Peta Geologi Kabupaten Maros (KHLS Kab. Maros, 2011)

Kabupaten Maros juga terkenal dengan batuan karsnya. Batugamping pembentuknya adalah anggota Formasi Tonasa yang mengalami tektonik, dan penerobosan oleh batuan beku. Dalam pandangan geologi, jenis-jenis batugamping dan pengaruh tektonik merupakan dua faktor yang berperan dalam karstifikasi atau pembentukan kars (Husein et al., 2015). Selain itu ada juga faktor yang lain seperti;

curah hujan yang cukup, suhu (*temperature*), dan penutupan hutan (Haryono dan Adji, 2016).

Geologi regional di wilayah Kabupaten Maros secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut (Taslim, 2014):

- 1) Formasi Tonasa (Temt), terdiri dari batugamping, sebagian berlapis dan sebagian pejal; koral, bioklastika dan kalkarenit, dengan sisipan napal globigerina, batugamping berforam besar, batugamping pasiran, setempat dengan moluska; kebanyakan putih dan kelabu muda, sebagian kelabu tua dan coklat.
- 2) Formasi Camba (Tmc), terdiri atas batuan sedimen laut berselingan dengan batuan gunungapi, batupasir tufaan berselingan dengan tufa, batupasir dan batulempung; bersisipan napal, batugamping, konglomerat dan breksi gunungapi, dan batubar.
- 3) Batuan Gunungapi Formasi Camba (Tmcv), terdiri atas breksi gunungapi, lava, konglomerat dan tufa berbutir halus hingga lapili, bersisipan batuan sedimen laut berupa batupasir tufaan, batupasir gampingan dan batulempung yang mengandung sisa tumbuhan.
- 4) Batuan Gunungapi Baturape-Cindako (Tpbv), terdiri atas lava dan breksi, dengan sisipan sedikit tufa dan konglomerat, bersusunan basal, sebagian besar porfir dengan fenokris piroksen. Komplek terobosan diorit berupa stok dan retas di Baturape dan Cindako diperkirakan merupakan bekas pusat erupsi.
- 5) Batuan Gunungapi Terpropilitkan (Tpv), terdiri atas breksi, lava dan tufa, mengandung lebih banyak tufa di bagian atasnya dan lebih banyak lava di

bagian bawahnya, kebanyakan bersifat andesit dan sebagian trakit; bersisipan serpih dan batugamping di bagian atasnya.

- 6) Terobosan Basal (b), berupa retas, sil dan stok, bertekstur porfir dengan fenokris piroksin kasar berwarna kelabu tua kehitaman dan kehijauan.
- 7) Terobosan Diorit (d), kebanyakan berupa stok dan sebagian retas atau sil; singkapannya ditemukan di sebelah timur Maros, menerobos batugamping Formasi Tonasa (Temt).

Selain geologi regional yang dibedakan menjadi beberapa formasi, Kabupaten Maros juga terbagi dalam empat satuan geomorfologi, yakni (KHLS Kab. Maros, 2011):

- 1) Satuan Pegunungan Vulkanik : menempati bagian utara, tengah dan timur puncak tertinggi Bulu Lekke, dinampakkan dengan relief topografi yang tinggi, kemiringan terjal, tekstur topografi yang kasar dan batuan penyusunnya dari batuan gunung api (vulkanik).
- 2) Satuan Perbukitan Vulkanik : Intrusi dan Sedimen : menempati daerah perbukitan yang menyebar secara setempat-setempat, diperlihatkan dengan kenampakan topografi berbukit dengan batuan penyusun; batuan vulkanik, batuan intrusi (batuan beku), dan batuan sedimen.
- 3) Satuan Perbukitan Karst : Satuan perbukitan ini tersebar cukup luas pada bagian tengah, timurlaut daerah Kabupaten Maros. Ciri khas pada satuan morfologi ini adalah kenampakan topografi berbukit-bukit karst dengan tekstur sangat kasar dengan batu gamping sebagai batuan penyusunnya.

- 4) Satuan Pedataran Alluvium (Qac): terletak dibagian barat yang tersebar dengan arah utara-selatan. Tercirikan dengan bentuk morfologi topografi datar, relief rendah, tekstur halus dengan batuan dasar endapan alluvium.

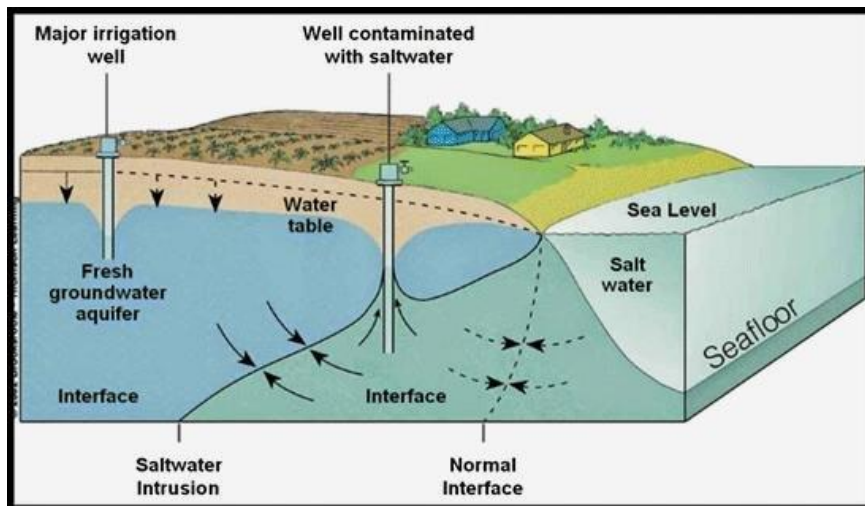
II.2 Intrusi Air Laut

Pesisir merupakan wilayah beralihnya antara daratan dan lautan yang memiliki sumber daya alam, dari satu atau dua ekosistem. Ekosistem yang terdapat pada wilayah pesisir terdiri dari ekosistem yang bersifat alami dan bersifat buatan. Terumbu karang dan hutan mangrove merupakan contoh dari ekosistem yang bersifat alami, sedangkan ekosistem yang bersifat buatan berupa tambak dan sawah pasang surut (Utina et al, 2018).

Intrusi air laut memang merupakan permasalahan yang sering didapati pada daerah pesisir yang akibatnya langsung pada mutu air tanah karena mempengaruhi perubahan terhadap kualitas dan kuantitas air tanah. Air tanah yang awalnya layak konsumsi mengalami penurunan mutu sehingga tidak layak digunakan untuk keperluan sehari-hari (Ardaneswari et al, 2016).

Ekosistem yang terjadi pada daerah pesisir ditambah aktivitas ekosistem buatan mengakibatkan mudahnya terjadi intrusi air laut. Intrusi atau perembesan air laut ke dalam akuifer di daratan pada dasarnya adalah proses terdesaknya air bawah tanah tawar oleh air laut di dalam akuifer pada daerah pantai. Apabila keseimbangan hidrostatik antara air bawah tanah tawar dan air bawah tanah asin di daerah pantai terganggu seperti pada Gambar II.2, maka akan terjadi pergerakan dan terjadilah intrusi air laut. Eksploitasi air tanah yang terus menerus menyebabkan banyaknya

ruang kosong di dalam lapisan akuifer yang mengakibatkan masuknya air laut ke dalam lapisan tanah sehingga terjadi perbedaan tinggi muka air tanah lebih rendah daripada permukaan air laut.



Gambar II.2 Hubungan air tawar dan air asin (Abd-Elaty et al, 2018)

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya intrusi air laut yaitu:

- 1) Jumlah Penduduk mengakibatkan pengambilan air tanah yang berlebih,
- 2) Kenaikan permukaan air laut,
- 3) Pasang surut perbani atau tidak normal,
- 4) Turunnya permukaan tanah di daratan, baik akibat peristiwa tektonik maupun peristiwa pemampatan,
- 5) Masuknya air asin ke dalam aliran sungai.

II.3 Sifat Kelistrikan Batuan

Bumi tersusun atas lapisan-lapisan tanah yang memiliki komposisi berbeda-beda. Komposisi lapisan tanah tersebut dapat mempengaruhi penjalaran arus listrik yang ada pada tiap lapisan tanah. Komposisi lapisan tanah tersebut tersusun atas satu atau banyak atom yang membentuk suatu struktur kimia, sehingga setiap lapisan tanah

memiliki arus listrik dan potensial alami yang dipengaruhi oleh komposisi penyusun lapisan tanah (Vebrianto, 2016).

Konduktivitas batuan merupakan faktor penentu batuan tersebut dapat meneruskan arus listrik. Konduktor biasanya didefinisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas kurang dari $10^{-8} \Omega m$, sedangkan isolator memiliki resistivitas lebih dari $10^7 \Omega m$. Dan di antara keduanya adalah bahan semikonduktor. Di dalam konduktor berisi banyak elektron bebas dengan mobilitas yang sangat tinggi. Sedangkan pada semikonduktor, jumlah elektron bebasnya lebih sedikit. Isolator dicirikan oleh ikatan ionik sehingga elektron-elektron valensi tidak bebas bergerak (Prastitho 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 : $\rho > 10^7 \Omega m$

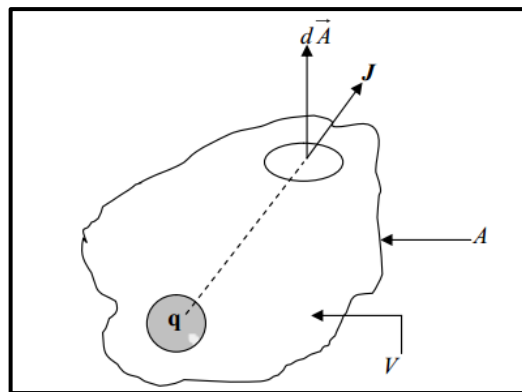
II.4 Metoda Geolistrik Tahanan Jenis

Metode geolistrik resistivitas atau tahanan jenis merupakan salah satu metode geolistrik yang digunakan untuk penyelidikan bawah permukaan dengan memanfaatkan sifat aliran listrik di dalam permukaan bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Metode ini meliputi pengukuran beda potensial dan arus listrik yang terjadi akibat injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui sepasang elektroda arus. Perbedaan potensial diukur melalui sepasang elektroda potensial (Nisa et al., 2012).

Metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas) dilakukan dengan cara injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus dan potensialnya diukur melalui dua elektroda potensial. Permukaan ekuipotensial akan terbentuk di bawah titik tancapan arus tersebut. Pengasumsian bahwa bumi sebagai medium homogen isotropis dilakukan guna mengetahui bagaimana bentuk perjalanan arus pada permukaan ekuipotensialnya (Siregar, 2006).

II.4.1 Potensial pada Media Homogen

Bumi diasumsikan sebagai medium yang homogen isotropis, maka perjalanan arus yang kontinu pada medium bumi dapat digambarkan seperti pada Gambar II.3 berikut (Siregar, 2006):



Gambar II.3 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:

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{A} \quad (2. 1)$$

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

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (2.2)$$

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

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (2.3)$$

jika medan listrik merupakan gradien potensial (V) maka:

$$\vec{j} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (2.4)$$

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

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = \frac{\partial q}{\partial t} \quad (2.5)$$

dengan, \vec{j} = rapat arus (A/m^2) dan q = rapat muatan (C/m^2)

Untuk arus stasioner berlaku persamaan berikut:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0 \quad (2.6)$$

sehingga jika persamaan (2.6) disubstitusi dengan persamaan (2.2) maka:

$$\vec{\nabla} \cdot (\sigma \vec{\nabla}V) = 0 \quad (2.7)$$

Dengan menggunakan aturan diferensial, Persamaan (2.7) dapat dituliskan:

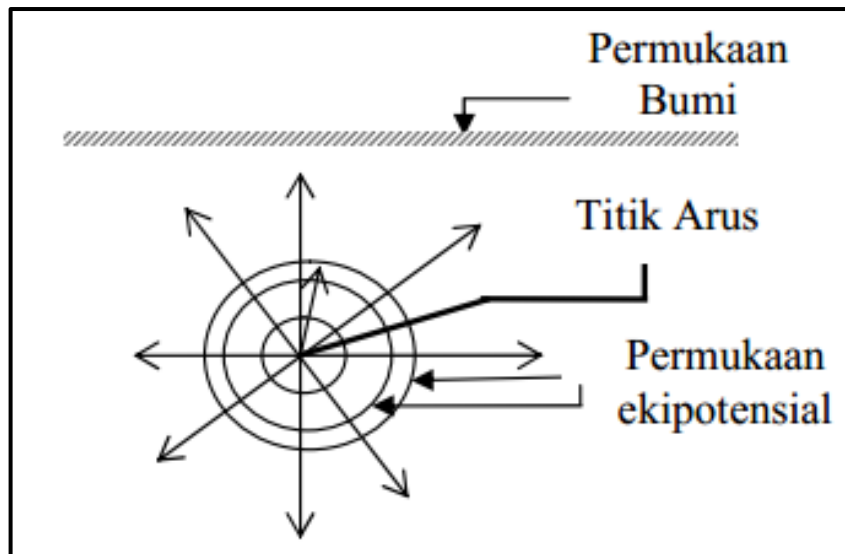
$$\vec{\nabla}\sigma \cdot \vec{\nabla}V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (2.8)$$

Jika konduktivitas listrik medium konstan maka suku pertama pada bagian kiri persamaan di atas berharga nol sehingga di dapat persamaan *Laplace* atau potensial bersifat harmonik

$$\vec{\nabla}^2 V = 0 \quad (2.9)$$

persamaan (2.9) termasuk dalam teori dasar penyelidikan geolistrik tahanan jenis (Hendrajaya dan Arif, 1990).

II.4.2 Potensial Arus Tunggal di Dalam Bumi



Gambar II.4 Potensial di sekitar titik arus dalam bumi (Hendrajaya dan Arif, 1990)

Gambar II.4 menggambarkan sumber arus listrik yang berada di dalam bumi akan merambat ke segala arah secara radial (berbentuk bola simetris) sehingga jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola yang berjari-jari r adalah (Hendrajaya dan Arif, 1990):

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (2.10)$$

Integrasi persamaan (2.10) sebanyak dua kali, maka menghasilkan:

$$\int r^2 \frac{dV}{dr} dr = 0 \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = P \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (2.11)$$

$$V = \int \frac{P}{r^2} dr = -\frac{P}{r} + Q \quad (2.12)$$

dengan P dan Q merupakan konstanta. Dengan menerapkan batas bawah potensial pada jarak tidak berhingga memiliki harga sama dengan nol ($V = 0, r = \infty$), maka $Q = 0$, sehingga persamaan (2.12) menjadi:

$$V = -\frac{P}{r} \quad (2.13)$$

Substitusi persamaan (2. 13) menggunakan persamaan (2.1) dan (2.4), maka akan diperoleh:

$$I = 4\pi r^2 \vec{J} = 4\pi r^2 (-\sigma \vec{\nabla} V) = -4\pi r^2 \sigma \frac{P}{r^2} = -4\pi \sigma P \quad (2.14)$$

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$, maka persamaan (2.14) dapat ditulis:

$$I = -4\pi \frac{1}{\rho} P \rightarrow P = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.15)$$

Persamaan (2.15) disubstitusikan pada persamaan (2.13) maka dihasilkan:

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} \quad (2.16)$$

atau,

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (2.17)$$

dengan,

V = Potensial Listrik (Volt)

ρ = Resistivitas (Ohm.m)

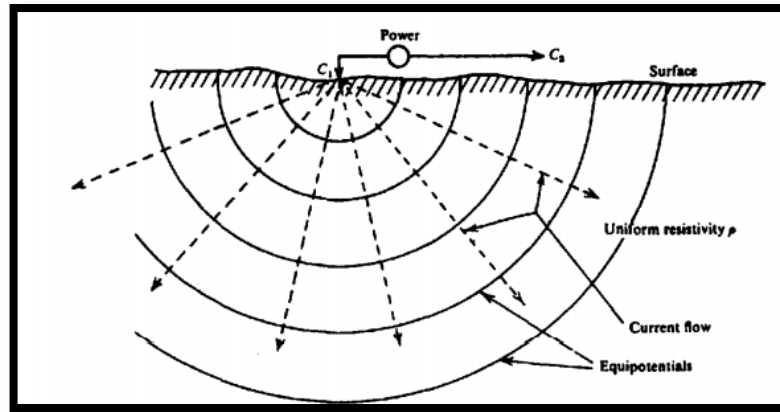
I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

P = Konstanta

\vec{J} = Rapat Arus (A/m²)

σ = Konduktivitas (S/m)

II.4.3 Potensial Arus Tunggal di Permukaan



Gambar II.5 Aliran arus satu sumber dalam bumi yang homogen isotropis (Telford et al, 1990)

Dari Gambar II.5 apabila titik arus terletak di dekat permukaan bumi maka perambatan arus radial berupa permukaan setengah permukaan bola dan terlihat permukaan eipotensial berupa garis setengah lingkaran karena konduktivitas arus yang dilalui pada udara dianggap nol, maka dihasilkan (Telford et al., 1990):

$$I = 2\pi r^2 \vec{j} = 2\pi r^2 (-\sigma \vec{\nabla} V) = 2r^2 \sigma \frac{P}{r^2} = -2\pi \sigma P \quad (2.18)$$

karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$, maka persamaan (2.18) ditulis :

$$I = -2\pi \frac{1}{\rho} P \rightarrow P = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.19)$$

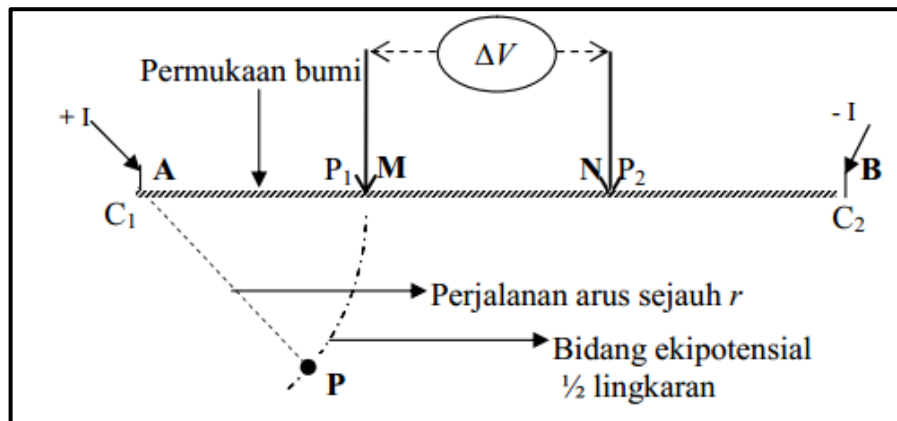
Persamaan (2.19) disubstitusikan pada persamaan (2.13) maka dihasilkan:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.20)$$

atau,

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (2.21)$$

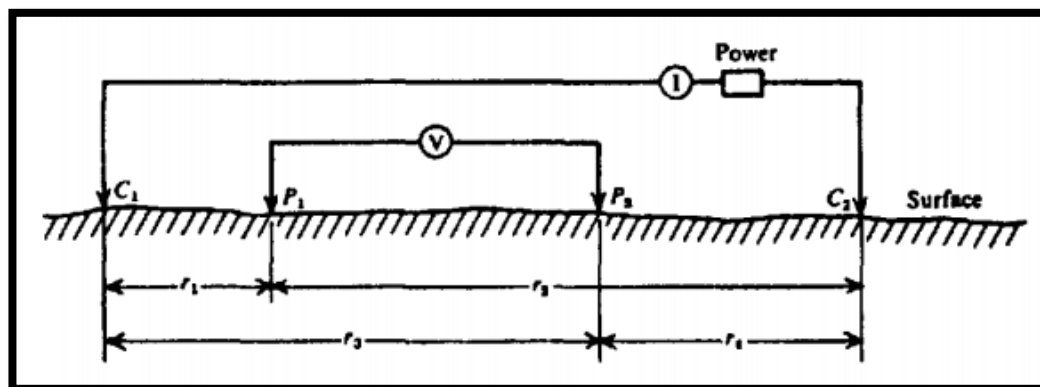
Perambatan arus dari elektroda arus (C_1) sampai ke elektroda potensial (P_1) di bawah permukaan bumi dapat terlihat pada Gambar II.6. Arus mengalir secara radial setengah lingkaran pada jarak r di titik P_1 dari titik sumber arus C_1 .



Gambar II.6 Potensial pada jarak r di titik P (Siregar, 2006)

II.4.4 Potensial Arus Ganda di Permukaan

Pada pengukuran geofisika resistivitas umumnya menggunakan dua buah elektroda arus dan dua buah elektroda potensial seperti yang diilustrasikan pada Gambar II.7. Namun ada juga metode geolistrik yang menggunakan kurang dari dua pasang elektroda, baik itu hanya elektroda arus atau hanya sepasang elektroda (satu elektroda arus dan satu elektroda potensial) (Telford et al., 1990)



Gambar II.7 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan (Telford et al, 1990)

Ketika jarak antara dua elektroda arus dibatasi di permukaan, maka besarnya nilai potensial di permukaan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut. Potensial di titik P1 yang ditimbulkan arus C1 dan C2 adalah (Telford et al., 1990)

$$V_{P1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] \quad (2.22)$$

dan potensial di titik P2

$$V_{P2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right] \quad (2.23)$$

maka beda potensial di dua titik adalah:

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2} \quad (2.24)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] - \left[\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right] \right\} \quad (2.25)$$

maka resistivitas dapat ditulis sebagai:

$$\rho = \frac{2\pi \Delta V}{I} \left\{ \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] - \left[\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right]^{-1} \right\} \quad (2.26)$$

Atau dapat dituliskan :

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.27)$$

Dimana,

$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] - \left[\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right] \right\}} \quad (2.28)$$

Dengan:

ΔV = Beda Potensial (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

ρ = Resistivitas (Ohm.m)

r_1 = Jarak Antara C1 dan P1 (m)

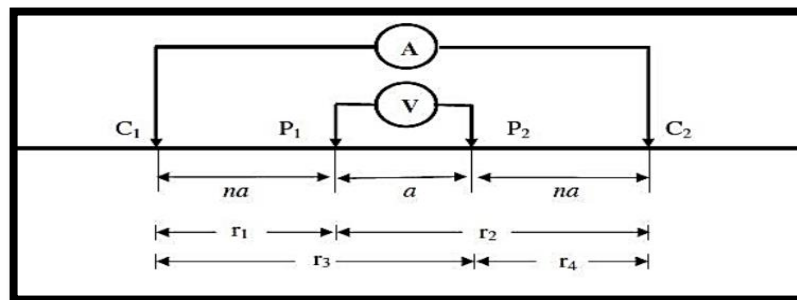
r_2 = Jarak Antara C2 dan P1 (m)

r_3 = Jarak Antara C1 dan P2 (m)

r_4 = Jarak Antara C2 dan P2 (m)

K = Faktor Geometri Elektroda

II.4.5 Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger



Gambar II.8 Aturan elektroda konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Loke, 2004)

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

$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \left[\frac{1}{na} - \frac{1}{na+a} \right] - \left[\frac{1}{na+a} - \frac{1}{na} \right] \right\}} \quad (2.29)$$

$$K = \pi n(n+1)a \quad (2.30)$$

Skema konfigurasi Wenner Schlumberger (Gambar II.8) pada dasarnya perkembangan dari konfigurasi Wenner dengan konfigurasi Schlumberger. Mempunyai keunggulan dalam tingkat sensitivitas terhadap pengaruh ketidakhomogenan material di bawah permukaan bumi secara lateral, memiliki resolusi vertikal yang bagus serta dapat menentukan variasi nilai tahanan jenis secara horizontal (Mulyani et al, 2016).

II.4.6 Konsep Resistivitas Semu

Bumi diasumsikan bersifat homogen isotropis, tapi pada kenyataannya bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan resistivitas (ρ) berbeda-beda, sehingga resistivitas terukur bukan merupakan resistivitas sebenarnya. Oleh karena itu, harga resistivitas yang diukur seolah-olah merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja lihat Gambar II.9, terutama untuk spasi yang lebar, maka resistivitas yang terukur adalah resistivitas semu (ρ_a). Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar II.9 (Siregar, 2006).



Gambar II.9 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:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.31)$$

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

$$\rho_a = \pi n(n + 1)a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.32)$$

dengan:

ρ_a = resistivitas semu (Ohm.m)

K = faktor geometri

ΔV = beda potensial pada MN (mV)

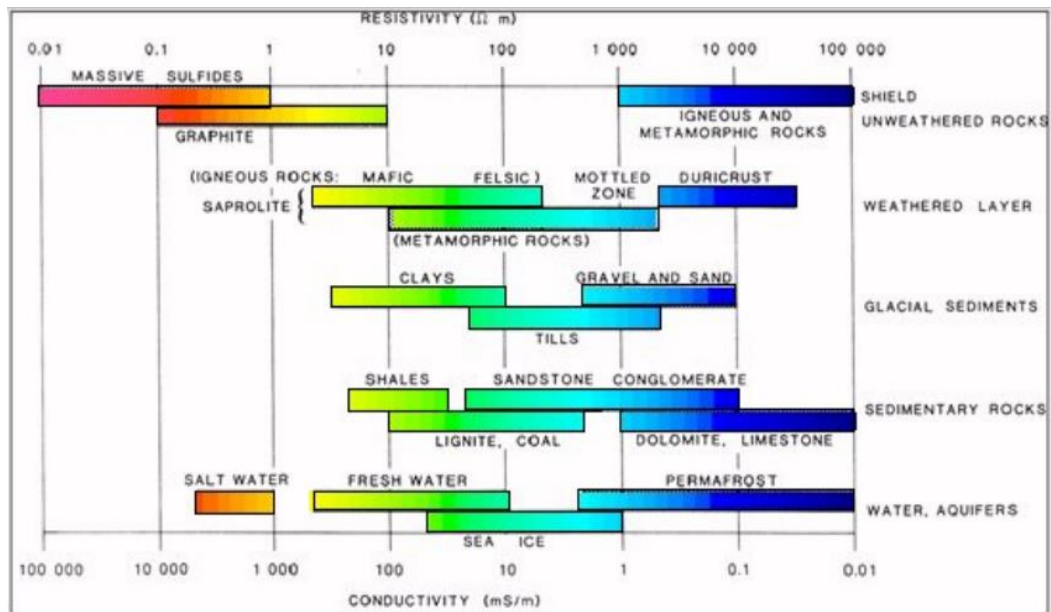
I = kuat arus (mA)

Hubungan antara resistivitas semu dan resistivitas sebenarnya sangatlah kompleks. Untuk menentukan resistivitas sebenarnya dari bawah permukaan tanah diperlukan penginversian hasil resistivitas semu dengan menggunakan program di komputer (Loke, 1999).

II.5 Hubungan antara Geologi dan Resistivitas

Survei resistivitas memberikan gambaran distribusi resistivitas bawah permukaan. Gambar resistivitas dikonversi menjadi gambaran geologi, nilai resistivitas digunakan untuk memperkirakan berbagai jenis bahan di bawah permukaan dan geologi daerah yang disurvei (Loke, 1999).

Terdapat jangkauan nilai kelistrikan dari setiap batuan yang ada dan hal ini akan membantu dalam penentuan jenis batuan berdasarkan harga resistivitasnya atau sebaliknya. Gambar 10 menunjukkan nilai jangkauan tersebut berdasarkan setiap jenis batuan. Sebagai contohnya, untuk *clays* memiliki nilai 5 – 100 Ω m. Nilai ini tidak hanya bergantung pada jenis batuan saja tetapi bergantung pula pada pori yang ada pada batuan tersebut dan kandungan fluida pada pori tersebut (Prameswari et al, 2012).



Gambar II.10 Jangkauan harga resistivitas batuan (Prameswari et al, 2012)

Batuan sedimen biasanya lebih berpori dan memiliki kandungan air lebih tinggi, biasanya nilai resistivitasnya lebih rendah. Tanah basah dan air tanah yang segar bahkan memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah. Tanah liat biasanya memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah daripada tanah berpasir. Namun jika diperhatikan terjadi tumpang tindih antara nilai resistivitas dari berbagai kelas batuan dan tanah. Hal ini karena resistivitas batuan atau tanah bergantung pada sejumlah faktor lain seperti porositas, derajat saturasi air dan konsentrasi garam terlarut.

Faktor konsentrasi garam terlarut (salinitas) dalam penelitian Han (2010), memiliki beda nilai resistivitas berdasarkan konsentrasinya seperti pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan kadar garam dengan resistivitas (Han, 2010).

No.	Kadar garam (g/l)	Resistivitas (Ωm)
1.	20,00	0,385
2.	8,00	0,825
3.	6,00	1,079
4.	4,00	1,497
5.	2,00	2,922
6.	1,00	5,515

II.6 Dasar Teori Inversi

Semua metode inversi pada dasarnya mencoba untuk menentukan model untuk bawah permukaan yang responnya sesuai dengan data yang diukur dengan batasan tertentu. Dalam metode berbasis sel yang digunakan oleh program RES2DINV, parameter model adalah nilai resistivitas sel model, sedangkan data adalah nilai resistivitas semu yang diukur. Hubungan matematis antara parameter model dan respons model untuk model resistivitas 2D disediakan oleh metode *finite-difference* atau elemen hingga.

Dalam semua metode optimasi, model awal dimodifikasi secara iteratif sehingga perbedaan antara respon model dan nilai data yang diamati berkurang. Himpunan data yang diamati dapat ditulis sebagai vektor *Column 'y'* yang dituliskan sebagai (Loke, 2004).

$$y = \text{col} (y_1, y_2, \dots, \dots, y_m) \quad (2.33)$$

banyaknya pengukuran disimbolkan m . Respon model y_0 dapat ditulis :

$$y_0 = \text{col}(y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0m}) \quad (2.34)$$

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

$$x = \text{col}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.35)$$

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

$$\Delta y = y - y_0 \quad (2.36)$$

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.

$$E = \Delta y^T \Delta y \quad (2.37)$$

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

$$\Delta x_i = [G^T G]^{-1} G^T \Delta y \quad (2.38)$$

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

$$G_{ij} = \frac{\partial y_{0i}}{\partial x_j} \quad (2.39)$$

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:

$$x_{k+1} = \Delta x_k + x_k \quad (2.40)$$

Pada pengaplikasiannya persamaan kuadrat terkecil sederhana persamaan (2.38) jarang digunakan secara independent dalam inversi geofisika. Dalam beberapa keadaan, matrix $[G^T G]$ singular, sehingga persamaan *last-squares* tidak memiliki solusi untuk Δx_i (Loke, 2004).

Hal ini dapat terjadi jika model awal yang buruk dan sangat berbeda dengan model yang digunakan. Perubahan parameter yang dihitung menggunakan persamaan (2.38) akan memiliki komponen yang besar sehingga model baru yang didapatkan nilainya tidak akan realistis. Salah satu metode umum untuk menghindari masalah ini adalah modifikasi *Marquardt-Levenberg* pada persamaan *Gauss-Newton* sebagai berikut:

$$\Delta x_i = [G^T G + \lambda I]^{-1} G^T \Delta y \quad (2.41)$$

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):

$$\Delta x_i = [G^T G + \lambda F]^{-1} G^T \Delta y \quad (2.42)$$

Dengan

$$F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z$$

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 (2.42) juga mencoba meminimalkan kuadrat dari perubahan spasial dari nilai resistivitas model. Metode ini sebenarnya adalah metode optimasi *smoothness-constrained* normalisasi l_2 . Metode ini cenderung menghasilkan model dengan variasi nilai resistivitas yang halus. Pendekatan ini dapat diterima jika resistivitas bawah permukaan sebenarnya bervariasi secara halus dan bergradasi (Loke, 2004).

Pada beberapa kasus, geologi bawah permukaan terdiri dari beberapa wilayah yang secara internal berada pada daerah yang hampir homogen tetapi dengan batas-batas tajam antar daerah yang berbeda. Untuk kasus seperti ini, rumus inversi persamaan (2.42) dapat dimodifikasi sehingga meminimalkan perubahan absolut nilai resistivitas model.

Secara umum metode ini disebut dengan metode optimasi normalisasi *smoothness-constrained* (*norm smoothness-constrained optimization method*) atau lebih dikenal sebagai metode inversi blok. Salah satu metode sederhana untuk menerapkan

metode optimasi l_1 dengan menggunakan formula kuadrat terkecil adalah metode kuadrat terkecil iterasi *reweighted*. Persamaan (2.42) dapat dimodifikasi sebagai berikut (Loke, 2004):

$$\Delta x_i = [G^T G + \lambda F_R]^{-1} G^T \Delta y \quad (2.43)$$

Dengan

$$F_R = \alpha_x C_x^T R_m C_x + \alpha_y C_y^T R_m C_y + \alpha_z C_z^T R_m C_z$$

R_m merupakan *weighting matrices* sehingga elemen-elemen yang berbeda dari data *misfit* dan model *roughness* diberikan bobot yang sama dalam proses inversi. Persamaan 2.38 memberikan metode yang dapat dimodifikasi lebih lanjut jika diperlukan termasuk informasi geologi bawah permukaan, sebagai contoh jika diketahui bahwa variasi resistivitas bawah permukaan kemungkinan akan terbatas pada wilayah tertentu maka nilai λ dapat dimodifikasi sedemikian rupa sehingga perubahan yang signifikan dapat diterima pada kondisi wilayah tersebut (Loke, 2004).

II.7 Interpolasi Kriging

Interpolasi merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang diketahui. Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak diukur, sehingga nilai-nilai yang tidak diukur dapat diperkirakan sehingga dapat dibuat sebaran nilai pada seluruh wilayah (Pranomo, 2008).

Pada metode geolistrik 2D perlu digunakan metode interpolasi untuk memperkirakan pola nilai di antara titik-titik datum yang tidak terukur. Dari pola nilai tersebut akan dijadikan penampang resistivitas. Penampang yang dihasilkan

berupa penampang warna-warni yang setiap warnanya mewakili nilai-nilai dari yang terkecil sampai yang terbesar. Untuk membuat penampang resistivitas dengan beberapa titik datum yang diketahui, maka digunakan metode interpolasi Kriging.

Istilah kriging diambil dari nama seorang ahli yaitu D.G. Krige, yang pertama kali menggunakan korelasi spasial dan penduga tak bias. Kriging adalah suatu metode untuk memperkirakan nilai suatu variabel pada suatu titik atau blok yang tidak memiliki nilai sampel dengan menggunakan kombinasi linear dari variabel yang diketahui (Octova et al, 2020).

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

$$Z_A = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (2.44)$$

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