

**PENYELIDIKAN HIDROGEOLOGI MENGGUNAKAN DATA
GEOLISTRIK *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* DAN *LOGGING*
DENGAN VISUALISASI GEOSPASIAL BERBASIS BAHASA
PEMROGRAMAN *PYTHON***

(Skripsi)

Oleh

RIZKY MF NAIBAHO

1715051042



**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

**PENYELIDIKAN HIDROGEOLOGI MENGGUNAKAN DATA
GEOLISTRIK *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* DAN *LOGGING*
DENGAN VISUALISASI GEOSPASIAL BERBASIS BAHASA
PEMROGRAMAN *PYTHON***

Oleh

RIZKY MF NAIBAHO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENYELIDIKAN HIDROGEOLOGI MENGGUNAKAN DATA GEOLISTRIK *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* DAN *LOGGING* DENGAN VISUALISASI GEOSPASIAL BERBASIS BAHASA PEMROGRAMAN *PYTHON*

Oleh

Rizky MF Naibaho

Pengetahuan akan sistem air tanah yang bekerja di suatu daerah menjadi dasar untuk mengetahui keterdapatannya dan kualitas air tanah. Pada penelitian ini, telah dilakukan penyelidikan hidrogeologi menggunakan data geolistrik dan *well logging* di Kabupaten Pesawaran yang terdiri dari 10 titik pengukuran. Berdasarkan hasil pemodelan pada data pengukuran geolistrik dan *well logging* di daerah penelitian didapatkan nilai resistivitas yang bervariasi pada tiap kedalaman yang diperoleh secara rinci zona akuifer tanah dalam, yang kedalaman dan ketebalan lapisan akuifer pada masing-masing titik pengukuran memiliki nilai yang bervariasi yang dimana pada pengolahan geolistrik mulai mendapatkan lapisan akuifer dari kedalaman 30.9 meter hingga yang terdalam pada 100 meter dengan ketebalan dari 5.9 meter hingga ketebalan 36.4 meter, kemudian dari pengolahan *well logging* mulai mendapatkan lapisan akuifer dari kedalaman 22 meter hingga yang terdalam pada 83 meter dengan ketebalan dari 9 meter hingga ketebalan 43 meter.

Kata kunci: hidrogeologi, geolistrik, *well logging*, resistivitas, akuifer.

ABSTRACT

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION USING GEOELECTRIC DATA VERTICAL ELECTRICAL ELECTRICAL SOUNDING AND LOGGING USING GEOSPATIAL VISUALIZATION BASED ON PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

By

Rizky MF Naibaho

Knowledge of the groundwater system operating in an area is the basis for determining the availability and quality of groundwater. In this study, a hydrogeological investigation was carried out using geoelectrical data and well logging in Pesawaran Regency which consisted of 10 measurement points. Based on the modeling results on geoelectric measurement data and well logging in the study area, it was found that resistivity values varied at each depth obtained in detail from deep soil aquifer zones, where the depth and thickness of the aquifer layer at each measurement point had varying values, which during processing geoelectric began to get aquifer layers from a depth of 30.9 meters to the deepest at 100 meters with a thickness of 5.9 meters to a thickness of 36.4 meters, then from well logging processing began to get aquifer layers from a depth of 22 meters to the deepest at 83 meters with a thickness of 9 meters to 43 meters thick.

Keywords: hydrogeology, geoelectricity, well logging, resistivity, aquifers.

**Judul Skripsi : PENYELIDIKAN HIDROGEOLOGI
MENGUNAKAN DATA GEOLISTRIK
VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING
DAN LOGGING DENGAN VISUALISASI
GEOSPASIAL BERBASIS BAHASA
PEMROGRAMAN PYTHON**

Nama Mahasiswa : Rizky MF Naibaho

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715051042

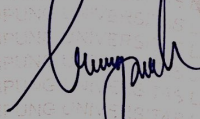
Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

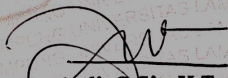
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



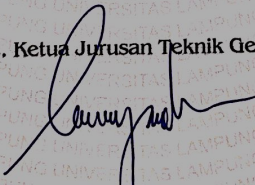
**Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001**

Pembimbing II



**Rustadi, S.Si., M.T.
NIP 19720511 199703 1 002**

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



**Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001**

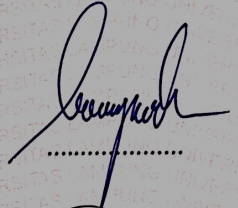
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

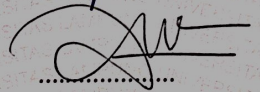
Ketua : **Karyanto, S.Si., M.T.**

Sekretaris : **Rustadi, S.Si., M.T.**

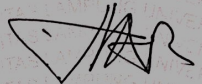
Anggota : **Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**



.....



.....



.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **21 Desember 2022**

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan.

Apabila pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Juni 2023



Rizky MF Naibaho
1715051042

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabupaten Dairi, Sumatera Utara, pada tanggal 24 Februari 1999, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, anak dari Bapak Raymond dan Ibu Sih Maryani. Penulis beralamat di Jalan Kapten Abdul Haq, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penulis beragama Kristen dan berkebangsaan Indonesia. Pendidikan yang pernah ditempuh oleh penulis yaitu Sekolah Dasar di SD Negeri 01 PG Cempaka Putih Timur, Kecamatan Cempaka Putih, Kota Jakarta hingga selesai pada tahun 2011 selanjutnya, penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 47 Jakarta hingga selesai pada tahun 2014, dan dilanjutkan di SMA Negeri 1 Sidikalang hingga tahun 2017.

Selanjutnya, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN sebagai mahasiswa baru. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di berbagai organisasi sebagai presiden Society of Exploration Geophysicist Student Chapter Universitas Lampung, ketua coordinator bidang doa dan pemerhati di Forum Komunikasi Mahasiswa Kristiani Fakultas Teknik, serta anggota aktif biro kesekretariatan Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Universitas Lampung dan bidang humas Seksi Mahasiswa Ikatan Ahli Geologi Indonesia.

Pada bulan Januari-Februari tahun 2020, penulis melakukan Kerja Praktik di teknologi Mineral dan Batubara (tekMIRA) Kementerian ESDM konsentrasi *well logging* batubara di Bandung, Provinsi Jawa Barat. Selanjutnya, dibulan Juli-Agustus 2020, penulis

melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tapian Nauli, Kecamatan Lintong Nihuta, Kabupaten Humbang Hasundutan.

Pada Maret 2021, Penulis melakukan penelitian Tugas Akhir (TA) di PT. Lampung Geosains Survei (LGS) hingga akhirnya penulis menyelesaikan pendidikan sarjananya teknik pada tanggal 22 Desember 2022 dengan judul skripsi **“PENYELIDIKAN HIDROGEOLOGI MENGGUNAKAN DATA GEOLISTRIK *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* DAN *LOGGING* DENGAN VISUALISASI GEOSPASIAL BERBASIS BAHASA PEMROGRAMAN *PYTHON*”**.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, saya persembahkan skripsi ini kepada:

Tuhan Yesus Kristus.

Atas berkat rahmat dan kasih serta karunia-Nya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.

***Kedua Orang Tuaku Tercinta
Ayahanda Tercinta Bapak Raymond
Ibunda Tercinta Ibu Sih Maryani***

Berkat Do'a dan kemurnian cinta kasih sayang. Terimakasih atas segala jerih payah ayah dan ibu hingga kebutuhanku dapat dipehuhi. Semuanya takkan terbalas, namun akan selalu ku ingat sampai kapanpun, hingga tak terbatas sampai nyawa lepas dikandung badan.

***Adik Tersayang
Emma dan Brillian***

Terima kasih karena telah menjadi penyemangat dalam mengejar impian.

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2017

Terima kasih atas semua yang telah kalian berikan untuk Saya dan atas semua yang telah kalian terima dari Saya.

MOTTO

“Kamu tidak harus menjadi hebat untuk memulai, tetapi kamu harus memulai untuk menjadi hebat”

“ALLAH, Dialah yang mengikat pinggangku dengan keperkasaan dan membuat jalanku rata”
(Mazmur 18:3)

“Tentukan siapa dirimu, apa yang ingin ekspresikan melalui cara hidupmu”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan kasih-Nya penyusunan Skripsi dengan judul **“PENYELIDIKAN HIDROGEOLOGI MENGGUNAKAN DATA GEOLISTRIK *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* DAN *LOGGING* DENGAN VISUALISASI GEOSPASIAL BERBASIS BAHASA PEMROGRAMAN *PYTHON*”** telah selesai dengan sebaik-baiknya. Terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini. Penulis pun menyadari mungkin masih terdapat kekurangan di dalam penulisan Skripsi ini, sehingga sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga semua yang tertulis di dalam laporan ini dapat memberikan manfaat kepada siapa pun, baik kalangan umum maupun akademisi untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 15 Juni 2023

Penulis,

Rizky MF Naibaho

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa. yang senantiasa memberikan pertolongan, berkat, dan kemurahan-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini. Skripsi ini berjudul **“PENYELIDIKAN HIDROGEOLOGI MENGGUNAKAN DATA GEOLISTRIK *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* DAN *LOGGING* DENGAN VISUALISASI GEOSPASIAL BERBASIS BAHASA PEMROGRAMAN *PYTHON*”**. terselesaikannya penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan kerja sama berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung sekaligus sebagai pembimbing pertama dan pembimbing akademik.
2. Bapak Rustadi, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing kedua.
3. Bapak Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji Tugas Akhir.
4. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati, terima kasih untuk semua ilmu yang diberikan.
5. Ayahandaku tercinta dan Ibundaku tersayang yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan dalam bentuk apapun.
6. Kedua orang tua tercinta serta kakak tersayang yang selalu menjadi kebanggaan hidup penulis Bapak Raymond, Ibu Sih Maryani, dan adek Emma dan Brilliant.

7. Teman-teman Srigala Terakhir, Nico, Madi, Faiz, Fajri, Bagus, Bima, Ito, Tajar, Fathur, Ryas, Gede, Adief, Baco yang selalu menemani dan membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman-teman Teknik Geofisika 2017 yang telah memberikan motivasi dan membantu dalam penyusunan skripsi ini.
9. Serta semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Demikian skripsi ini disusun dengan sebaik-baiknya, harapan penulis agar skripsi ini dapat berguna bagi pembaca. Dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar menjadi lebih baik lagi kedepannya.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Daerah Penelitian	4
2.2 Geologi Daerah Penelitian	5
2.3 Cekungan Air Tanah (CAT)	8
2.4 Topografi Daerah Penelitian	10
III. TEORI DASAR	11
3.1 Air Tanah	10
3.1.1 Tipe Akuifer	10
3.1.2 Ruang Air Tanah	10
3.2 Analisis Geospasial Daerah Imbuhan dan Lepasn	18
3.3 Metode Geolistrik Resistivitas	11
3.3.1 Konsep Resistivitas	21
3.3.2 Pengukuran <i>Vertical Electrical Sounding</i> (VES)	24
3.3.3 Konfigurasi Schlumberger	24
3.3.4 Resistivitas Batuan	27

3.4 Metode <i>Well Logging</i>	32
3.4.1 <i>Log Spontaneous Potential (SP)</i>	32
3.4.2 <i>Log Resistivitas</i>	35
3.4.3 Korelasi <i>Log SP</i> dan <i>Log Resistivitas</i>	37
3.5 Pemodelan Inversi	37
IV. METODOLOGI PENELITIAN	40
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	40
4.2 Alat dan Bahan	40
4.3 <i>Time Schedule</i>	41
4.4 Prosedur Penelitian	41
4.5 Diagram Alir	43
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
5.1 Interpretasi Data Geolistrik dan <i>Well Logging</i> Titik Pengukuran ,	45
5.1.1 Titik Pengukuran Way Layap,	45
5.1.2 Titik Pengukuran Padang Manis,	50
5.1.3 Titik Pengukuran Padang Ratu,	54
5.1.4 Titik Pengukuran Pekondoh ,	58
5.1.5 Titik Pengukuran Batu Raja,	62
5.1.6 Titik Pengukuran Kuto Dalam,	66
5.1.7 Titik Pengukuran Banding Agung,	70
5.1.8 Titik Pengukuran Pekon Ampai,	74
5.1.9 Titik Pengukuran Gayau,	79
5.1.10 Titik Pengukuran Durian.	84
5.2. Sistem Informasi Geografis Dalam Penyelidikan Hidrogeologi.	89
5.2.1 Litologi Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran	89
5.2.2 Produktivitas Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran....	90
5.2.3 Debit Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran	92
5.2.4 Kelulusan Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran	93
5.2.5 Keterusan Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran	95
5.2.6 Sistem Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran	96
5.2.7 Deskripsi Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran	98
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	107
5.2. Kesimpulan.....	107
5.2. Saran.....	108

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Harga resistivitas spesifik batuan.....	30
2. <i>Time Schedule</i> Penelitian	40
3. Data Interpretasi Titik Pengukuran Way Layap.....	47
4. Data Interpretasi Titik Pengukuran Padang Manis.....	52
5. Data Interpretasi Titik Pengukuran Padang Ratu.....	56
6. Data Interpretasi Titik Pengukuran Pekondoh.....	60
7. Data Interpretasi Titik Pengukuran Batu Raja.....	64
8. Data Interpretasi Titik Pengukuran Kuto Dalom.....	68
9. Data Interpretasi Titik Pengukuran Banding Agung.....	73
10. Data Interpretasi Titik Pengukuran Pekon Ampai.....	77
11. Data Interpretasi Titik Pengukuran Gayau	81
12. Data Interpretasi Titik Pengukuran Durian.....	86
13. Litologi Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran.....	89
14. ProduktivitasAkuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran.....	91
15. Debit Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran.....	92
16. Kelulusan Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran.....	94
17. Keterusan Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran.....	95
18. Sistem Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran.....	97
19. Deskripsi Akuifer Data Hidrogeologi Titik Pengukuran.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Administratif Kabupaten Pesawaran	5
2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian	7
3. Peta Cekungan Air Tanah	9
4. Peta Hidrogeologi Daerah Penelitian	10
5. Tipe Ruang Pori pada Batuan dan Sedimen	12
6. Siklus Hidrologi	13
7. Sistem Akuifer Bebas	13
8. Sistem Akuifer Tertekan	14
9. Sistem Akuifer Bocor	14
10. Prinsip Pengukuran Geolistrik	20
11. Susunan Elektroda Arus Dan Elektroda Potensial	21
12. Susunan Elektroda Untuk Lapisan Tanah Berlapis	21
13. Aliran Arus Listrik	22
14. Pengukuran VES	24
15. Konfigurasi Schlumberger	25
16. Kurva VES Yang Menunjukkan Akuifer Air Tanah	26
17. Silinder Konduktor	28
18. Ilustrasi Pengukuran <i>Log SP</i>	33
19. Contoh Respon Anomali <i>Log SP</i>	34
20. Pengukuran <i>Log Resistivitas</i>	36
21. Respon Data <i>Well Logging</i> Terhadap Akuifer	37
22. Respon <i>Log SP</i> dan Resistivitas Terhadap Litologi	38
23. Teknik Pemodelan	39
24. Diagram Alir	43

25. Hasil interpretasi Geolistrik Way Layap	46
26. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Way Layap.....	49
27. Hasil interpretasi Geolistrik Padang Manis.....	51
28. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Padang Manis.....	53
29. Hasil interpretasi Geolistrik Padang Ratu	55
30. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Padang Ratu.....	57
31. Hasil interpretasi Geolistrik Pekondoh	59
32. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Pekondoh.....	61
33. Hasil interpretasi Geolistrik Batu Raja	63
34. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Batu Raja.....	65
35. Hasil interpretasi Geolistrik Kuto Dalam	67
36. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Kuto Dalam.....	70
37. Hasil interpretasi Geolistrik Banding Agung.....	72
38. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Banding Agung.....	74
39. Hasil interpretasi Geolistrik Pekon Ampai.....	76
40. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Pekon Ampai.....	78
41. Hasil interpretasi Geolistrik Gayau	80
42. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Gayau	83
43. Hasil interpretasi Geolistrik Durian	85
44. Hasil interpretasi <i>Well Logging</i> Durian	88
45. Peta Litologi Akuifer Titik Pengukuran	100
46. Peta Produktivitas Akuifer Titik Pengukuran	101
47. Peta Debit Akuifer Titik Pengukuran	102
48. Peta Kelulusan Akuifer Titik Pengukuran	103
49. Peta Keterusan Akuifer Titik Pengukuran	104
50. Peta Sistem Akuifer Titik Pengukuran	105
51. Peta Deskripsi Akuifer Titik Pengukuran	106

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan komponen penting dalam keberlangsungan hidup. Sampai saat ini sebagian besar kebutuhan air tersebut ialah berasal dari air tanah baik untuk keperluan rumah tangga, industri, pertanian, pelayanan umum, dan perkantoran. Air tanah adalah air yang mengisi pori-pori dan retakan di dalam tanah. Adapun keberadaan air tanah ini ada yang dekat dengan permukaan ataupun sangat dalam yang dipengaruhi oleh kondisi geologi dan juga curah hujan (Budiarjo dan Hendrayana, 2020).

Pesawaran merupakan salah satu Kabupaten yang berada di Provinsi Lampung dengan tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi dan juga perkembangan penggunaan tata ruang yang pesat menjadikan pengelolaan air tanah pada daerah ini harus diperhatikan. Berdasarkan informasi yang dimuat dalam Permen ESDM No. 2 Tahun 2017 tentang Air Tanah, ketersediaan air tanah harus terus berkelanjutan sehingga pengelolaan air tanah mulai dari pengambilan kebijakan, penyusunan strategi dan rencana pengelolaan serta pelaksanaan, pemantauan dan evaluasi terhadap pelaksanaan konservasi, pendayagunaan dan pengendalian daya rusak air tanah harus mengacu ke Peta Cekungan Air Tanah (CAT). Peta Cekungan Air Tanah ini memuat proses pengimbuhan, pengaliran dan juga pelepasan air tanah. Peta Cekungan Air Tanah yang digunakan sebagai acuan dalam pengambilan kebijakan ini perlu untuk dilakukan evaluasi ataupun peninjauan ulang sehingga data yang disajikan lebih sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hal ini dapat dilakukan dengan pemodelan ulang keberadaan akuifer air tanah

dibawah permukaan berdasarkan data kondisi terbaru. Untuk mengetahui keberadaan akuifer air tanah dibawah permukaan ini dapat kita gunakan data geofisika, yaitu data hasil pengukuran dengan menggunakan metode geolistrik dan *well logging*. Metode geolistrik mempunyai prinsip kerja mengukur nilai tahanan jenis dari masing-masing lapisan batuan yang ada di bawah permukaan (Faris dkk., 2019), sedangkan metode *well logging* mempunyai prinsip kerja mengukur parameter fisika daripada suatu sumur bor yang lebih *realtime* (Herrmann and Bucksch, 2014). Keduanya biasa digunakan secara bersamaan pada eksplorasi air tanah untuk saling mengoreksi silang data yang di dapatkan sehingga hasil yang di rekomendasikan mempunyai tingkat kepercayaan yang tinggi.

Pengetahuan akan sistem air tanah yang bekerja di daerah penelitian menjadi dasar untuk mengetahui keterdapatan dan kualitas air tanah. Berbagai metoda eksplorasi hidrogeologi di permukaan maupun bawah permukaan dapat dilakukan untuk mengetahui sistem air tanah serta mengidentifikasi lapisan akuifernya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai air tanah berkaitan dengan kondisi geologi yang memengaruhinya sehingga keterdapatan dan kualitas air tanah dapat diketahui dengan baik. Hal ini dapat dipermudah dengan analisis geospasial dengan bahasa pemrograman *python*, sehingga dapat diketahui kaitan antara hasil pengukuran geofisika pada daerah penelitian dengan kondisi geologi yang berada pada daerah penelitian sehingga menghasilkan informasi berupa penyelidikan hidrogeologi. Dari penelitian ini diharapkan mampu dilakukan evaluasi dan pemetaan pola persebaran lapisan akuifer air tanah di daerah Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung yang mampu memberikan saran, masukan, dan rekomendasi evaluasi Peta Cekungan Air Tanah berdasarkan pemodelan dan analisis yang dilakukan. Penelitian ini juga diharapkan mampu menjadi acuan dalam manajemen air tanah guna pemenuhan daripada kebutuhan air bersih di daerah Pesawaran.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui litologi daerah penelitian berdasarkan data geolistrik *vertical electrical sounding* (VES) dan data *well logging*.
2. Mencari keberadaan dan ketebalan lapisan akuifer air tanah di daerah penelitian.
3. Mengetahui kondisi hidrogeologi berdasarkan data geologi dan hasil pengolahan geolistrik dan *logging*.
4. Membuat peta sebaran hidrogeologi pada titik pengukuran di daerah penelitian dengan bahasa pemrograman *python*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun penelitian ini dibatasi dengan tiga batasan masalah sebagai berikut:

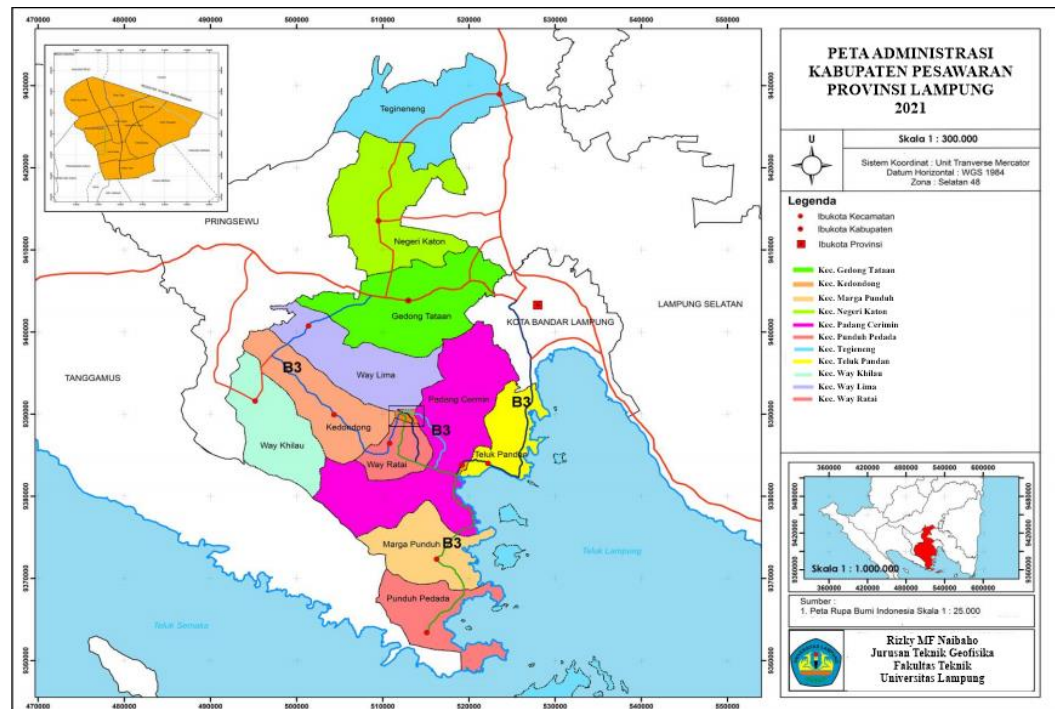
1. Data yang digunakan merupakan data sekunder *well logging* dan geolistrik *vertical electrical sounding* (VES) di daerah Pesawaran.
2. Analisis data dilakukan berdasarkan data geologi regional dan informasi geospasial dari *geoportal* ESDM di daerah Pesawaran.
3. Penyelidikan hidrogeologi dilakukan berdasarkan data geofisika yang diolah yang dikorelasikan dengan data geologi serta keterangan geospasial pada *geoportal* ESDM.
4. Peta sebaran hidrogeologi titik pengukuran dibuat berdasarkan interpretasi litologi pada pemodelan data geofisika dan data analisis geospasial dengan visualisasi menggunakan bahasa *python*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Secara geografis Kabupaten Pesawaran terletak pada koordinat $104,92^{\circ}$ – $105,34^{\circ}$ ' Bujur Timur, dan $5,12^{\circ}$ – $5,84^{\circ}$ Lintang Selatan. Secara administratif luas wilayah Kabupaten Pesawaran adalah $1.173,77 \text{ KM}^2$ berbatasan dengan Kabupaten Lampung Tengah, di bagian Selatan berbatasan dengan Teluk Lampung Kabupaten Tanggamus, di bagian Timur berbatasan dengan Kabupaten Lampung Selatan dan Kota Bandar Lampung, dan di bagian Barat berbatasan dengan Kabupaten Tanggamus.

Kabupaten Pesawaran memiliki 11 (sebelas) kecamatan dengan jumlah desa atau kampung sebanyak 144 desa dengan luas daerah 2.243 km^2 . Secara topografi, Kabupaten Pesawaran dapat dibagi menjadi 2 (dua) unit topografis, yaitu daerah topografis dataran rendah dan daerah dataran tinggi. Topografi atau kondisi permukaan bumi Kabupaten Pesawaran merupakan daerah dataran rendah, dan dataran tinggi, yang sebagian merupakan daerah perbukitan sampai dengan pergunungan dengan ketinggian dari permukaan laut yang bervariasi antara 0,0 M sampai dengan 1.682,0 M. Berdasarkan hasil interpretasi data SRTM, ketinggian lahan di wilayah Kabupaten Pesawaran dapat dibagi menjadi 7 (tujuh kelas) antara lain : 0-100 meter dpl, 100-200 meter dpl, 200-300 meter dpl, 300-400 meter dpl, 400-500 meter dpl, 500-600 meter dpl, dan > 600 meter dpl. Sebagian besar wilayah Kabupaten Pesawaran berada pada ketinggian 100 – 200 meter dpl dengan luasan terbesar yaitu 24.261,14 Ha yang tersebar di wilayah Kecamatan Kedondong. Sedangkan kelas ketinggian lahan terendah di antara 500 – 600 meter dpl dengan luasan terbesar yaitu 2.897,05 Ha yang tersebar di wilayah Kecamatan Padang Cermin.



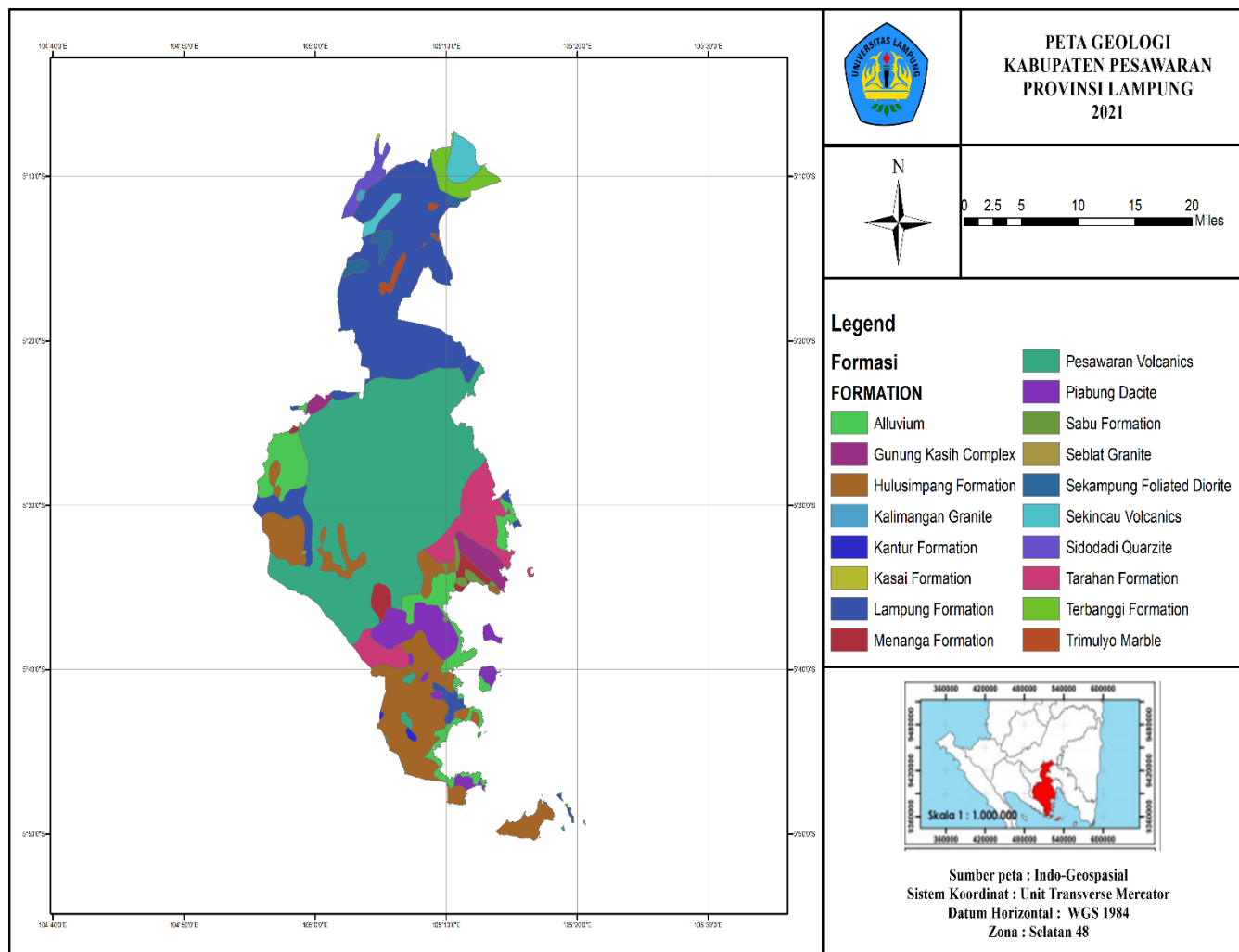
Gambar 1. Peta administratif Kabupaten Pesawaran (Rupa Bumi Indonesia, 2021).

2.2 Geologi Daerah Penelitian

Secara umum daerah Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung berada pada Geologi Regional Lembar Tanjung Karang. Adapun jenis-jenis satuan batuan yang ada di daerah penelitian adalah sebagai berikut:

- Formasi Tarahan terdiri dari terutama tuf dan breksi tuf dengan sedikit lava, bersusunan andesit-basal. Batuan piroklastik Formasi Tarahan (Tpot) kearah mendatar berubah menjadi turbidit.
- Endapan Gunung Api Muda terdiri dari lava andesit basal, breksi dan tuf. Lava kelabu kehitaman, afanitik dan porfiritik. Tuf batuan: kelabu kekuningan-kecoklatan, terutama terdiri dan lava, kaca gunungapi.
- Aluvium terdiri dari bongkah, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur.
- Formasi Sabu terdiri dan breksi konglomeratan dan batupasir dibagian bawah, ke alas lembah menjadi batu lempung tufan dan batupasir. Formasi ini terlipat dengan kemiringan beranekaragam dan kearah samping berubah menjadi batuan gunungapi Formasi Tarahan.

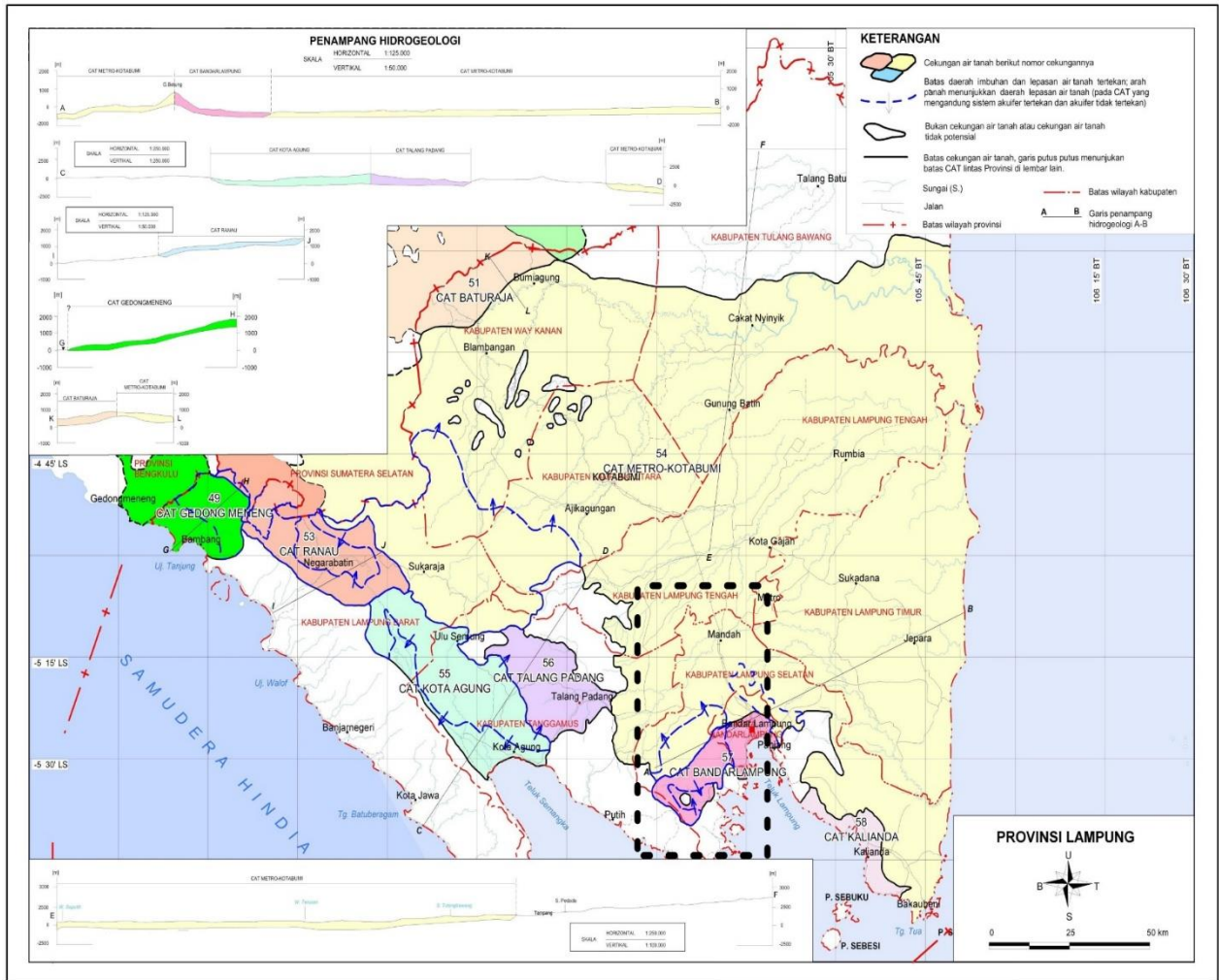
- Formasi Hulu Simpang diendapkan di lingkungan peralihan terestrial ke laut dangkal. Terdiri dari lava andesit-basal, tuf dan breksi gunungapi, terubah secara hidrotermal dan sering bermineral.
- Komplek Gunung Kasih terdiri dari batuan malihan (metamorphic rocks), ditafsirkan merupakan satuan geologi tertua pada lembar Tanjung Karang. Batuan ini terdiri dari sekis, gneis, sekis gampingan kuarsit dan pualam yang tersingkap direruntuhan batuan penutup kuartar dan sentuhan tektonik dengan sedimen kapur.
- Dasit Piabung merupakan Formasi dasit, terdiri atas dasit yang berumur Miosen awal.
- Formasi lampung merupakan formasi yang berumur Pleistosen, terdiri atas tuf berbatu apung, tuf riolitik, tuf padu tufit, batulempung tufan dan batupasir tufan. Formasi ini secara umumnya mempunyai batuan dengan tekstur halus-menengah dan mempunyai warna putih-kelabu.



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (di modifikasi Dari Gafoer dan Pardede, 1993.).

2.3 Cekungan Air Tanah (CAT)

Cekungan Air Tanah (CAT) adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis, tempat semua kejadian hidrogeologis seperti proses pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan air tanah berlangsung (PERMEN ESDM Nomor 2 Tahun 2017). Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Pemerintah di Bidang Pengelolaan Air Bawah Tanah menyatakan bahwa pengelolaan air bawah tanah harus berlandaskan satuan wilayah Cekungan Air Tanah. Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa lokasi penelitian yang berada pada kotak berwarna hitam putus-putus di kontrol oleh dua Cekungan Air Tanah yaitu Cekungan Air Bandar Lampung yang ditunjukkan dengan warna merah muda dan cekungan air tanah Metro-Kota Bumi yang ditunjukkan dengan warna krem yang kemudian beberapa daerah memiliki batas daerah imbuhan dan lepasan air tanah tertekan yang dimana arah panah menunjukkan daerah lepasan air tanah. Sedangkan beberapa daerah juga termasuk kedalam daerah non- Cekungan Air Tanah.

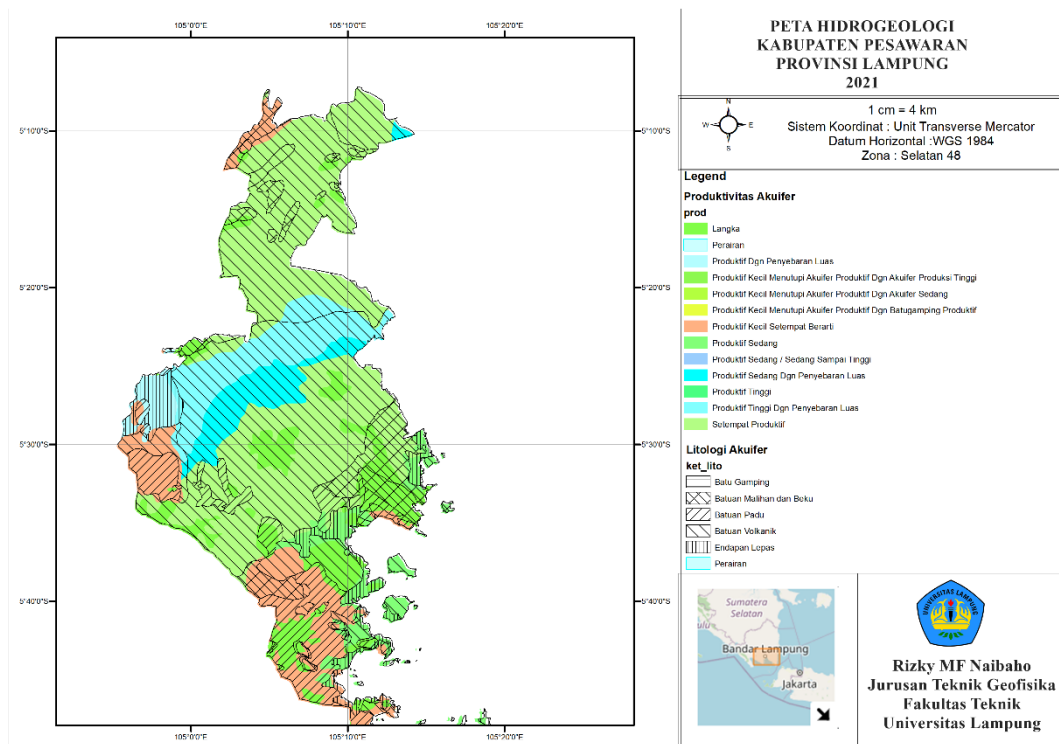


Gambar 3. Peta cekungan air tanah (Pamsimnas, 2008).

2.4 Hidrogeologi Daerah Penelitian

Hidrogeologi adalah cabang dari ilmu geologi yang mempelajari keberadaan dan karakteristik airtanah serta hubungan/interaksinya terhadap batuan. Karakteristik fisik airtanah dapat tergambar dari pergerakan dan pola alirannya. Pola aliran airtanah ini dapat dipengaruhi oleh jenis batuan, kemiringan batuan, dan susunan batuan. Airtanah dan batuan saling mempengaruhi satu sama lain. Ada kalanya airtanah dipengaruhi oleh batuan. Ada kalanya juga batuan terpengaruh atau berubah akibat keberadaan atau pengaruh airtanah. Contoh airtanah terpengaruh oleh batuan adalah komposisi airtanah di batugamping, secara umum, memiliki kandungan kalsium karbonat yang lebih tinggi dibandingkan di batuan lainnya. Contoh batuan terpengaruh oleh airtanah adalah proses terbentuknya endapan supergen seperti limonit.

Berdasarkan data hidrogeologi pada *geoportal* ESDM, di dapatkan bahwa daerah penelitian memiliki produktivitas akuifer dan litologi akuifer seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Hidrogeologi berdasarkan Data Geoportal ESDM (ESDM, 2021)

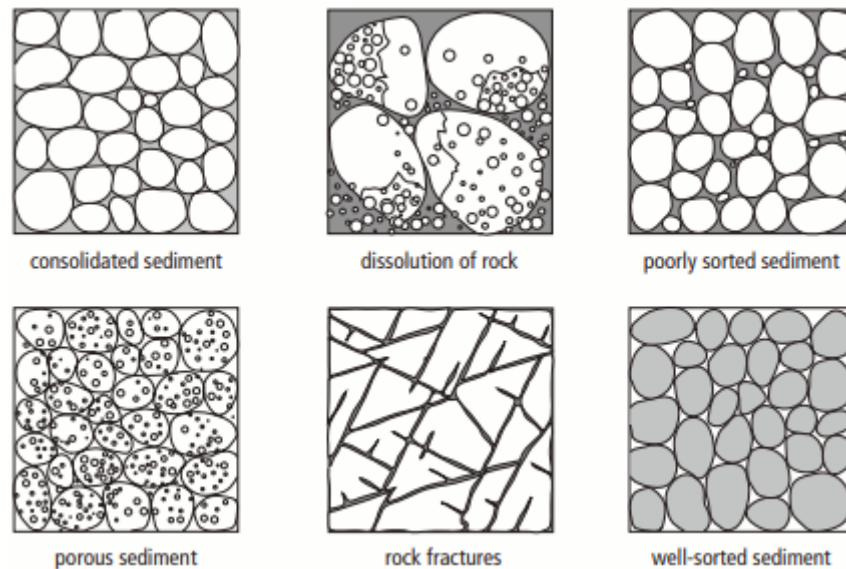
III. TEORI DASAR

3.1 Air Tanah

Air tanah merupakan air yang terdapat di bawah permukaan tanah pada zona jenuh atau air yang mengisi rongga-rongga pori tanah atau batuan seperti pada Gambar 5. Bagian atas lapisan air tanah disebut *water table*. Dan di antara *water table* dan permukaan tanah adalah zona tak jenuh, yaitu tempat air bergerak ke bawah menuju air permukaan untuk mengisi ulang air tanah. *Water table* ini bisa sangat dekat dengan permukaan, atau sangat dalam (Harter, 2003).

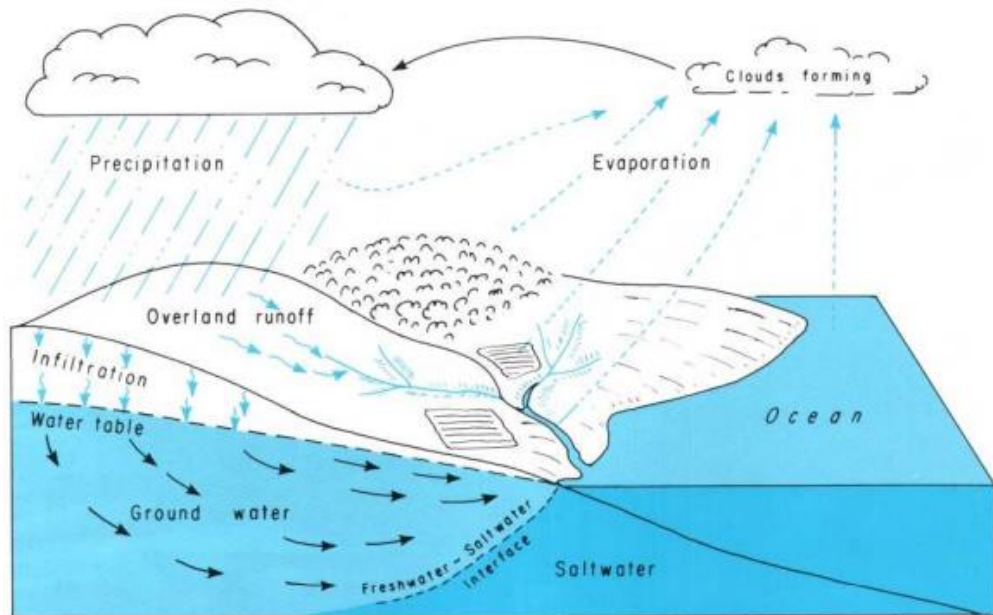
Berdasarkan sifat batuan/ tanah pelapukan untuk menyimpan dan mengalirkan air dapat dibagi menjadi 4, yaitu akuifer, akuiklud, akuifeug, dan akuitar. Akuifer adalah lapisan yang dapat menyimpan dan meloloskan air seperti pasir, kerikil, batupasir, batugamping rekahan. Akuiklud merupakan lapisan yang mampu menyimpan air, tetapi tidak dapat mengalirkan dalam jumlah yang berarti, contohnya adalah lempung, serpih, tuf halus, lanau. Akuitar adalah lapisan yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah yang terbatas, misalnya lempung pasiran. Sedangkan akuifug adalah lapisan batuan yang kedap air, tidak dapat menyimpan dan mengalirkan air, contohnya batuan kristalin, dan metamorf kompak (Harter, 2003). Air tanah berasal dari air hujan yang jatuh di daerah hulu yang disebut daerah tangkapan hujan (*catchment area*). Air kemudian masuk dan mengalir dalam tanah ke lapisan pembawa air dalam satu cekungan air tanah yang berada di bawah permukaan tanah menuju ke daerah keluaran serta menempati lapisan batuan lolos air. Lapisan batuan lolos air yang mengandung banyak air

dan dapat melepaskan air disebut akuifer. Antara akuifer atas dan bawah dibatasi oleh lapisan batuan kedap air (*impermeable*) (Harter, 2003). Siklus air tanah ini dapat dilihat seperti pada Gambar 6.



Gambar 5. Tipe ruang pori pada batuan dan sedimen (Harter, 2003).

Air tanah dibagi menjadi dua berdasarkan lokasinya, yaitu air tanah dangkal dan dalam. Air tanah dangkal merupakan air tanah yang berada di bawah permukaan tanah dan di atas lapisan batuan kedap air (Rustadi dkk., 2018). Air tanah dangkal umumnya berada pada kedalaman kurang dari 40 m dari permukaan tanah. Akuifer air tanah ini bersifat tidak tertekan, sangat mudah dipengaruhi oleh kondisi lingkungan setempat. Hal ini disebabkan karena antara air tanah pada akuifer dan air yang ada di permukaan tanah tidak dipisahkan oleh lapisan batuan yang kedap. Besaran volume air tanah dangkal dipengaruhi oleh curah hujan pada suatu wilayah. Sedangkan air tanah dalam merupakan air tanah yang berada di bawah lapisan air tanah dangkal dan di antara dua lapisan batuan kedap air. Air tanah ini berada pada akuifer kedalaman antara 40-150 m dan di bawah 150 m. Akuifer ini bersifat tertekan dan tidak dipengaruhi oleh kondisi air permukaan setempat karena antara air tanah pada akuifer dan air yang ada di permukaan tanah dipisahkan oleh lapisan batuan yang kedap. Air tanah ini mengalir dari daerah resapannya di daerah yang bertopografi tinggi (Rejekiingrum, 2010).



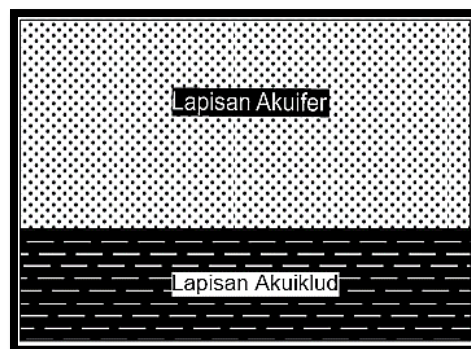
Gambar 6. Siklus hidrologi (Ralph, 1983).

3.1.1 Tipe Akuifer

Menurut (Muchamad, 2016) tipe akuifer dapat digolongkan mejadi 3 yaitu:

- **Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*)**

Yaitu lapisan lolos air yang hanya sebagian terisi oleh air dan berada di atas lapisan kedap air. Lapisan atas merupakan akuifer dan lapisan bawah yang berupa akuiklud.

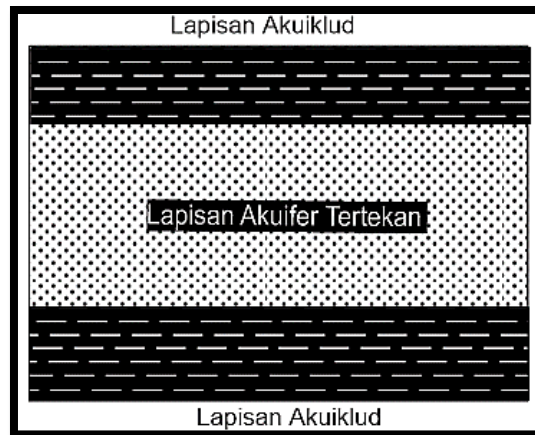


Gambar 7. Sistem akuifer bebas (Muchamad, 2016).

- **Akuifer Tertekan (*confined aquifer*)**

Yaitu akuifer yang dibatasi oleh lapisan kedap air, baik di atas maupun di bawahnya. Akuifer tertekan terisi penuh oleh air tanah dan tidak

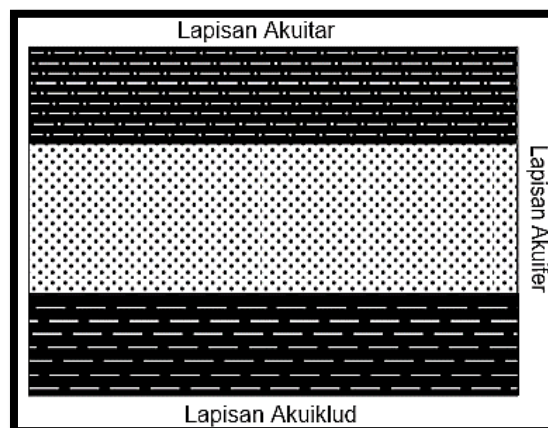
mempunyai muka air tanah yang bersifat bebas, lapisan atas merupakan akuiklud dan lapisan bawah yang berupa akuiklud.



Gambar 8. Sistem akuifer tertekan(Muchamad, 2016).

- ***Semi Confined Aquifer***

Akuifer jenuh yang dibatasi oleh lapisan atas akuitar dan lapisan bawahnya akuiklud. Akuifer ini dapat meloloskan dan memperoleh air melewati salah satu atau kedua batas formasinya baik atas maupun bawah. Pada lapisan pembatas dibagian atasnya dimungkinkan masih ada air yang mengalir ke akuifer tersebut. Lapisan atas merupakan lapisan akuitar dan lapisan tengah merupakan akuifer dan lapisan bawah yang berupa akuiklud.



Gambar 9. Sistem akuifer bocor (Muchamad, 2016).

3.1.2 Ruang Air Tanah

Proses hidrogeologis yang terjadi dalam cekungan air tanah meliputi pengimbuhan, pengaliran dan pelepasan air tanah. Pengimbuhan terjadi di daerah imbuhan (*recharge area*) dan pelepasan air tanah terjadi di daerah lepasan (*discharge area*). Daerah imbuhan air tanah yang populer dengan daerah resapan adalah daerah resapan air yang mampu menambah air tanah secara alami pada daerah cekungan air tanah (hulu). Daerah lepasan air tanah adalah daerah keluaran air tanah yang berlangsung secara alamiah pada cekungan air tanah (hilir). Penentuan daerah resapan atau karakter daerah ini dicirikan oleh beberapa hal meliputi (Muchamad, 2016):

- Berdasarkan tekuk lereng

Tekuk lereng merupakan batas antara morfologi dataran dengan perbukitan. Biasanya merupakan daerah kaki bukit atau kaki pegunungan. Apabila disusuri jalan di daerah dataran ke hulu kemudian menemukan tanjakan maka secara sederhana dapat dikatakan bahwa batas antara dataran dan tanjakan tersebut adalah tekuk lereng. Daerah imbuhan dapat disebutkan berada di atas tekuk lereng tersebut, sedangkan daerah lepasan terletak di bawah tekuk lereng.

- Berdasarkan pola aliran sungai

Daerah imbuhan dikenal dalam satu daerah yang terdiri atas serangkaian anak sungai. Daerah imbuhan pada umumnya dicirikan dengan morfologi kawasan yang ditempati oleh beberapa anak sungai. Pada umumnya daerah imbuhan ditempati oleh sungai orde ketiga dan keempat atau yang lebih rendah lagi. Daerah lepasan secara sederhana dikenal dalam satu daerah yang terdiri atas sungai induk dan beberapa cabang sungai utama.

- Berdasarkan pemunculan mata air

Daerah lepasan tanah secara visual dapat dikenali di lapangan dari pemunculan mata air. Mata air umumnya terdapat di daerah kaki bukit, kaki pegunungan atau tekuk lereng, serta pada lereng bukit dan lereng pegunungan bagian bawah. Daerah di bawah mata air atau hilir

dari titik pemunculan air merupakan daerah lepasan sebaliknya di atas titik pemunculan merupakan daerah imbuan.

- Berdasarkan kedalaman air tanah

Berdasarkan kedudukan muka air tanah dan aliran air tanahnya maka daerah imbuan merupakan bagian dari cekungan yang dicirikan dengan aliran air tanah pada lapisan jenuh mengalir menjauhi muka air tanah. Di daerah imbuan arah aliran air tanah di dekat permukaan mengalir ke bawah. Sedangkan daerah lepasan merupakan bagian dari cekungan yang dicirikan dengan aliran air tanah pada lapisan jenuh mengalir menuju muka air tanah. Di daerah lepasan arah aliran air tanah di dekat permukaan mengarah ke atas.

3.2 Analisis Hidrogeologi

Hidrogeologi adalah cabang dari ilmu geologi yang mempelajari keberadaan dan karakteristik airtanah serta hubungan/interaksinya terhadap batuan. Karakteristik fisik airtanah dapat tergambar dari pergerakan dan pola alirannya. Pola aliran airtanah ini dapat dipengaruhi oleh jenis batuan, kemiringan batuan, dan susunan batuan. Airtanah dan batuan saling mempengaruhi satu sama lain. Ada kalanya airtanah dipengaruhi oleh batuan. Ada kalanya juga batuan terpengaruh atau berubah akibat keberadaan atau pengaruh airtanah. Contoh airtanah terpengaruh oleh batuan adalah komposisi airtanah di batugamping, secara umum, memiliki kandungan kalsium karbonat yang lebih tinggi dibandingkan di batuan lainnya. Contoh batuan terpengaruh oleh airtanah adalah proses terbentuknya endapan supergen seperti limonit.

Analisis hidrogeologi dilakukan untuk mengetahui topologi dan litologi akuifer serta kualitas akuifer yang didasarkan pada struktur pengontrol yaitu penyebaran batuan pada daerah penelitian.

3.2.1. Komposisi Litologi dan Kelulusan Batuan

Adapun komposisi litologi dan kelulusan batuan berdasarkan pemetaan hidrogeologi menurut Soekardi, yaitu :

Pasir pematang pantai : Pasir bebutir halus terpilah baik yang mengandung pecahan seperti kerang dengan kelulusan air sedang.

Endapain alluvium pantai : Perselang-selingan endapan lempung dan pasir, setempat mengandung bahan organik, dengan kelulusan kecil sampai sedang

Aluvium sungai pada dataran pantai : Pasir dan kerikil terpilah sedang dengan kelulusan air sedang sampai tinggi.

Endapan alluvium sungai : Lempung, pasir, kerikil, dan kerakal dengan kelulusan air rendah sampai tinggi.

Endapan lanau : Pasir, kerikil, dan kerakal hasil pengendapan kembali batuan vulkanik Kwarter dan konglomerat serta pasir sungai yang memiliki kelulusan air sedang sampai tinggi.

Endapan vulkanik muda : Lahar, breksi tufaan, lava, dan lapilli bersusunan andesit sampai basal. Berkelulusan sedang hingga tinggi, berkelulusan tinggi terutama pada endapan lahar dan lava vasikuler.

Batuan vulkanik tak terpisahkan : Campuran bahan vulkanik lepas dan padu, termasuk breksi dan aliran lava. Kelulusan air rendah sampai sedang.

Batuan vulkanik kwarter tua : Lahar, lava , breksi, berkomposisi andesit sampai basal dan tufa batupung. Kelulusan rendah sampai tinggi tergantung kepada perkembangan kelulusan sekunder.

Tufa malimping : Tufa dasitik, tufa lapilli, tufa breksi, breksi gunungapi, lava dan batupasir tufaan. Berkelulusan rendah sampai sedang.

Batugamping koral : Koral, bunga karang dan batugamping halus, kelulusan rendah sampai sedang.

Napal pasiran : Lempung pasiran, lensa batugamping, serta batupasir tufaan dan tufa dari kelulusan rendah sampai sedang.

Tufa batupung : Batupasir tufaan, konglomerat, breksi andesit dan sisipan batugamping dan lempung tufaan. Kelulusan rendah sampai sedang

Batulempung : Batupasir dan breksi pada formasi. Umumnya berkelulusan rendah.

Lava, terutama bersusunan andesit : Kelulusan rendah sampai sedang.
 Batuan terobosan bersifat asam : Andesit, diorite dan granit. Umumnya berkelulusan rendah.

3.2.2. Terdapatnya Air Tanah dan Produktivitas Akuifer

- Akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir
 - Akuifer produktif dan luas sebarannya
 Akuifer dengan keterusan sedang, muka air akuifer tertekan dibawah permukaan tanah dan serahan sumurbor yang dibangun sebagaimana mestinya kadang-kadang lebih dari 5 l/s, tetapi umumnya kurang dari 5 l/s.
 - Akuifer produktif sedang dan luas sebarannya
 Akuifer dengan keterusan sedang sampai rendah, paras airtanah beragam dari atas sampai jauh dibawah permukaan tanah seperti yang terdapat di daerah padat industry, serahan sumur kurang dari 5 l/s.
 - Setempat akuifer berproduksi sedang
 Akuifer dangkal kebanyakan tidak menerus, tipis dengan keterusan rendah sampai sedang, serahan sumur umumnya kurang dari 5 l/s.
- Akuifer dengan aliran melalui celahan dan ruang antar butir
 - Akuifer produktif tinggi dan luas sebarannya
 Akuifer dengan keterusan beragam, kedalaman paras airtanah beragam dan serahan umumnya lebih dari 5 l/s.
 - Akuifer produktif sedang dan luas sebarannya
 Akuifer dengan keterusan sangat beragam, kedalaman airtanah tak tertekan umumnya dalam dan serahan sumur umumnya kurang dari 5 l/s.
 - Setempat akuifer produktif
 Akuifer dengan keterusan sangat beragam, umumnya tidak ditemukan airtanah yang dapat dimanfaatkan sekalipun dengan

mombornya, karena paras airtanah cukup dalam, setempat mata air yang ada dapat dikembangkan.

- Akuifer dengan aliran melalui rekahan, kekar, dan saluran rongga
 - Akuifer produktif rendah sampai sedang
Aliran air tanah terbatas pada zona celahan, rekahan dan saluran pelaurtan, serahan sumur dan luah mata air beragam dalam kisaran yang sangat besar.
- Akuifer produktif kecil dan daerah air tanah langka
 - Akuifer produktif kecil, setempat berarti
Keterusan umumnya rendah sampai sangat rendah, setempat air tanah dalam jumlah terbatas dapat diperoleh terutama pada daerah lembah atau zona pelapukan batuan padu.
 - Daerah airtanah langka
Keterusan sangat rendah dengan jumlah air tanah yang sangat terbatas (Soekardi, 1986).

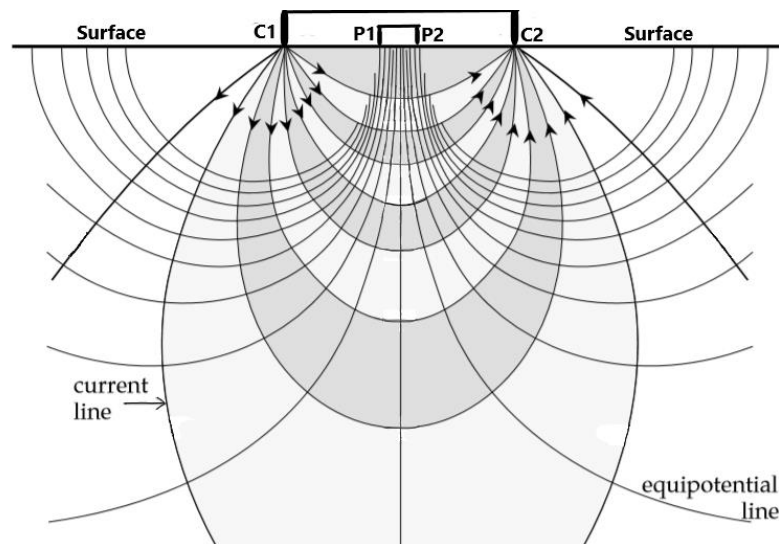
3.3 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode Geolistrik resistivitas merupakan salah satu teknik investigasi dalam geofisika yang memiliki prinsip bahwa persebaran nilai resistivitas setiap litologi bawah permukaan memiliki nilai yang tidak sama. Metoda geolistrik adalah salah satu metoda yang mempelajari sifat-sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya dari permukaan bumi. Besaran fisis yang dicari adalah tahanan jenis batuan akibat adanya medan potensial dan arus yang diinjeksikan ke bawah permukaan bumi. Pada dasarnya metode ini didekati menggunakan konsep perambatan arus listrik di dalam medium yang homogen isotropis, dimana arus listrik bergerak ke segala arah dengan nilai sama besar. Sehingga jika terjadi penyimpangan dari kondisi ideal (homogen isotropis), maka penyimpangan ini (anomali) yang justru yang diamati.

Nilai tahanan jenis batuan berhubungan dengan sifat fisisnya antara lain derajat saturasi air, porositas, permeabilitas dan formasi batuan. Prinsip kerja dari Metoda Geolistrik ini adalah arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui

dua buah elektroda arus. Beda potensial yang terjadi diukur melalui dua buah elektroda potensial, dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda tertentu, dapat ditentukan variasi harga tahanan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur.

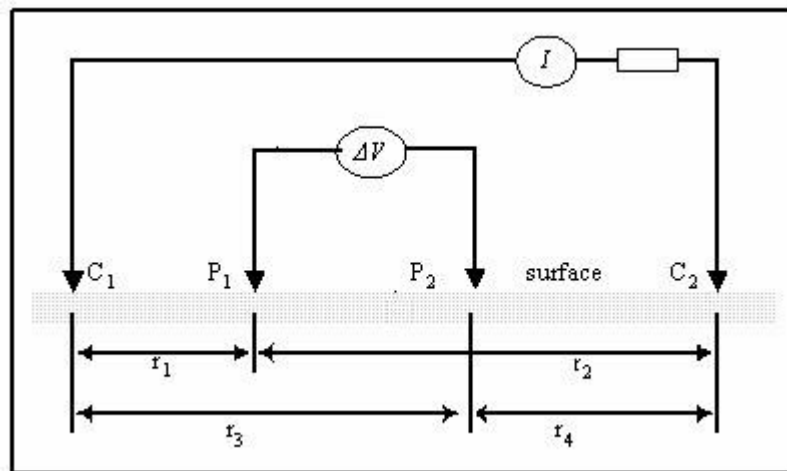
Dalam pengukuran Geolistrik di lapangan dilakukan dengan mengalirkan arus ke dalam tanah seperti pada Gambar 10 melalui 2 elektroda arus (C1 dan C2) dan responsnya (beda potensial) diukur melalui 2 elektroda yang lain (P1 dan P2). Berdasarkan konfigurasi elektroda dan respons yang terukur maka sifat kelistrikan medium bawah permukaan tersebut dapat diperkirakan (Lowrie, 2007).



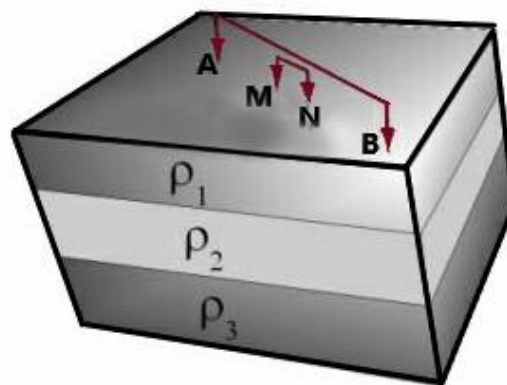
Gambar 10. Prinsip pengukuran Geolistrik (Lowrie, 2007).

Untuk dapat mengetahui nilai tahanan jenis dari suatu batuan di bawah permukaan maka dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Dengan menggunakan 2 buah elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu selanjutnya diinjeksikan arus listrik. Semakin panjang jarak elektroda AB akan menyebabkan arus listrik bisa menembus lapisan batuan yang lebih dalam. Dialirkannya arus listrik maka di dalam tanah akan menimbulkan tegangan listrik. Tegangan listrik yang terjadi di permukaan tanah diukur dengan menggunakan multimeter yang terhubung melalui dua buah elektroda tegangan MN yang jaraknya lebih pendek daripada jarak

elektroda AB. Penyusunan elektroda saat pengukuran di lapangan akan mempengaruhi nilai resistivitas semu yang didapatkan seperti pada Gambar 11 (Kirsch, 2006).



Gambar 11. Susunan elektroda arus dan elektroda potensial dalam pengukuran resistivitas (Telford, W.M., et al., 1990).



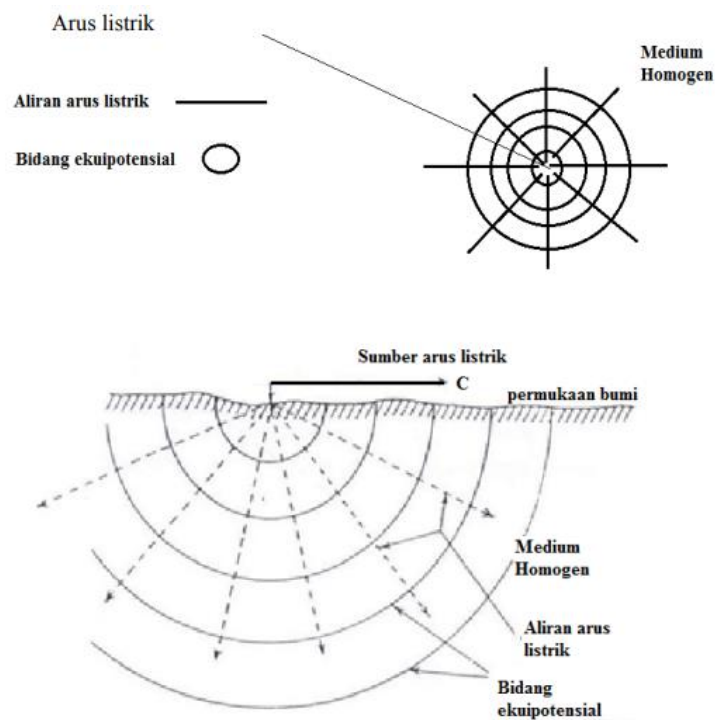
Gambar 12. Susunan elektroda untuk pengukuran resistivitas semu pada lapisan tanah berlapis (Kirsch, 2006).

3.3.1 Konsep Resistivitas

Dalam eksplorasi Geolistrik, jarak elektroda jauh lebih kecil daripada jejari bumi, sehingga bumi dapat dianggap sebagai medium setengah tak berhingga yang homogen isotropik, sehingga resistivitas yang terukur

merupakan resistivitas sesungguhnya (*true resistivity*) dan setiap lapisan memiliki resistivitas yang sama (Kirsch, 2006).

Prinsip dasarnya dari metoda geolistrik adalah mengukur respon berupa potensial pada suatu elektroda potensial akibat arus listrik yang diinjeksikan ke dalam bumi melalui elektroda arus, oleh karena itu perumusan teoritis metoda geolistrik didasarkan pada prinsip perhitungan potensial listrik pada suatu medium tertentu akibat suatu sumber arus listrik di permukaan bumi. Jika arus (I) diinjeksikan ke dalam bumi yang homogen dan isotropis melalui sebuah elektroda tunggal, maka arus listrik tersebut akan menyebar ke segala arah dalam permukaan-permukaan ekuipotensial pada bumi berupa permukaan setengah bola seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 13 (Telford, 1990).



Gambar 13. Aliran Arus Listrik dan Bidang Ekuipotensial Sumber Arus Tunggal

Karena permukaan yang dialiri arus adalah permukaan setengah bola yang mempunyai luas $2\pi r^2$, maka nilai potensial listrik terukur dapat ditulis seperti pada persamaan (2)

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

Apabila dipasang empat buah elektroda seperti Gambar 10, dan jarak antara dua elektroda arus tidak terlalu besar, potensial di setiap titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut, sehingga equipotensial yang dihasilkan dari kedua titik sumber ini bersifat lebih kompleks dibandingkan sumber arus tunggal, akan tetapi pada daerah dekat sumber arus mendekati bola. bila dibuat penampang melalui sumber A dan B, maka terlihat pola distribusi bidang equipotensial seperti pada Gambar 10. Sehingga nilai beda potensial terukur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$\Delta V = V_2 - V_1 \quad (3)$$

$$V_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) \quad (4)$$

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \quad (5)$$

Sehingga bentuk umum resistivitas semu adalah seperti pada persamaan 6:

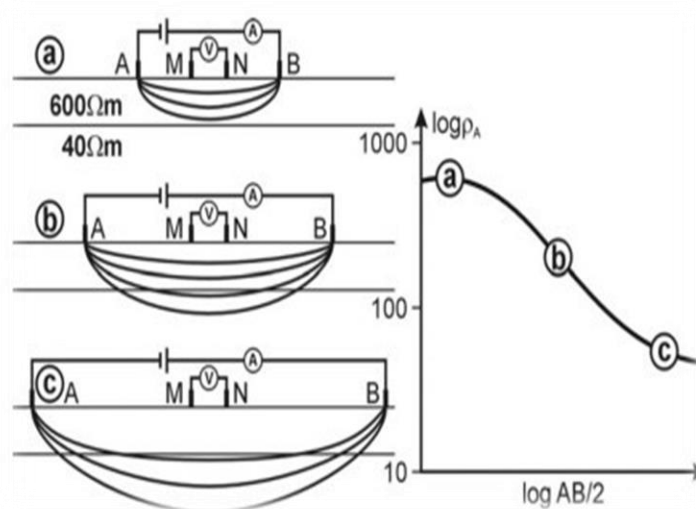
$$\rho_a = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (6)$$

Berikut keterangan dari bentuk umum rumus (3):

- ρ_a : Resistivitas semu (Ωm)
- K : Faktor geometri (m)
- ΔV : Tegangan yang diukur (V)
- I : Kuat arus (A)
- $A - B$: Elektroda arus
- $M - N$: Elektroda potensial

3.3.2 Pengukuran *Vertical Electrical Sounding* (VES)

Pengukuran *Vertical Electrical Sounding* (VES) merupakan teknik investigasi pengukuran metode Geolistrik resistivitas untuk mempelajari persebaran nilai resistivitas di bawah permukaan yang sensitif terhadap variasi distribusi resistivitas secara vertikal di bawah permukaan. Teknik ini paling baik di adaptasi untuk menentukan kedalaman dan resistivitas untuk struktur batuan berlapis rata, seperti lapisan sedimen, atau kedalaman ke permukaan air. Konfigurasi Schlumberger paling umum digunakan untuk investigasi VES. Titik tengah dijaga tetap sementara jarak antara elektroda saat ini semakin meningkat. Hal ini menyebabkan garis arus menembus secara vertikal seperti pada Gambar 14. Jarak elektroda akan sebanding dengan kedalaman lapisan batu terdeteksi. Semakin dalam lapisan batu, semakin besar jarak elektroda (Lowrie, 2007).



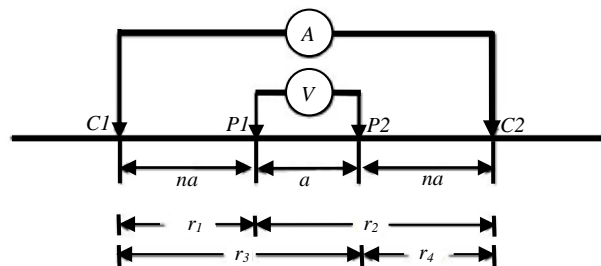
Gambar 14. Pengukuran VES (Kirsch, 2006).

3.3.3 Konfigurasi Schlumberger

Pada konfigurasi ini elektroda M dan N digunakan sebagai elektroda potensial dan elektroda A dan B digunakan sebagai elektroda arus. Pada konfigurasi schlumberger ini, nilai MN lebih dari nilai AB. Sehingga

jarak MN secara teoritis tidak mengalami perubahan, tetapi karena adanya keterbatasan kepekaan peralatan pengukuran, maka ketika jarak AB sudah relatif besar maka jarak MN baru dirubah.

Pada konfigurasi schlumberger ini memiliki kekurangan yaitu pembacaan tegangan pada elektroda MN adalah lebih kecil terutama ketika jarak AB yang relatif jauh, sehingga diperlukan alat ukur multimeter yang mempunyai akurasi tinggi yaitu menampilkan nilai skala *milivolt* (mV) untuk mendapatkan tingkat akurasi data yang lebih detail. Tetapi ada solusi lain yaitu diperlukan peralatan pengirim arus yang mempunyai tegangan listrik DC yang sangat tinggi. Sedangkan kelebihan dari konfigurasi schlumberger ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan pada permukaan, yaitu dengan membandingkan nilai resistivitas semu ketika terjadi perubahan jarak elektroda MN/2 (Kirsch, 2006).



Gambar 15. Konfigurasi Schulmberger (Telford, W.M, et al., 1990).

Asumsi bahwa kedalaman lapisan batuan yang bisa ditembus oleh arus listrik ini sama dengan separuh dari jarak elektroda arus (yang dimisalkan dengan elektroda arus A dan elektroda arus B) dapat bernilai $AB/2$ (apabila digunakan arus listrik DC). Sehingga dapat diperkirakan pengaruh dari injeksi aliran arus listrik ini berbentuk setengah bola dengan jari-jari $AB/2$ (Kirsch, 2006).

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}\right)} \quad (7)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+na} - \frac{1}{a+na} + \frac{1}{a}\right)} \quad (8)$$

$$K = \pi a n (n + 1) \quad (9)$$

Dari persamaan bentuk umum resistivitas semu dapat dirumuskan seperti pada persamaan 10:

$$\rho_a = \pi a n (n + 1) \left(\frac{\Delta V}{I}\right) \quad (10)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

I = Kuat Arus (A)

V = Tegangan yang di ukur (V)

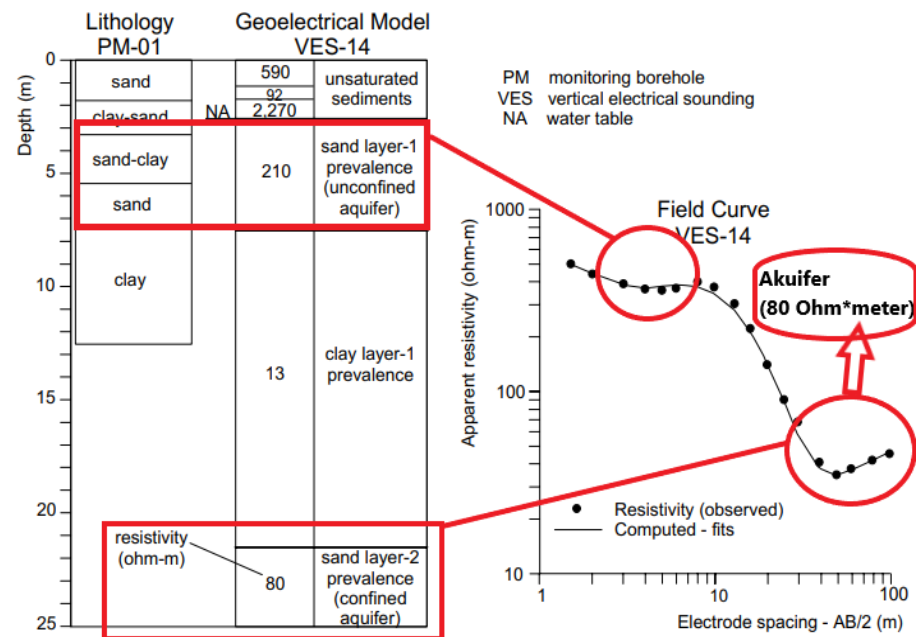
ρ = Resistivitas (Ωm)

$r1$ = Jarak C1 ke P1 (m)

$r2$ = Jarak C2 ke P1 (m)

$r3$ = Jarak C1 ke P2 (m)

$r4$ = Jarak C2 ke P2 (m)



Gambar 16. Kurva VES yang menunjukkan akuifer air tanah (Dourado, 2006).

Pengolahan data dilakukan dua tahap yaitu tahap pertama dilakukan dengan menggunakan kurva *matching*, yaitu penafsiran pendahuluan untuk mengetahui nilai resistivitas tiap lapisan, jumlah lapisan, dan ketebalan lapisan. Penafsiran dengan menggunakan kurva baku dua lapisan yang telah dihitung secara teoritis. Tahap kedua dilakukan dengan bantuan *software* untuk mendapatkan hasil yang lebih yang akurat. Penafsiran dilakukan dengan otomatis dan manual. Dengan memasukkan hasil penafsiran pada tahap pertama berdasarkan kondisi geologi daerah penelitian untuk menentukan lapisan yang diduga mempunyai potensi sebagai lapisan akuifer air tanah dalam kondisi batuan sedimen yang normal yaitu berdasarkan penafsiran setiap litologi batuan memiliki nilai resistivitas batuan geologi yang berbeda-beda. Dasar lainnya yang dipakai adalah tiap litologi batuan mempunyai nilai resistivitas yang berbeda berdasarkan porositas, kandungan air dan kekompakannya. Hubungan antara besaran harga resistivitas dengan macam batuan dapat digambarkan sebagai berikut, bahwa batuan sedimen yang lepas akan mempunyai resistivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan batuan sedimen yang kompak. Pada kurva VES Gambar 15 yang menunjukkan akuifer air tanah mempunyai tahanan jenis yang rendah. Sehingga dengan data VES yang telah dilakukan pengolahan dengan *software IPI2WIN* didapatkan nilai resistivitas sebenarnya untuk menentukan karakteristik lapisan yang mengandung akuifer pada kurva ditunjukkan dengan nilai resistivitas berkisar 0,5-300 Ωm (Telford, W.M, et al., 1990).

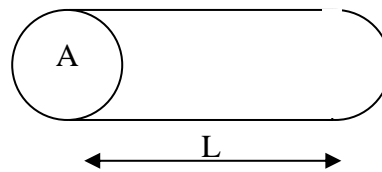
3.3.4 Resistivitas Batuan

Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam (Telford, W.M, et al., 1990), yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik.

- Konduksi Secara Elektronik.

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau

mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis). Resistivitas adalah karakteristik bahan yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Begitu pula sebaliknya apabila nilai resistivitasnya rendah maka akan semakin mudah bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Resistivitas mempunyai pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya tergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut. Sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri.



Gambar 17. Silinder Konduktor.

Jika ditinjau silinder konduktor dengan panjang L , luas penampang A , dan resistansi R , maka dapat dirumuskan:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (5)$$

dimana ρ adalah resistivitas (Ωm), L adalah panjang silinder konduktor (m), A adalah luas penampang silinder konduktor (m^2), R adalah resistansi (Ω). Sedangkan menurut hukum Ωm , resistansi R dirumuskan:

$$R = \frac{V}{I} \quad (6)$$

dimana R adalah resistivitas (Ω), V adalah beda potensial (volt), I adalah kuat arus (ampere). Dari kedua rumus tersebut didapatkan nilai resistivitas (ρ) sebesar :

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (7)$$

- Konduksi Secara Elektrolitik

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Batuan biasanya bersifat porus dan memiliki poripori yang terisi oleh fluida, terutama air. Batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolitik, di mana konduksi arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air. Konduktivitas dan resistivitas batuan porus bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah banyak, dan sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang. Menurut persamaan Archie:

$$\rho_f = a \rho_w \varphi^{-m} S^{-n} \quad (7)$$

ρ_f adalah resistivitas formasi batuan (Ωm), ρ_w adalah resistivitas air formasi, φ adalah porositas, S adalah saturasi air, sedangkan a , m , dan n adalah konstanta (m disebut juga faktor sementasi). Schlumberger menyarankan $n = 2$, untuk nilai n yang sama.

- Konduksi Secara Dielektrik

Konduksi pada batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai electron bebas sedikit, bahkan tidak ada sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik dari luar maka electron dalam bahan berpindah dan berkumpul terpisah dari inti, sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini tergantung pada konduksi dielektrik masing-masing batuan yang bersangkutan, contoh : mika.

Tabel 1. Harga resistivitas spesifik batuan (Telford, W.M., et al., 1990).

Rock Type	Resistivity Range (Ωm)
<i>Granite porphyry</i>	$4,5 \times 10^3$ (wet) – $1,3 \times 10^6$ (dry)
<i>Feldspar porphyry</i>	4×10^3 (wet)
<i>Syenite</i>	$10^2 - 10^6$
<i>Diorite porphyry</i>	$1,9 \times 10^3$ (wet) – $2,8 \times 10^4$ (dry)
<i>Porphyrite</i>	$4,5 \times 10^4$ (wet) – $3,3 \times 10^3$ (dry)
<i>Carbonatized porphyry</i>	$10 - 5 \times 10^3$ (wet) – 6×10^4 (dry)
<i>Quartz Diorite</i>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ (wet) – $1,8 \times 10^5$ (dry)
<i>Porphyry (various)</i>	$60 - 10^4$
<i>Dacite</i>	2×10^4 (wet)
<i>Andesite</i>	$4,5 \times 10^4$ (wet) – $1,7 \times 10^2$ (dry)
<i>Diabase (various)</i>	$20 - 5 \times 10^7$
<i>Lavas</i>	$10^3 - 5 \times 10^4$
<i>Gabbro</i>	$10^3 - 10^6$ (wet)
<i>Basalt</i>	$10 - 1,3 \times 10^7$ (dry)
<i>Olivine norite</i>	$10^3 - 6 \times 10^4$ (wet)
<i>Peridotite</i>	3×10^3 (wet) – $6,5 \times 10^3$ (dry)
<i>Hornfels</i>	8×10^3 (wet) - 6×10^7 (dry)
<i>Schists</i>	$20 - 10^4$
<i>Tuffs</i>	2×10^3 (wet) – 10^5 (dry)
<i>Graphite schist</i>	$10 - 10^2$
<i>Slates</i>	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
<i>Gneiss</i>	$6,8 \times 10^4$ (wet) - 3×10^6 (dry)
<i>Marble</i>	$10^2 - 2,5 \times 10^8$ (dry)
<i>Skarn</i>	$2,5 \times 10^2$ (wet) - $2,5 \times 10^8$ (dry)
<i>Quartzites</i>	$10 - 2 \times 10^6$
<i>Consolidated shales</i>	$20 - 2 \times 10^3$
<i>Argilites</i>	$10 - 8 \times 10^2$
<i>Conglomerats</i>	$2 \times 10^3 - 10^4$
<i>Sandstones</i>	$1 - 6,4 \times 10^8$
<i>Limestones</i>	$50 - 10^7$
<i>Dolomite</i>	$3,5 - 10^2 - 5 \times 10^3$
<i>Unconsolidated wet clay</i>	20
<i>marls</i>	3 – 70
<i>clays</i>	1 – 100
<i>Oil sands</i>	4 – 800

Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui hubungan antara besarnya nilai tahanan jenis dengan macam batuan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Nilai tahanan jenis batuan yang lepas lebih rendah dari batuan yang kompak.
- Nilai tahanan jenis batuan akan lebih rendah, jika air tanah berkadar garam tinggi.
- Tidak terdapat batas yang jelas antara nilai tahanan jenis dari tiap-tiap batuan.
- Tahanan jenis batuan dapat berbeda secara menyolok, tidak saja dari lapisan yang satu terhadap lapisan yang lain, tetapi juga didalam satu lapisan batuan.
- Batuan yang pori-porinya mengandung air, hambatan jenisnya lebih rendah dari yang kering. Kandungan air didalam batuan akan menunjukkan harga resistivitas.

3.4 Bahasa Pemrograman *Python*

Python merupakan bahasa pemrograman yang bersifat *Open Source* sehingga dapat dikembangkan secara gratis tanpa menggunakan lisensi dan dapat dikembangkan sesuai kebutuhan pengguna. Penulisan sintaks pada bahasa pemrograman *Python* sangat fleksibel sehingga mudah dipelajari. Selain itu, struktur data pada bahasa pemrograman Python sangat efisien, pemrograman yang berorientasi pada objek lebih sederhana tetapi efektif, dapat bekerja pada multiplatform, dan dapat digabungkan dengan bahasa pemrograman lain sehingga menghasilkan suatu interpretasi perintah.

Python merupakan bahasa pemrograman yang di eksekusi dengan cara interpreter. Terdapat dua cara menggunakan interpreter, yaitu dengan mode baris perintah dan modul *script*. Pada mode baris, perintah diketikkan pada *shell* atau *command line* dan di eksekusi secara langsung oleh *Python*. Cara lain adalah dengan menyimpan perintah-perintah *Python* dalam satu file, yang disebut selanjutnya sebagai *script*. Kita dapat mengetikkan perintah-perintah *Python* dengan menggunakan text editor seperti *notepad*. Lalu menyimpannya dengan format “.py”. kemudian di eksekusi dengan *Python*. Pada gambar berikut ditunjukkan tampilan *Integrated Development Environment (IDLE)*.

Prompt >>> menyatakan interpreter *Python* siap menerima perintah dari pengguna (Kurniawan et al., 2011).

3.4 Metode *Well Logging*

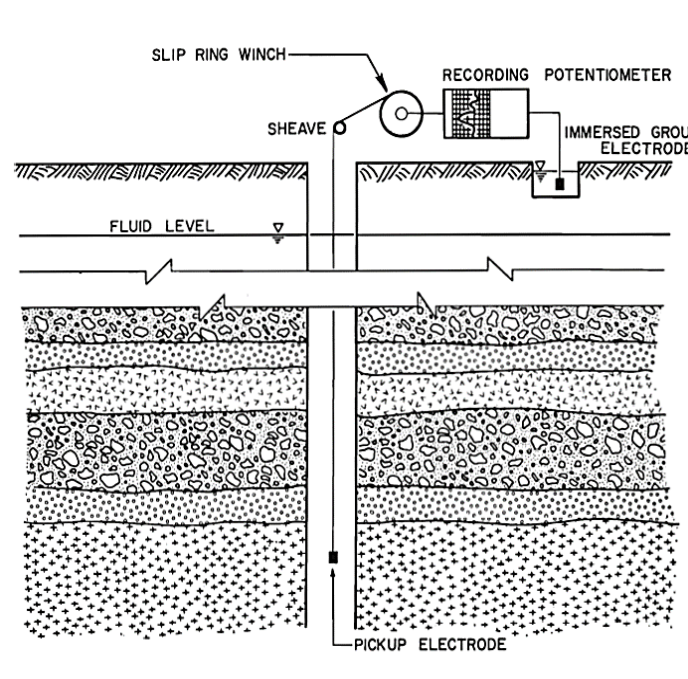
Well Logging merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika melalui lubang bor untuk menyelidiki dan memperoleh gambaran bawah permukaan dengan memanfaatkan parameter fisika batuan. Pelaksanaanya dilakukan dengan memasukkan alat deteksi yang biasa disebut sound kedalam lubang bor sehingga akan diperoleh kurva *log* yang akan memberikan gambaran hubungan antara kedalaman dan sifat fisik batuan. Kurva *log* akan terekam oleh alat detektor yang ditempatkan di permukaan dan respon yang terekam merupakan reaksi dari seluruh material yang terletak pada volume penyelidikan. Setiap batuan memiliki sifat fisis yang khas sehingga dari kurva hasil perekaman akan dapat diinterpretasikan kedalaman, ketebalan, jenis litologi atau batuan yang berada pada suatu sumur pemboran. *Logging* geofisika juga mencakup semua data yang dikumpulkan selama pengeboran dan diperlukan untuk mendapatkan gambaran terperinci mengenai stratigrafi bawah permukaan bumi yakni dari deskripsi litologi (Dewanto, 2019).

Pada penelitian ini jenis *Well Logging* yang digunakan yaitu jenis *log* listrik. *Log* listrik merupakan suatu jenis *log* yang digunakan untuk mengukur sifat kelistrikan batuan, yaitu resistivitas atau tahanan jenis batuan dan potensial diri dari batuan *log* listrik digunakan untuk korelasi yang tepat dengan VES untuk eksplorasi air tanah.

3.4.1 *Log Spontaneous Potential (SP)*

Log Spontaneous Potential (SP) merupakan rekaman perbedaan potensial listrik antara elektroda di permukaan dengan elektroda yang terdapat di lubang bor yang bergerak naik–turun. *Log SP* adalah salah satu metode *logging* tertua yang dikembangkan oleh perusahaan Schlumberger. Pada penerapannya *log SP* berfungsi untuk mengidentifikasi lapisan permeabel, menentukan batas-batas lapisan permeabel dan menentukan resistivitas air formasi (R_w), serta

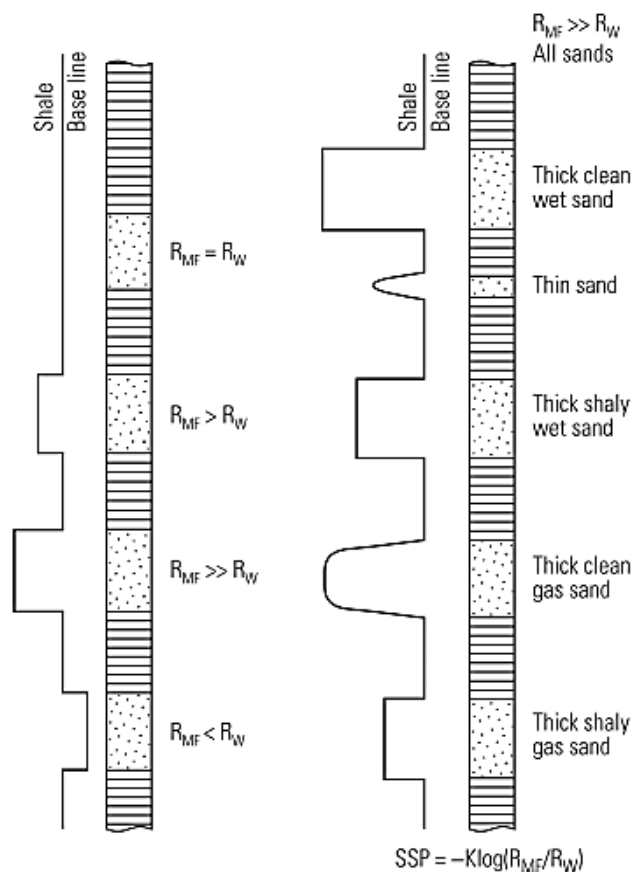
memberikan indikasi kualitatif pada lapisan serpih (Herrmann *and* Bucksch, 2014). Ilustrasi pengukuran *log* SP dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 18. Ilustrasi pengukuran *log* SP (Hudson, 1996).

Supaya SP dapat berfungsi maka lubang harus diisi oleh lumpur konduktif dengan nilai skala SP adalah millivolt. Dari penerapannya *log* SP dapat digunakan untuk:

- Estimasi lapisan *permeable*.
- Mencari batas-batas lapisan *permeable* dan korelasi antar sumur berdasarkan tiap lapisannya.
- Menentukan nilai resistivitas air formasi (R_w).
- Memberikan indikasi kualitatif lapisan serpih.



Gambar 19. Contoh respon anomali *log SP* (Ellis dan Singer, 2008).

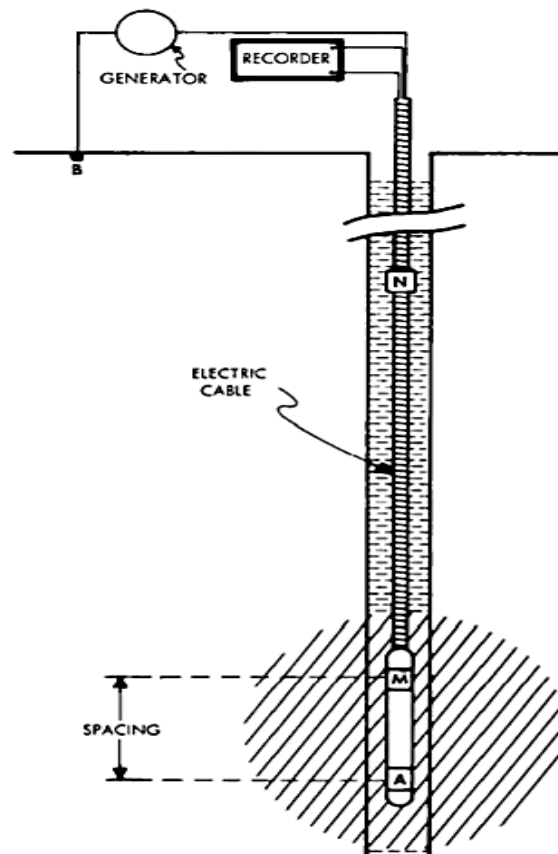
Lapisan sumur yang terdiri dari lapisan permeabel dan tak permeabel secara alamiah karena perbedaan kandungan garam air, arus listrik akan mengalir di sekeliling perbatasan formasi di dalam lubang bor. Lapisan serpih tidak ada aliran listrik sehingga potensialnya akan konstan dengan kata lain SP-nya rata-rata yang disebut dengan garis dasar serpih (*shale base line*) mendekati lapisan permeabel aliran listrik mulai terjadi, yang menyebabkan beda potensial negatif pada Gambar 18.

Log SP hanya dapat menunjukkan lapisan permeabel, namun tidak dapat mengukur harga yang akurat dari permeabilitas maupun porositas dari suatu formasi. Kurva SP akan menunjukkan karakteristik yang berbeda untuk tiap jenis litologi. Defleksi kurva SP yang positif ataupun negatif bergantung pada keragaman dari air *mud filtrat* (R_{mf}) yang dikenal *fresh* dan air formasi (R_w) yang dikenal asin. Apabila $R_{mf} > R_w$ maka defleksi kurva SP adalah negatif (ke kiri), bila $R_{mf} < R_w$ maka defleksi SP adalah

positif (ke kanan), sedangkan jika $R_{mf} = R_w$ maka tidak terjadi pencampuran R_{mf} dan R_w , sebab arus listrik searah akan terjadi bila ada beda keragaman (Ellis dan Singer, 2008). Pada lapisan permeabel yang mengandung air asin, defleksi kurva SP akan berkembang negatif (ke arah kiri dari *shale base line*). Pada lapisan permeabel yang mengandung air tawar atau zona akuifer, defleksi kurva SP akan berkembang positif (ke kanan arah dari *shale base line*) (Harsono, 1997).

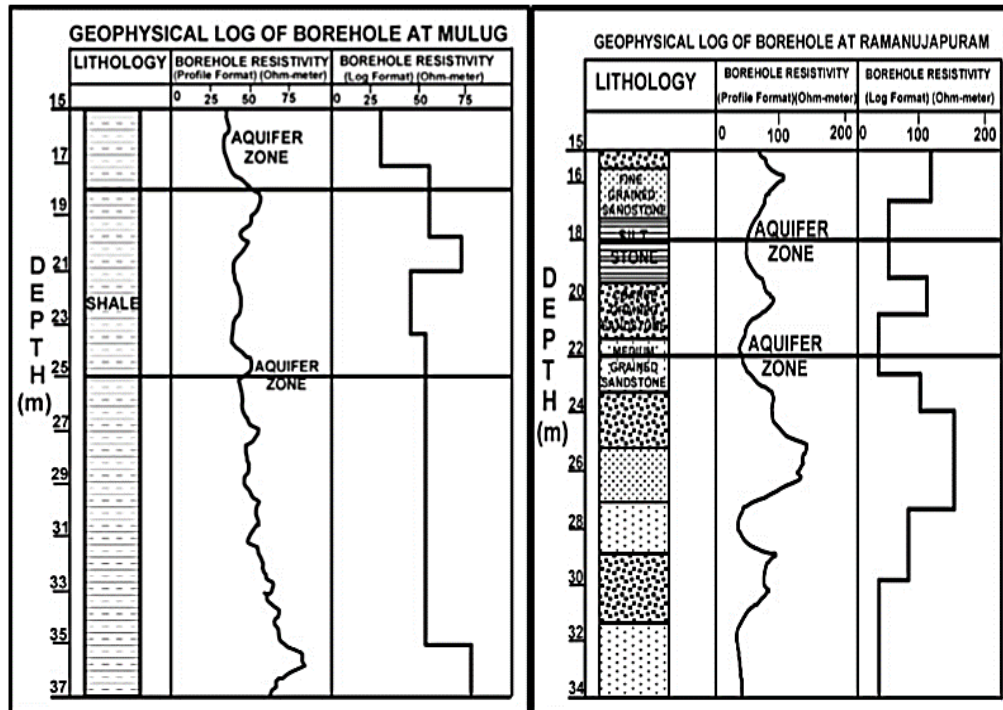
3.4.2 Log Resistivitas

Kurva *log* resistivitas normal (R) berasal dari sistem empat elektroda, menggunakan dua elektroda arus A dan B dan dua elektroda potensial M dan N. Resistivitas atau tahanan jenis suatu batuan adalah suatu kemampuan batuan untuk menghambat jalannya arus listrik yang mengalir melalui batuan tersebut. Nilai resistivitas rendah apabila batuan mudah untuk mengalirkan arus listrik, sedangkan nilai resistivitas tinggi apabila batuan sulit untuk mengalirkan arus listrik. *Log* resistivitas digunakan untuk mendeterminasi zona akuifer air, mengindikasikan zona permeabel dengan mendeterminasi porositas resistivitas seperti pada Gambar 19, karena batuan dan matrik tidak konduktif, maka kemampuan batuan untuk menghantarkan arus listrik tergantung pada fluida dan pori (Hodlur and Dhakate, 2010).



Gambar 20. Pengukuran *log* resistivitas (Hudson, 1996).

Pengukuran *log* resistivitas dimulai dari dasar lubang bor hingga ke permukaan tanah. Pengukuran dilakukan pada tiap meter hingga mencapai permukaan tanah. Tiap meter akan diukur nilai potensial dan resistivitasnya, baik itu *short resistivity* maupun *long resistivity* sehingga didapatkan informasi tentang nilai resistivitas dan potensial lapisan tiap meter. Nilai potensial dan resistivitas baik itu *short resistivity* maupun *long resistivity* yang didapatkan dari pengukuran dicatat pada tabel catatan lapangan yang telah dipersiapkan sebelumnya. Setelah itu dianalisis, maka didapatkan nilai resistivitas dan potensial dari dasar sumur hingga ke permukaan tanah.



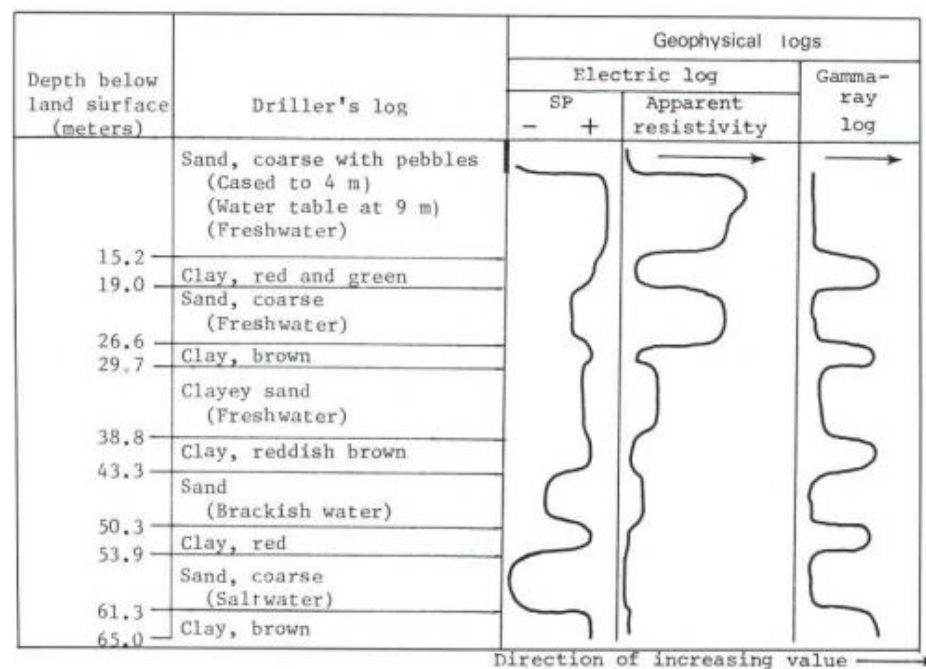
Gambar 21. Respon data *Well Logging* terhadap akuifer (Hodlur and Dhakate, 2010).

3.4.3 Korelasi *Log SP* dan *Log Resistivitas*

Korelasi antara *log SP* dan *log resistivitas* untuk mengestimasi zona yang mengandung akuifer air tanah yaitu dengan membandingkan respon kurva setiap kedalaman yang dihasilkan dari kedua *log* tersebut. *Log SP* berguna untuk mendeteksi lapisan-lapisan yang porous dan permeabel, menentukan batas-batas lapisan, menentukan harga tahanan air formasi (R_w) dan dapat juga untuk korelasi batuan dari beberapa sumur di dekatnya. Defleksi kurva *SP* selalu dibaca dari *shale base line* yang mana bentuk dan besar defleksi tersebut dapat dipengaruhi oleh ketebalan lapisan batuan formasi, tahanan lapisan batuan, tahanan *shale* dalam lapisan batuan, diameter lubang bor, dan invasi air filtrat lumpur. Jika pengaruh *SP log* melalui lapisan cukup tebal dan kondisinya bersih dari *clay*, maka defleksi kurva *SP* akan mencapai maksimum (Harsono, 1997).

Pada *log resistivitas* tergantung pada porositas efektif, salinitas air formasi dalam pori-pori batuan. Setiap material jika diberikan arus listrik

akan mempunyai tahanan yang berbeda-beda. Suatu batuan memiliki jenis batuan yang berbanding terbalik dengan daya penghantarnya. Dalam hal ini, jika suatu batuan memiliki tahanan jenis besar maka batuan tersebut mempunyai daya hantar (konduktivitas) yang kecil begitupun sebaliknya, sehingga kita dapat mengetahui kandungan fluida yang berada di dalam batuan tersebut. Tahanan jenis batuan berbanding terbalik dengan daya hantarnya (konduktivitasnya), jika tahanan jenis batuanya besar maka batuan tersebut konduktivitasnya kecil (Harsono, 1997).



Gambar 22. Respon *log* sp dan resistivitas terhadap litologi (Ralph, 1983).

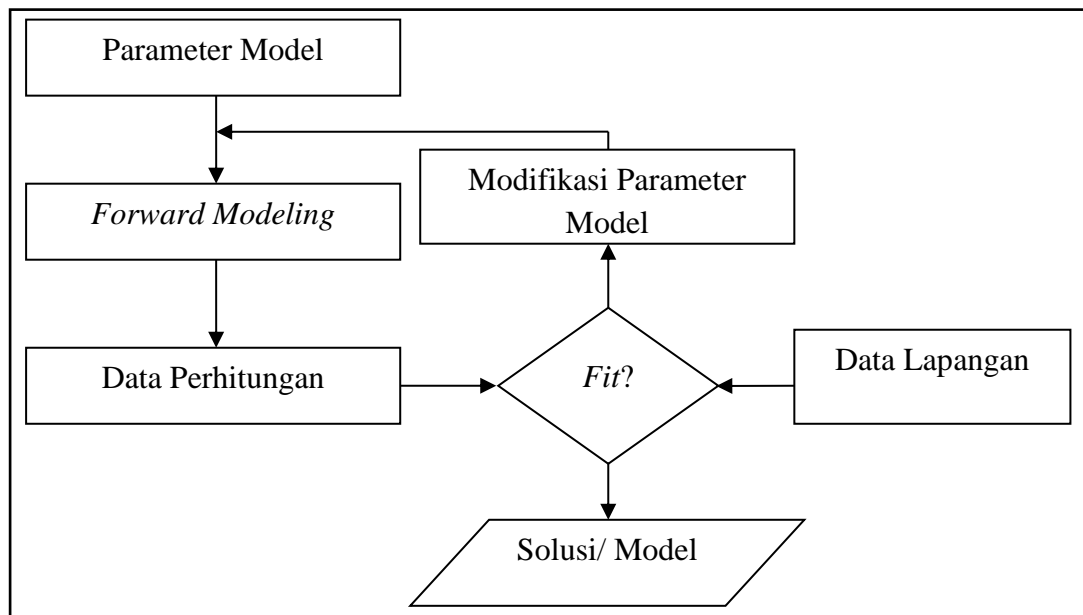
3.5. Pemodelan Inversi

Pemodelan inversi sering dikatakan sebagai “kebalikan” dari pemodelan “ke depan” karena dalam pemodelan inversi parameter model diperoleh langsung dari data. Menke dalam (Grandis, 2009) mendefinisikan teori inversi sebagai suatu kesatuan teknik atau metode matematika dan statistika untuk memperoleh informasi yang berguna mengenai suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Sistem fisika yang dimaksud adalah fenomena yang kita tinjau, hasil observasi terhadap sistem adalah data.

Sedangkan informasi yang ingin diperoleh dari data adalah model atau parameter model.

Pemodelan inversi pada dasarnya adalah proses sebagaimana digambarkan pada Gambar 18, namun mekanisme modifikasi model agar diperoleh kecocokan data perhitungan dan data pengamatan yang lebih baik dilakukan secara otomatis. Pemodelan inversi sering pula disebut sebagai data *fitting* karena dalam prosesnya dicari parameter model yang menghasilkan respon yang *fit* dengan data pengamatan.

Kesesuaian antara respons model dengan data pengamatan umumnya dinyatakan oleh suatu fungsi obyektif yang harus diminimumkan. Proses pencarian minimum fungsi obyektif tersebut harus berasosiasi dengan proses pencarian model optimum. Karakterisasi minimum suatu fungsi digunakan untuk pencarian parameter model. Secara lebih umum, model dimodifikasi sedemikian rupa sehingga respons model menjadi *fit* dengan data. Dalam proses tersebut jelas bahwa pemodelan inversi hanya dapat dilakukan jika hubungan antara data dan parameter model (fungsi pemodelan ke depan) telah diketahui (Grandis, 2009).



Gambar 23. Teknik pemodelan dengan cara mencoba-coba dan memodifikasi parameter model hingga diperoleh kecocokan antara data lapangan dengan data perhitungan (Grandis, 2009).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan pada:

Waktu : 15 Maret 2021 – 15 Mei2021

Tempat : PT. Lampung Geosains Survei, Jl. Persada I, Kemiling Permai,
Kec. Kemiling, Kota Bandar Lampung, Lampung 35152.

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data geolistrik
2. Data *log self potensial* (SP)
3. Data *log* Resistivitas
4. Peta Geologi
5. Peta Cekungan Air Tanah
6. Peta Hidrogeologi Kab. Pesawaran
7. *Software log plot*
8. *Software Resty*
9. *Python IDE*

4.3 Time Schedule

Adapun *time schedule* yang akan digunakan pada kegiatan penelitian ini adalah seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. *Time Schedule* Penelitian

No	Kegiatan	Bulan (Minggu Ke-)																		
		Mei				Juni				Juli				Agustus				September		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	Studi Literatur																			
2	Seminar Proposal																			
3	Pengumpulan Data																			
4	Pengolahan dan Interpretasi Data																			
5	Penyusunan Skripsi																			
7	Bimbingan Skripsi																			
8	Seminar Hasil Penelitian																			
9	Revisi dan Bimbingan Hasil Penelitian																			
9	Sidang Komprehensif																			

4.4 Prosedur Penelitian

1. Studi Literatur

Tahap studi literatur ditujukan untuk memahami konsep dasar geologi maupun geofisika dari penelitian yang dilakukan. Studi literature dilakukan dengan membaca jurnal penelitian sebelumnya dan memahami konsep dasar tatanan geologi daerah penelitian berdasarkan peta geologi regional.

2. Pengolahan data *log*

Tahap pengolahan data *log* ini adalah melakukan pemodelan 1D data *log* sebagai peta kedalaman, lalu melakukan zonasi litologi dan melakukan analisis ketebalan litologi daerah prospek akuifer. Pengolahan data yang dilakukan menggunakan *software log plot*

3. Pengolahan data geolistrik

Melakukan pengolahan data geolistrik 1D konfigurasi schlumberger agar diketahui posisi prospek akuifer, kedalaman akuifer hingga ketebalan akuifer. Pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan software IPI2WIN.

4. Korelasi data *log* dan data geolistrik

Melakukan validasi dari hasil pengolahan data *log* 1D dan geolistrik 1D, sehingga dapat diperoleh zona akuifer yang akurat.

5. Pembuatan *script* geospasial dengan *python*

Pembuatan *script* ini dilakukan untuk membuat interpreter yang dibuat dapat membaca data yang telah diolah yakni berupa peta hidrogeologi, data *log* 1D serta data geolistrik 1D. Sehingga dengan adanya program ini dapat memudahkan dalam analisis data.

6. Analisis Geospasial

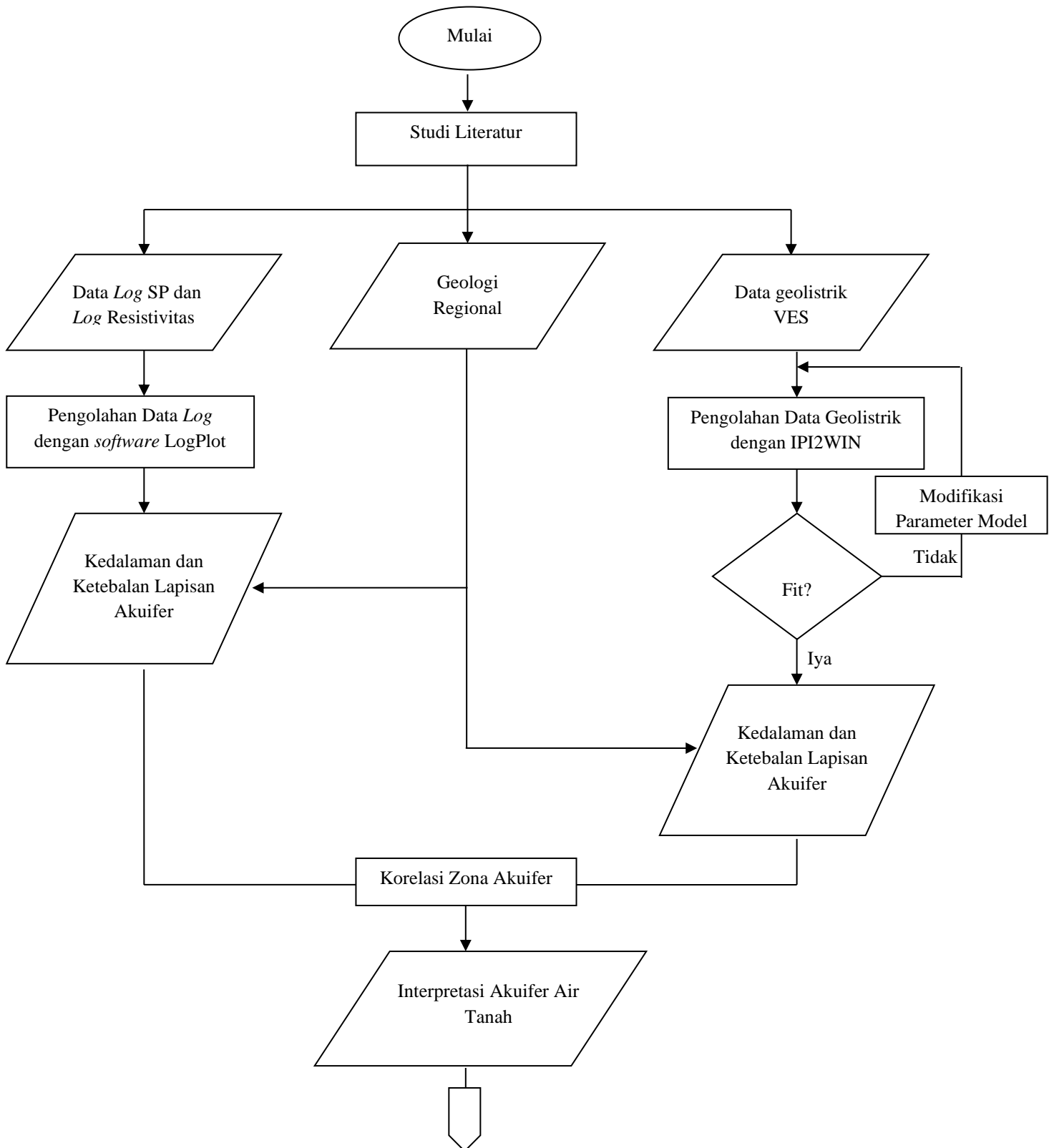
Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan jenis akuifer dan litologi akuifer yang terdapat pada daerah penelitian. Dengan mengetahui litologi dan zona akuifer pada titik pengukuran, dapat dikorelasikan dengan data hidrogeologi di daerah penelitian.

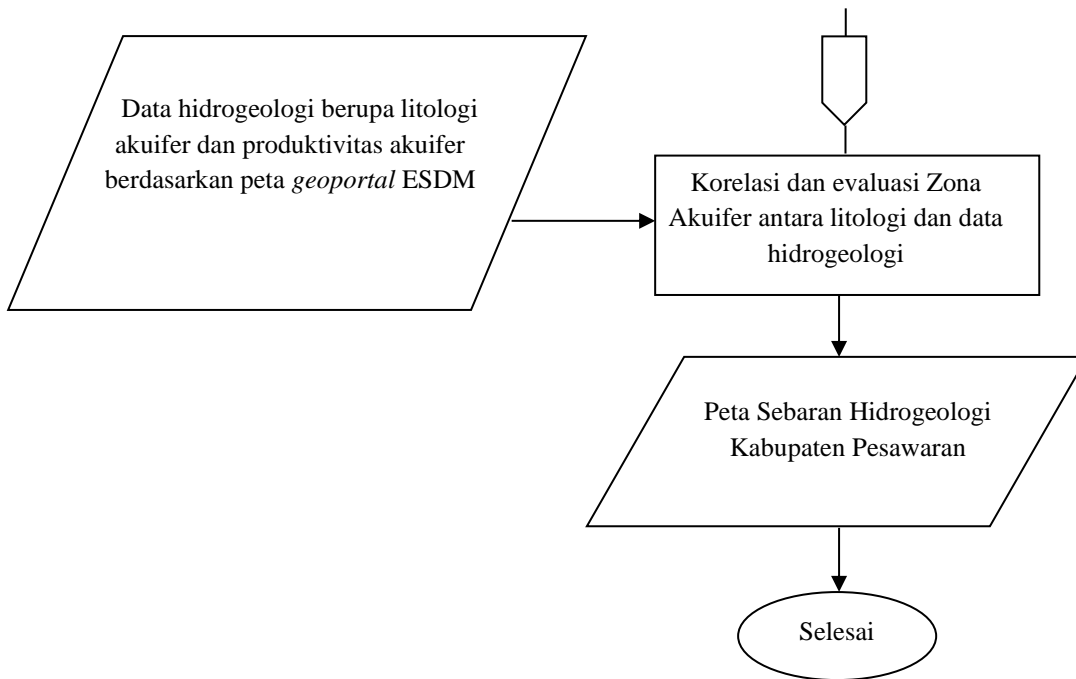
7. Pembuatan Peta Akuifer Air Tanah

Pembuatan peta akuifer air tanah pada daerah penelitian dilakukan berdasarkan hasil interpretasi dan analisis antara model pengolahan geofisika berupa data *vertical electrical sounding* dan *logging* pada titik pengukuran dengan data hidrogeologi daerah penelitian dengan visualisasi geospasial yang dibuat dengan bahasa pemrograman *python*.

4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut pada Gambar 23:





Gambar 24. Diagram Alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Berdasarkan hasil interpretasi dari pemodelan data geolistrik *vertical electrical sounding* dan *well logging* pada titik pengukuran di daerah Kabupaten Pesawaran didapatkan litologi yang didominasi batupasir, batupasir tufaan, batupasir lempungan, batulempung, batulempung pasiran, dan dasit.
2. Berdasarkan hasil pemodelan pada data pengukuran geolistrik dan *well logging* di daerah penelitian didapatkan nilai resistivitas yang bervariasi pada tiap kedalaman yang diperoleh secara rinci zona akuifer tanah dalam, yang kedalaman dan ketebalan lapisan akuifer pada masing-masing titik pengukuran memiliki nilai yang bervariasi yang dimana pada pengolahan geolistrik mulai mendapatkan lapisan akuifer dari kedalaman 30.9 meter hingga yang terdalam pada 100 meter dengan ketebalan dari 5.9 meter hingga ketebalan 36.4 meter, kemudian dari pengolahan *well logging* mulai mendapatkan lapisan akuifer dari kedalaman 22 meter hingga yang terdalam pada 83 meter dengan ketebalan dari 9 meter hingga ketebalan 43 meter.
3. Kabupaten Pesawaran didominasi oleh formasi Gunungapi Pesawaran yang dimana kondisi hidrogeologi pada titik pengukuran didapatkan litologi akuifer batuan vulkanik, endapan lepas, dan batuan padu. Pada produktivitas akuifer yaitu langka, produktif sedang, produktif kecil setempat berarti, produktif tinggi dengan penyebaran luas. Kemudian debit akuifer yaitu langka, < 5 lt/dtk, dan 5 – 10 lt/detik. Selanjutnya kelulusan

akuifer antara lain sedang – tinggi, rendah, dan tinggi. Pada sistem akuifer didapatkan celah/sarang dan celahan dan antarbutir. Untuk keterusan akuifer antara lain rendah – tinggi dan rendah. Dan pada deskripsi akuifer titik pengukuran didapatkan alluvium endapan lepas, dasit, campuran batuan sedimen dan gunungapi, dan endapan vulkanik muda.

6.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah sebaiknya dilakukan uji validasi lapangan untuk menguji keakuratan dan kelayakan peta untuk proses pengembangan penelitian lebih lanjut. Selain itu pada pengukuran *well logging* lebih baik disertakan data *coring* agar hasil yang lebih maksimal dalam interpretasi pemodelan, dan untuk geolistrik lebih baik melakukan pengukuran 2D dengan pemodelan 3D agar hasil interpretasi litologi dapat lebih jelas ditampilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmaranto, R. 2012. *Identifikasi Air Tanah Menggunakan Metode Resistivitas Dengan Software IPI2WIN*. Malang: Jurusan Teknik Pengairan FT-Universitas Brawijaya.
- Badan Informasi Geospasial. 2020. Peta SHP Kabupaten Way Kanan. di akses Pada tides.big.go.id Pada Tanggal 27 Oktober 2020.
- Budiarjo dan Hendrayana, H. 2020. Analisis Geometri dan Konfigurasi Sistem Akuifer Air Tanah Berdasarkan Data Geofisika di Kabupaten Sleman Bagian Timur. *Jurnal Fisika Indonesia*, 23(1), 7.
- Dourado, A. C. 2006. Resistivity (DC) method applied to aquifer protection studies. *Revista Brasileira de Geofisica*, 24(4),
- Ellis, D. V, and Singer, J. M. 2008. *Well Logging for Earth Scientists* (2nd ed.). Netherlands: Springer.
- Faris, A. N., Suaidi, D. A., Hasan, M. F. R., & Broto, A. B. 2019. Identifikasi Sebaran Akuifer dengan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger di Desa Gedangan , Kecamatan Gedangan, Kabupaten Malang. *Natural B*, 5(1), 28–34.
- Fenta, A.A., Kifle, A., Gebreyohannes, T., and Hailu, G. 2015. Spatial Analysis of Groundwater Potential Using Remote Sensing and GIS-based Multi-Criteria Evaluation in Raya Valley, northern Ethiopia. *Hydrogeology Journal* Vol 23: 195-206.
- Gafoer, T. C. Amin dan R. Pardede. 1993. Peta Geologi Lembar Baturaja. Pusat Penelitian dan Pengembangan geologi, 1993.
- Grandis, H. 2009. Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia : Bandung
- Harsono, A. 1997. *Pengantar Evaluasi Logging* (p. 177). p. 177. Schlumberger, GeoQuest Engineering Dept.
- Harter, T. 2003. Basic Concepts of Groundwater Hydrology. *Basic Concepts of Groundwater Hydrology*, 1–6.

- Herrmann, H., and Bucksch, H. 2014. Basic (Well) Log Analysis. In *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik*.
- Hodlur, G. K. and Dhakate, R. 2010. Correlation of vertical electrical sounding and electrical borehole log data for groundwater exploration. *Geophysical Prospecting*, 58(3), 485–503.
- Hudson, B. J. D. 1996. Use Of Geophysical Logs To Estimate The Quality Of Ground Water and The Permeability Of Aquifers. *Water Resources Investigations Report*.
- Indarto dan Debby, R. 2014. Pembuatan *Digital Elevation Model* Resolusi 10m dari Peta RBI dan Survei GPS dengan Algoritma ANUDEM. *Jurnal Keteknik Pertanian Vol. 2, No. 1*.
- Kirsch, R. 2006. *Groundwater Geophysics A Tool for Hydrogeology*. Springer Science and Business Media B.
- Loke, M. H. 1999. *Electrical imaging survey for environmental and engineering studies*. England: Brimingham University.
- Lowrie, W. 2007. Fundamentals of Geophysics, second edition. In *Cambridge University Press*.
- Muchamad, A. 2016. Hidrogeologi Mata Air dan Pengelolaan Air Tanah pada daerah Batugamping dan Vulkanik : Studi Pengamatan Desa Tagog Apu dan Desa Tarengtong, Kabupaten Bandung Barat serta Desa Cigadung, Kotamadya Bandung. *Pascasarjana Teknik Geologi Universitas Padjajaran. Universitas Padjajaran*.
- Pamsimnas. 2008. *Peta CAT Lampung*. di Akses Pada pamsimnas.org Pada Tanggal 27 Oktober 2020.
- Phongpiyah, K. dan Helmut, D. 2012. Geophysical logging for groundwater investigations in Southern Thailand. *Songklanakarinn Journal Of Science and Technology*, 34(4), 433–444.
- Profil Kabupaten Way Kanan 2020. di akses pada tanggal 27 Oktober 2020 pada sippa.ciptakarya.pu.go.id.
- Ralph, H., C., 1983, Basic ground-water hydrology: *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220*, 86 p.
- Rejekiningrum, P. 2010. Peluang Pemanfaatan Air Tanah untuk Keberlanjutan Sumber Daya Air. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 3(2), 85–96.
- Rustadi, Pauzi, G. A., dan Taufik, O. 2018. Investigasi Geologi dan Geolistrik Untuk Menafsirkan Keberadaan Air Tanah Dangkal di Ambarawa, Lampung. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 06(01), 109–114.
- Steinel A., Schelkes, K., Subah A., and Himmelsbach T. 2016. Spatial Multi-Criteria Analysis for Selecting Potential Sites for Aquifer Recharge Via

Harvesting and Infiltration of Surface Runoff in North Jordan. *Hydrogeology Journal* Vol 24: 1753-1774.

Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E. 1990. *Applied geophysics* (Second edi). Press syndicate of the University of Cambridge.