

**PENENTUAN ZONA INTRUSI AIR LAUT DENGAN METODE
GEOLISTRIK TAHANAN JENIS**

SKRIPSI

Oleh:
ZAHROTUTTAKIYAH
NIM.15640010



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**PENENTUAN ZONA INTRUSI AIR LAUT DENGAN METODE
GEOLISTRIK TAHANAN JENIS**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**ZAHROTUTTAKIYAH
NIM.15640010**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENENTUAN ZONA INTRUSI AIR LAUT DENGAN METODE
GEOLISTRIK TAHANAN JENIS

SKRIPSI

Oleh:
Zahrotuttaktivah
NIM. 15640010

Telah Diperiksa Dan Disetujui Untuk Diuji
Pada Tanggal: 18 November 2020

Pembimbing I,



Irjan, M.Si

NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II,



Erna Hastuti, M.Si

NIP. 19811119 200801 2 009

Mengetahui,
Kepala Jurusan Fisika



Muhammad Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

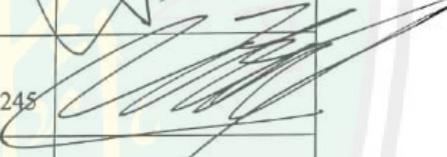
HALAMAN PENGESAHAN

**PENENTUAN ZONA INTRUSI AIR LAUT DENGAN METODE
GEOLISTRIK TAHANAN JENIS**

SKRIPSI

Oleh:
Zahrotuttakiyah
NIM. 15640010

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal: Desember 2020

Penguji Utama	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	<u>Rusli, M.Si</u> NIDT. 19880715 20180201 1 245	
Sekretaris Penguji	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	



Mengesahkan,
Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zahrotuttakiyah
NIM : 15640010
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Penentuan Zona Intrusi Air Laut dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan, maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 3 November 2020

Yang membuat pernyataan



Zahrotuttakiyah
NIM. 15640010

MOTTO

Setiap cerita berakhir untuk mengawali kisah yang baru.

Selamat tinggal cerita lama, terimakasih atas kebahagiaan dan kesedihan, tawa dan tangis, pelajaran dan pengalaman.

Selamat datang kisah baru, lakukan yang terbaik yang bisa dilakukan.



HALAMAN PERSEMBAHAN

*This thesis is dedicated to my parents, mamak and bapak.
Finally, I was able to complete this stage.
Thank you for the prayes, loves, dan cares that you been giving
Always healthy, so I can show you my success tomorrow.*



UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyadari bahwa proses penulisan skripsi ini tidak akan berjalan dengan lancar tanpa bantuan dari berbagai pihak. Karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah sabar membimbing dengan teliti dan memberikan arahan untuk penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Pembimbing Integrasi yang juga telah membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi.
6. Teristimewa Bapak Khasan Tukum dan Ibu Gundariani yang telah dan akan selalu menjadi madrasah bagi penulis.
7. Sahabat kamar “pojok” tercinta Isvina, Malikatun, dan Irchant yang selalu memberi semangat dikala sedih melanda.
8. Teman-teman Basecamp, mbak Elvyna, mbak Alfi, mbak Upid, mbak Isma, mbak Ami, mbak Anis, Vivy, dek Salis, Dila yang selalu membuat basecamp menjadi tempat ternyaman.
9. Teman-teman Keluarga Besar Mahasiswa Bidikmisi (KBMB) UIN Malang yang selalu membuat penulis semangat dan termotivasi atas segala karya dan pencapaian.
10. Teman-teman seperjuangan Fisika 15 dan yang senantiasa bahu membahu menyelesaikan penulisan skripsi masing-masing.
11. Teman-teman sebimbangan baik dari angkatan 14, 15, maupun 16. Terimakasih telah berbagi informasi terkait apa saja yang mana sangat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

12. Keluarga besar Geofisika 13, 14, dan 15. Terkhusus untuk mas Fakhru Asyari, S.Si yang telah membantu mulai dari proses pengambilan data sampai saat ini dan juga mas Muhammad Hamdani yang telah membantu proses pengolahan dan pemodelan.
13. Serta terimakasih semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Malang, 3 November 2020

Penulis



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatNya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang telah penulis susun ini berjudul “Penentuan Zona Intrusi Air Laut dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis”.Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman pencerahan dan penuh dengan ilmu pengetahuan yang luar biasa saat ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri, masyarakat, dan seluruh pihak yang membacadalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak sekali kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi penulisan karya selanjutnya yang lebih baik.

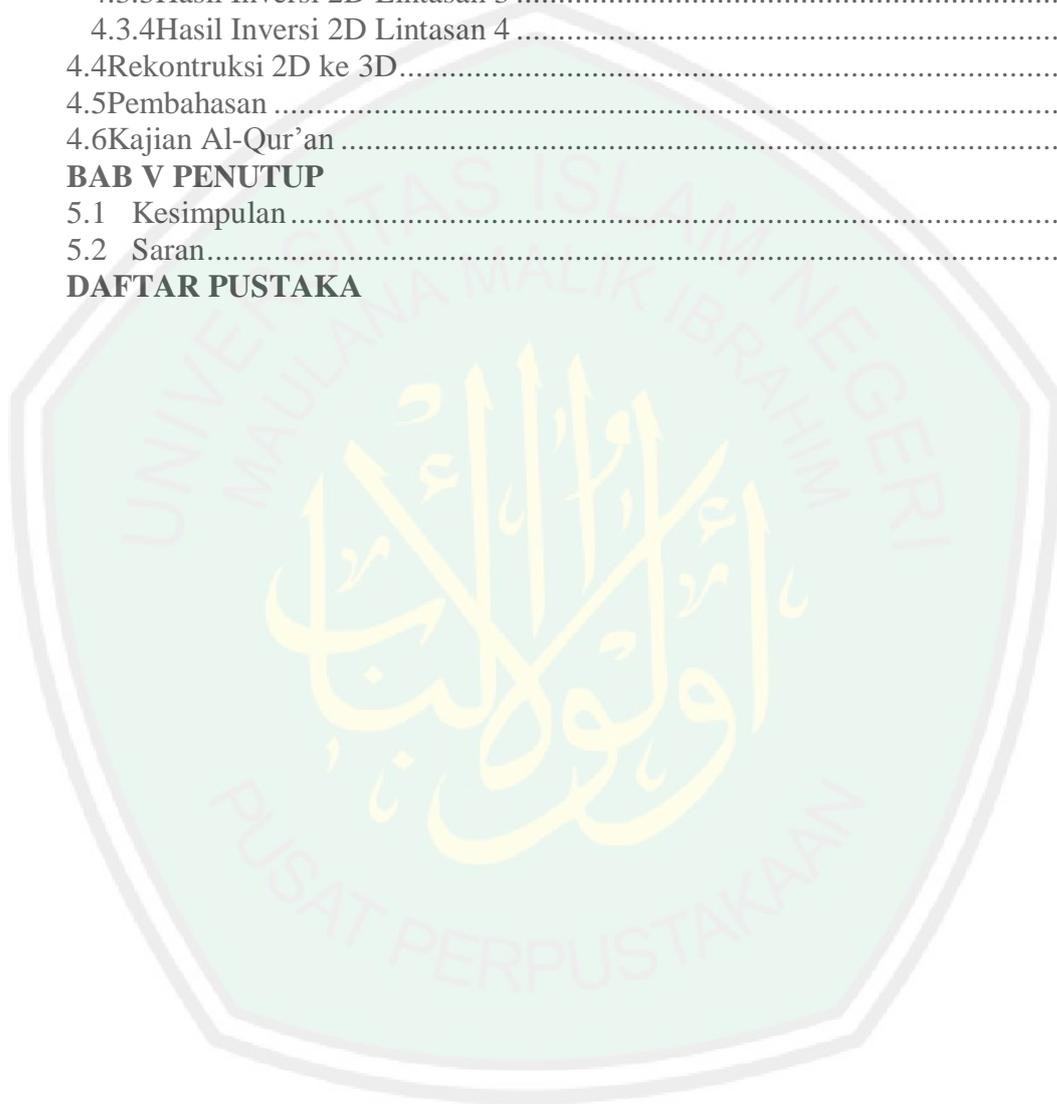
Malang, 3 November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	viii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Air Tanah.....	8
2.2 Intrusi Air Laut	10
2.3 Metode Geolistrik	13
2.3.1 Metode Geolistrik Resistivitas	14
2.3.2 Konfigurasi Elektroda	17
2.3.3 Konfigurasi Wenner	18
2.4 Sifat Listrik Batuan	20
2.4.1 Konduksi Secara Elektronik	21
2.4.2 Konduksi Secara Elektrolitik	23
2.4.3 Konduksi Secara Dielektrik	24
2.5 Sifat Fisis Batuan	24
2.5.1 Densitas.....	24
2.5.2 Porositas.....	25
2.5.3 Permeabilitas	26
2.6 Konsep Resistivitas Semu	28
2.7 Resistivitas Batuan	30
2.8 Struktur dan Statigrafi	31
2.9 Integrasi Al-Qur'an.....	33
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	37
3.2 Alat Penelitian.....	37
3.3 Desain Akuisisi Data.....	38
3.4 Prosedur Pengambilan data Geolistrik	39
3.5 Proses Pengolahan Data	40

3.6	Proses Interpretasi Data.....	43
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Akuisisi Data	45
4.2	Pengolahan Data	46
4.3	Interpretasi Data.....	47
4.3.1	Hasil Inversi 2D Lintasan 1	48
4.3.2	Hasil Inversi 2D Lintasan 2	51
4.3.3	Hasil Inversi 2D Lintasan 3	53
4.3.4	Hasil Inversi 2D Lintasan 4	55
4.4	Rekonstruksi 2D ke 3D.....	58
4.5	Pembahasan	59
4.6	Kajian Al-Qur'an	62
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	66
5.2	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagan pada Saat Kondisi Normal dan Intrusi Air Laut	10
Gambar 2.2	Distribusi Arus pada Metode Geolistrik	15
Gambar 2.3	Konfigurasi Wenner Alpha	19
Gambar 2.4	Silinder Konduktor	22
Gambar 2.5	Porositas Batuan	25
Gambar 2.6	Konsep Resistivitas Semu dalam Lapisan Tanah	28
Gambar 2.7	Peta Geologi Lembar Tuban	33
Gambar 3.1	(a) Peta Kabupaten Tuban dan (b) Desain Akuisisi Data	39
Gambar 3.2	Prosedur Invers	42
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 4.1	Penampang 2D Hasil Inversi Lintasan 1	49
Gambar 4.2	Model Geologi Lintasan 1	49
Gambar 4.3	Penampang 2D Hasil Inversi Lintasan 2	51
Gambar 4.4	Model Geologi Lintasan 2	52
Gambar 4.5	Penampang 2D Hasil Inversi Lintasan 3	53
Gambar 4.6	Model Geologi Lintasan 3	54
Gambar 4.7	Penampang 2D Hasil Inversi Lintasan 4	56
Gambar 4.8	Model Geologi Lintasan 4	56
Gambar 4.9	Rekontruksi 3D Sebaran Resistivitas	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Air Tanah Berdasarkan Daya Hantar Listrik.....	12
Tabel 2.2	Klasifikasi Air Tanah Berdasarkan Salinitas	12
Tabel 2.3	Klasifikasi Air Tanah Berdasarkan pH.....	13
Tabel 2.4	Resistivitas dari Beberapa Batuan dan Mineral	31
Tabel 4.1	Tabel Nilai Resistivitas Batuan pada Area Penelitian	48
Tabel 4.2	Hasil Interpretasi Struktur Bawah Permukaan pada Lintasan 1	50
Tabel 4.3	Hasil Interpretasi Struktur Bawah Permukaan pada Lintasan 2	52
Tabel 4.4	Hasil Interpretasi Struktur Bawah Permukaan pada Lintasan 3	54
Tabel 4.5	Hasil Interpretasi Struktur Bawah Permukaan pada Lintasan 4	57



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Penelitian
- Lampiran 2 Gambar Peta Geologi Lembar Tuban
- Lampiran 3 Dokumentasi Pengambilan Data di Lapangan
- Lampiran 4 Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Zahrotuttakiyah.2020. Penentuan Zona Intrusi Air Laut dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pembimbing: (1) Irjan, M.Si. (2) Erna Hastuti, M.Si.

Kata kunci: Intrusi Air Laut, Metode Geolistrik Resistivitas, Tuban.

Desa Margosuko merupakan salah satu desa di Kabupaten Tuban yang terletak tepat di pesisir laut Jawa dan termasuk ke dalam formasi aluvium pantai yang mana tersusun atas lempung, lanau, pasir, dan kerikil. Letak geografis ini menyebabkan desa Margosuko rentan mengalami intrusi air laut. Intrusi air laut merupakan peristiwa masuk atau menyusupnya air laut ke dalam pori-pori batuan dan mencemari air tanah yang terkandung di dalamnya sehingga menyebabkan air tanah menjadi payau bahkan asin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lintasan yang terdeteksi telah mengalami intrusi air laut dan juga untuk mengetahui litologi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik. Metode geolistrik merupakan metode yang paling cocok untuk eksplorasi air bawah permukaan. Prinsip kerja dari metode geolistrik adalah menginjeksikan arus ke dalam bumi dan kemudian menangkap beda potensial yang dihasilkan dari penginjeksian arus tersebut. Akuisisi data di lapangan menggunakan konfigurasi Wenner Alpha dengan spasi elektroda 5 m. Data yang didapat berupa arus (I), resistansi (R), dan perhitungan resistivitas semu (ρ_a). Data tersebut kemudian diolah menggunakan *software* Res2Dinv untuk mendapatkan model 2D penampang bawah permukaan. Model penampang 2D kemudian digabungkan menggunakan *software* Blender untuk mendapatkan model rekonstruksi 3D. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa litologi bawah permukaan di area penelitian terdiri dari pasir, lempung, dan kerikil. intrusi air laut diduga telah tersebar pada lintasan 2, 3, dan 4. Pada lintasan 1, intrusi air laut terjadi sampai pada lapisan campuran pasir dan lempung. Banyaknya zona intrusi disebabkan karena litologi batuan penyusun area penelitian didominasi oleh batuan pasir. Zona resistivitas rendah diduga sebagai batu pasir dengan nilai resistivitas berkisar antara 0.737 – 16.1 Ω m tersebar hampir di seluruh area penelitian. Intrusi air laut terjadi pada beberapa tingkat yaitu tinggi, sedang, dan rendah.

ABSTRACT

Zahrotuttakiyah.2020. Penentuan Zona Intrusi Air Laut dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis. Thesis. Physics Department, Science and Technology Faculty, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim, Malang.
Mentor: (1) Irjan, M.Si. (2) Erna Hastuti, M.Si.

Keyword: Seawater intrusion, Resistivity geoelectric method, Tuban.

Margosuko's Village is one of the villages in Tuban Regency, located on the coast of the sea of java and belongs to the coastal alluvium formation, composed of clay, silt, sand, and gravel. This geographical location makes Margosuko's Village vulnerable to seawater intrusion. Seawater intrusion is an event of entering or infiltrating seawater into rock pores and polluting the groundwater, causing groundwater to become brackish and salty. This study aims to determine the lines that have experienced seawater intrusion and assess subsurface lithology using geoelectric methods. The geoelectric method is the most suitable method for the exploration of subsurface water. The geoelectric method's working principle is to inject currents into the earth and then capture the potential difference resulting from the injection of these currents. Data acquisition in the field used the Wenner Alpha configuration with electrode spacing is 5 m. The data obtained are current (I), resistance (R), and the calculation of apparent resistivity (ρ_a). The data processed using Res2Dinv software to obtain a 2D model of subsurface sections. 2D cross-sectional models are combined using Blender software to get a 3D reconstruction model. The study results showed that the subsurface lithology in the study area consisted of sand, clay, and gravel. sea water intrusion is thought to have spread in almost all data collection areas. The intrusion of seawater that spread caused by the lithology of rocks in the study area is dominated by sandstone. The low resistivity zone is thought to be sandstone with resistivity values ranging from 0.737 - 16.1 Ω m spread across almost all study areas. Seawater intrusion occurs at several levels, that high, medium, and low.

ملخص البحث

زهراء التقيه. 2020. تحديد منطقة تسرب مياه البحر باستخدام طريقة جيوكرتريك من نوع السجين. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العموم والتكنولوجيا، الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك ابراهيم مالانج. الاشراف: (1) ارجان، الماجستير (2) ايرنا هاستوتي، الماجستير.

الكلمات المفتاحية: تسرب مياه البحر، طريقة مقاومة الجيو إكترتريك، توبان.

قرية مارغوسكو هي واحدة من القرى في توبان ريجنسي التي تقع مباشرة على ساحل بحر جافا، وشملت في تشكيل الشاطئ الوفيوم الذي يتكون من الطين، لاناو، والرمل، والحصى. وهذا الموقع الجغرافي يجعل قرية مارغوسكو عرضة لتسرب مياه البحر. تسرب مياه البحر هو حدث لدخول أو التسلسل إلى مياه البحر في مسام الصخور وتلويث المياه الجوفية الموجودة فيها مما تسبب في أن تصبح المياه الجوفية ملوثة حتى مالحة. يهدف هذا البحث إلى معرفة المناطق التي تم اكتشافها لتسرب مياه البحر التي شهدتها وكذلك معرفة الليتولوجيا تحت السطحية باستخدام الطرق الكهروإلستية. الطريقة الكهروئية هي الطريقة الأنسب لاستكشاف المياه تحت السطح. مبدأ العمل من الأسلوب الكهربائي هو حقن التيار في الأرض ومن ثم التقاط الفرق المحتمل الناتج عن حقن التيار. الحصول على البيانات في الحقل باستخدام تكوين وينر ألفا مع تباعد القطب خمسة أمتار. البيانات التي تم الحصول عليها هي الحالية (I)، المقاومة (R)، وحساب المقاومة الزائفة (ρ_a). ثم تتم معالجة البيانات باستخدام برنامج Res2Dinv للحصول على نموذج ثنائي الأبعاد من المقطع الفرعي. ثم يتم الجمع بين نموذج المقطع الثنائي الأبعاد باستخدام برنامج Blender للحصول على نموذج إعادة الإعمار ثلاثي الأبعاد. ووجدت نتائج الدراسة أن الليتولوجيا تحت السطحية في مجال البحث تتكون من الرمل والطين والحصى. ويعتقد أن تسرب مياه البحر قد انتشر في جميع أنحاء منطقة استرجاع البيانات تقريبا. وذلك لأن الليتولوجيا في مجال البحوث يهيمن عليها الحجر الرملي. ويعتقد أن المنطقة المقاومة المنخفضة هي الحجر الرملي مع قيم المقاومة التي تتراوح بين $0.737 - 16.1 \Omega m$ تنتشر تقريبا في جميع أنحاء منطقة البحث. يحدث تسرب مياه البحر على عدة مستويات عالية ومتوسطة ومنخفضة.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan vital bagi manusia. Sebagai salah satu kebutuhan dasar, air mengambil peranan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan hidup manusia. Penggunaan komponen air hampir ada disetiap lekuk kehidupan manusia. Mulai dari makan, membersihkan diri, membersihkan tempat tinggal, sampai dengan aktivitas lainnya.

Karena hal tersebut, kualitas air menjadi tolok ukur yang perlu diperhatikan. Kualitas air yang baik dapat menjadi salah satu penunjang kesejahteraan hidup manusia. Dan begitu juga sebaliknya. Kualitas air dapat dilihat secara fisik maupun kandungan kimianya. Secara fisik, kualitas air dapat dilihat dari warna, bau, rasa, kekentalan, dan kekeruhan. Sedangkan secara kimia dapat dilihat dari kesadahan dan daya hantar listrik (DLH). Kualitas air dapat berubah karena adanya zat kontaminasi. Salah satu zat kontaminasi adalah NaCl yang terdapat dalam air laut. Peristiwa masuknya air laut ke dalam akuifer air tanah dinamakan dengan intrusi air laut.

Intrusi air laut merupakan salah satu bentuk kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh ulah tangan manusia. Salah satu kegiatan manusia yang dapat menyebabkan intrusi air laut antara lain pemompaan air tanah yang berlebihan. Pemompaan air tanah yang berlebihan akan menyebabkan air laut tertarik masuk ke daratan dan akhirnya menyebabkan pencemaran air tanah atau dikenal dengan istilah intrusi air laut. Fenomena kerusakan alam akibat dari ulah tangan manusia ini telah dijelaskan dalam al-Quran Surah Ar-Rum ayat 41 sebagai berikut:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

“telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”

Kerusakan dalam bahasa Arab disebut dengan kata *fasad*. Dalam Al-Qur’an, kata *fasad* dan segala bentuk derivasinya telah disebutkan sebanyak 50 kali. Salah satunya terdapat dalam surah Ar-Rum ayat 41.

Kata *al-fasad* berarti kerusakan, yang merupakan kebalikan dari kata *asholah* yang berarti kebaikan. Segala sesuatu yang tidak termasuk kebaikan dapat dikategorikan sebagai *al-fasad*. Para mufassir memiliki pandangan yang berbeda terkait dengan kata *al-fasad* dalam ayat ini. Al-Biq menjelaskan kata *al-fasad* sebagai berkurangnya semua yang bermanfaat bagi makhluk. Menurut al-Baghawi dan al-Khazi, *fasad* berarti kurang hujan dan sedikit tanaman. An-Nasafi memberikan contoh berupa terjadinya paceklik, minimnya hujan yang menyebabkan berkurangnya hasil panen dan keuntungan dalam perdagangan, terjadinya kematian pada manusia dan hewan, banyaknya peristiwa kebakaran dan tenggelam, serta dicabutnya berkah dari segala sesuatu (Shihab, 1992). Sedangkan menurut al-Ashfahani, kata *al-fasad* berarti keluarnya sesuatu dari keseimbangan, baik sedikit maupun banyak, dan ditujukan untuk jasmani, jiwa, maupun hal lainnya (Shihab, 2009).

Menurut Tantawi Jauhari (1350), dalam thesis yang ditulis oleh Aini (2016) dijelaskan bahwa kerusakan lingkungan dibagi dalam dua bentuk yaitu kerusakan yang berasal dari manusia dan kerusakan yang berasal dari alam. Yang dimaksud dengan kerusakan lingkungan yang berasal dari manusia yakni kerusakan-

kerusakan akibat hawa nafsu manusia. Manusia sebagai khalifah di bumi seharusnya dapat bersikap adil terhadap sesamanya maupun terhadap makhluk lain. Adil yang dimaksud adalah seperti apabila manusia mengambil manfaat dari makhluk atau lingkungan maka ia harus memberikan timbal balik sehingga terjadi keseimbangan antara keduanya. Apabila manusia tidak berbuat adil, maka akan terjadi ketidakseimbangan yang pada akhirnya akan merugikan manusia itu sendiri. Contohnya seperti banyaknya kasus penebangan pohon untuk kepentingan industri, rumah tangga, dan lain-lain. Penebangan pohon atau pembukaan lahan yang tidak diimbangi dengan aktivitas reboisasi akan menyebabkan ketidakseimbangan seperti banjir ketika musim hujan, dan kekeringan atau keterbatasan air bersih ketika musim kemarau. Keterbatasan air bersih diakibatkan oleh kekosongan akuifer air tanah yang mana hal tersebut memicu terjadinya penyusupan air laut atau dikenal dengan intrusi air laut.

Surah Ar-Rum ayat 41 menjelaskan tentang (beberapa) kerusakan yang terjadi di bumi disebabkan karena perbuatan tangan manusia. Manusia kebanyakan tidak sadar bahwa apa yang mereka lakukan sebenarnya akan kembali kepada diri mereka sendiri. Apabila melakukan kebaikan, maka sesungguhnya kebaikan itu akan kembali kepada diri kita. Begitu pula sebaliknya, apabila melakukan keburukan sesungguhnya keburukan itu di kemudian hari akan merugikan diri sendiri. Salah satu contoh kerusakan yang terjadi adalah pencemaran air tanah. Dalam hal ini, pencemaran air tanah disebabkan karena masuknya air laut atau disebut dengan peristiwa intrusi air laut.

Intrusi air laut merupakan peristiwa masuk atau menyusupnya air laut ke dalam pori-pori batuan dan mencemari air tanah yang terkandung di dalamnya. Air

laut memiliki berat jenis yang lebih besar dari pada air tawar. Hal ini menyebabkan air laut akan mudah mendesak air tanah semakin masuk. Intrusi air laut terjadi apabila keseimbangan terganggu. Aktivitas yang menyebabkan intrusi air laut diantaranya pemompaan yang berlebihan, karakteristik pantai dan batuan penyusun, serta fluktuasi air tanah di daerah pantai. Jika intrusi telah masuk ke dalam akuifer air tanah, maka air tanah akan menjadi payau bahkan asin dan tidak dapat lagi digunakan untuk memenuhi kehidupan sehari-hari.

Pada kondisi normal air laut tidak dapat masuk jauh ke daratan sebab air tanah memiliki *piezometric* yang menekan lebih kuat dari pada air laut, sehingga terbentuk *interface* sebagai batas antara air tanah dengan air laut. Keadaan tersebut merupakan keadaan kesetimbangan antara air laut dan air tanah. Namun ketika air laut memiliki berat jenis yang lebih besar dari pada air tanah, air laut akan mendesak air tanah sehingga air tanah semakin masuk ke hulu dan terjadi intrusi air laut.

Hal inilah yang terjadi di Desa Margosuko Kecamatan Bancar Kabupaten Tuban. Desa Margosuko terletak di garis pantai pulau Jawa dan berbatasan langsung dengan laut Jawa. Karena lokasinya ini, wilayah Desa Margosuko berpotensi mengalami intrusi air laut. Hal ini terlihat dari ditemukannya air asin di beberapa sumur penduduk Desa Margosuko. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Joesidawati (2017) semakin memperkuat dugaan bahwa telah terjadi intrusi air laut di Desa Margosuko. Dalam penelitiannya, Joesidawati telah berhasil mengukur daya hantar listrik dan tingkat intrusi air laut dari beberapa sumur di Kabupaten Tuban, termasuk di Desa Margosuko. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi penyusupan air laut sedang di Desa Margosuko dengan nilai daya hantar listrik antara 1700-1750 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan survey pendahuluan. Dari survey pendahuluan, didapatkan beberapa sumur warga memiliki kandungan air payau – asin. Untuk lebih memperkuat dugaan bahwa telah terjadi intrusi air laut di Desa Margosuko, dilakukan uji kualitas air pada beberapa sumur warga yang terletak di area penelitian. Hasil yang didapatkan dari pengujian kualitas air berupa nilai daya hantar listrik. Dari 4 sumur yang diuji, didapatkan 3 diantaranya terindikasi mengalami intrusi air laut dengan nilai daya hantar listrik sebesar $5270 \mu\text{S}$, $5466 \mu\text{S}$, $5418 \mu\text{S}$. Dengan nilai daya hantar listrik sebesar ini, maka air sumur tersebut dapat diklasifikasikan sebagai air payau – asin.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, kali ini kami akan menggunakan metode geolistrik. Metode geolistrik merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengukur sifat fisik lapisan batuan berdasarkan sifat resistivitasnya. Metode ini dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui sepasang elektroda arus dan potensial. Metode ini telah sukses dalam menentukan zona intrusi air laut di Kecamatan Genuk, Semarang (Nisa, 2012).

Berdasarkan uraian di atas, kami berharap penggunaan metode geolistrik dapat mengidentifikasi intrusi air laut di kawasan ini, serta sebarannya ke arah lateral.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana litologi bawah permukaan di lokasi penelitian?
2. Lintasan mana sajakah yang terdeteksi telah mengalami intrusi air laut?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui litologi bawah permukaan di lokasi penelitian.
2. Untuk menduga lintasan yang telah terdeteksi mengalami intrusi air laut di lokasi penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat dalam Bidang Keilmuan
 - a. Memberikan pengetahuan tentang prinsip kerja dan penggunaan alat geolistrik resistivitas.
 - b. Memberikan pengetahuan tentang tata cara pengolahan data resistivitas dengan menggunakan *software* Res2Dinv.
 - c. Menjadi referensi bagi para akademisi untuk dijadikan acuan penelitian selanjutnya.
2. Manfaat Untuk Masyarakat

Memberikan informasi kepada masyarakat tentang penggunaan metode geolistrik pada bidang lingkungan, yaitu untuk mengetahui lintasan yang telah terjadi intrusi air laut di Desa Margosuko.

1.5 Batasan Penelitian

1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner Alpha.
2. Penelitian dilakukan di Desa Margosuko, Kecamatan Bancar, Kabupaten Tuban.
3. Luas daerah penelitian diperkirakan 23.200 m² dengan panjang 232 m dan lebar sekitar 100 m.
4. Batas koordinat daerah penelitian adalah $6^{\circ}47'41.24''\text{S}$ $111^{\circ}48'27.86''\text{E}$ - $6^{\circ}47'38.08''\text{S}$ $111^{\circ}48'29.05''\text{E}$ dan $6^{\circ}47'37.79''\text{S}$ $111^{\circ}48'21.53''\text{E}$ - $6^{\circ}47'36.60''\text{S}$ $111^{\circ}48'23.87''\text{E}$.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Tanah

Air merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi manusia, pertumbuhan penduduk dan pembangunan di berbagai bidang akan mendorong kebutuhan air yang sangat besar. Air tanah merupakan sumber daya air yang sangat potensial serta merupakan sumber air untuk memenuhi kebutuhan manusia, baik kebutuhan rumah tangga, kebutuhan irigasi, maupun untuk kebutuhan industri. Air tanah adalah salah satu sumber alami air minum yang bersih dan aman. Hal ini dapat ditemukan di lapisan tanah yang paling bawah dan umumnya tidak memerlukan pengobatan sebelumnya karena secara alami terlindung dari kontaminasi (Ndlovu, 2011).

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 19-6728.1-2002, air tanah didefinisikan sebagai air yang berada di bawah permukaan tanah pada lapisan akuifer yang tersusun atas batuan, termasuk didalamnya adalah mata air yang muncul ke permukaan bumi. Sumber daya air tanah merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui dengan kuantitas tetap tetapi kualitas yang terus mengalami penurunan dari waktu ke waktu (Asrifah, 2012).

Sedangkan menurut Kodoatie (1996), air tanah merupakan sejumlah air di bawah permukaan bumi yang dapat dikumpulkan dengan sumur-sumur, atau dengan pemompaan. Dapat juga disebut sebagai aliran yang secara alami mengalir ke permukaan tanah melalui pancaran atau rembesan.

Air tanah berasal dari permukaan seperti air hujan, danau, sungai, dan sebagainya yang meresap ke dalam tanah mengisi ruang pori pada tanah dan batuan. Air ini kemudian akan terakumulasi dalam suatu cekungan. Banyaknya air yang

meresap ke dalam tanah tergantung pada ruang, waktu, dan curah hujan serta kapasitas cekungan (Sadjab, 2012).

Air tanah ditemukan pada lapisan batuan permeabel (tembus air) yang dikenal sebagai akuifer yang merupakan formasi air yang cukup besar. Akuifer adalah lapisan batuan yang berukuran batu pasir atau lebih kasar serta lapisan batuan padu yang memiliki celahan. Akuifer bebas (*Unconfined Aquifer*) merupakan akuifer yang tertutup lapisan impermeabel, dan merupakan akuifer yang mempunyai air tanah (Seyhan, 1990).

Pada daerah jenuh, air tertahan lebih lama karena air telah sampai pada lapisan batuan induk yang kedap air. Pada daerah inilah air tanah seakan-akan tergenang sehingga menjadi reservoir air. Sedangkan daerah tak jenuh, air tertahan sebentar di pori-pori yang halus pada lapisan tanah yang lebih padat (Tanudidjaja, 1995).

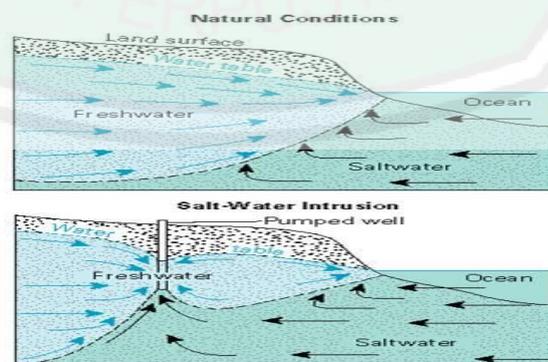
Keberadaan air tanah bergantung pada besarnya curah hujan dan air yang dapat meresap ke dalam tanah. Faktor lain yang mempengaruhi adalah kondisi litologi dan geologi setempat. Kondisi tanah yang berpasir lepas atau batuan yang permeabilitasnya tinggi akan mempermudah masuknya air hujan ke dalam formasi batuan. Dan sebaliknya, batuan dengan sementasi kuat dan kompak akan memperkecil resapan air ke dalam tanah. Lapisan yang mudah dilalui air tanah disebut lapisan permeabel (tembus air), seperti lapisan yang terdapat pada pasir dan kerikil. Sedangkan lapisan yang sulit dilalui air tanah disebut lapisan impermeabel (tak tembus air), seperti lapisan lempung (Suryo, 2016).

2.2 Intrusi Air Laut

Meningkatnya eksploitasi air tanah yang tidak dikelola dan dikontrol secara efektif akan menyebabkan turunnya muka air tanah, serta berubahnya kualitas dan kuantitas air tanah itu sendiri (Soemarto, 1995). Penurunan muka air tanah juga menimbulkan dampak negatif berupa penyusupan air laut ke dalam akuifer yang dinamakan intrusi air laut (Nisa, 2012).

Intrusi atau penyusupan air asin ke dalam akuifer di daratan pada dasarnya adalah proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifer di daratan atau daerah pantai. Dengan kata lain, intrusi air laut adalah proses terdesaknya air tawar oleh air asin atau air laut di dalam akuifer pada daerah pantai (Hendrayana, 2002).

Pada kondisi normal air laut tidak dapat masuk jauh ke daratan sebab air tanah memiliki *piezometric* yang menekan lebih kuat dari pada air laut, sehingga terbentuk *interface* sebagai batas antara air tanah dengan air laut. Keadaan tersebut merupakan keadaan kesetimbangan antara air laut dan air tanah. Namun ketika air laut memiliki berat jenis yang lebih besar dari pada air tanah, air laut akan mendesak air tanah sehingga air tanah semakin masuk ke hulu dan terjadi intrusi air laut.



Gambar 2.1 Bagan pada Saat Kondisi Normal dan Intrusi Air Laut

Intrusi air laut dapat terjadi melalui 3 cara, yaitu (Barus, 2015):

1. Bergesernya batas air laut dan air tawar (*interface*) di daerah pantai. Pergeseran ini terjadi karena pengambilan air tanah yang berlebihan sehingga muka air tanah menurun.
2. Pemompaan air tanah semi tertekan yang berlebihan di daratan. Hal ini akan mengakibatkan air yang tersedot bukanlah air tawar, melainkan air asin. Akibatnya air asin yang tersedot akan menyebar dan mencemari air tanah di sekitar daerah pemompaan.
3. Intrusi melalui muara sungai. Intrusi air laut pada air sungai menyebabkan air berkadar garam tinggi bergerak dan mengisi air tanah di sekitarnya. Akibatnya air tanah di sekitar sungai menjadi asin dan berkadar garam tinggi. Parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui kualitas air diantaranya:

1. Rasa

Rasa pada air dapat ditimbulkan dari beberapa faktor seperti gas yang terlarut, organisme hidup, dan limbah padat maupun limbah cair. Rasa air dapat dideteksi dengan indra pengecap. Dengan merasakan rasa air, kita dapat mengetahui apakah air tersebut belum atau telah terkontaminasi air asin (Barus, 2015).

2. Konduktivitas

Konduktivitas atau daya hantar listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Untuk kasus intrusi air laut, yang dijadikan parameter adalah air. Semakin banyak garam yang terlarut dalam cairan, maka nilai konduktivitasnya akan semakin tinggi dan nilai resistivitasnya akan semakin kecil (Barus, 2015). Klasifikasi air tanah berdasarkan daya

hantar listrik yang berhubungan dengan intrusi air laut ditunjukkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Air Tanah Berdasarkan Daya Hantar Listrik (Nisa, 2012)

No	DHL ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Jenis Air
1	<1500	Tawar
2	1500 – 5000	Tawar – Payau
3	5000 – 15000	Payau
4	15000 – 50000	Asin

3. Salinitas

Salinitas adalah konsentrasi total ion yang terdapat di perairan. Salinitas menggambarkan padatan total dalam air. Setelah semua karbonat dikonversi menjadi oksida, semua bromide dan ionida diganti menjadi klorida, dan semua bahan organik dioksidasi (Effendi, 2003). Terminologi yang mirip dengan salinitas adalah klorinitas atau kandungan ion Cl dalam air. Maka cara yang paling sederhana untuk mengukur salinitas adalah dengan mengukur kadar ion Cl dalam air (Barus, 2015).

Klasifikasi air tanah berdasarkan salinitas yang berhubungan dengan intrusi air laut ditunjukkan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi Air Tanah Berdasarkan Salinitas (Widada, 2017)

No	Salinitas (mg/L)	Jenis Air
1	<1000	Tawar
2	1000 – 3000	Payau
3	3000 – 35000	Asin
4	>35000	Sangat asin

pH

Pada umumnya keasaman air disebabkan karena adanya gas karbon dioksida yang larut dalam air dan menjadi asam karbonat. Semakin tinggi nilai pH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas (Effendi, 2003).

Klasifikasi air tanah berdasarkan pH yang berhubungan dengan intrusi air laut ditunjukkan dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi Air Tanah Berdasarkan pH (Saeni, 1989)

No	Ph	Jenis Air
1	<5 – 7	Asam
2	7	Netral
3	>7 – 9	Basa

2.3 Metode Geolistrik

Menurut Telford (1976), yang dikutip oleh Hakim (2017), Metode geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan melakukan pendeteksian di atas permukaan bumi. Tujuan dari metode ini adalah untuk memperkirakan sifat kelistrikan medium atau formasi di bawah permukaan yang berhubungan dengan kemampuan untuk menghantarkan atau menghambat arus listrik (konduktivitas atau resistivitas). Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus, dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Ada beberapa macam metode geolistrik, diantaranya adalah metode potensial diri, IP (*induced polarization*), dan resistivitas.

Metode geolistrik juga merupakan metode geofisika yang dapat menggambarkan keberadaan batuan atau mineral di bawah permukaan berdasarkan sifat kelistrikan dari batuan atau mineralnya. Sifat-sifat kelistrikan batuan dibagi dalam beberapa jenis diantaranya tahanan jenis (*resistivity*) dan polarisasi. Tahanan jenis merupakan hambatan dari batuan terhadap aliran listrik, sedangkan polarisasi merupakan kemampuan batuan untuk menciptakan atau menyimpan sementara energi listrik, umumnya lewat proses elektrokimia (Reynold, 1997).

Aliran arus listrik mengalir di dalam tanah melalui batuan-batuan dan sangat dipengaruhi oleh adanya air tanah dan garam yang terkandung di dalamnya. Oleh karena itu, metode geolistrik dapat digunakan pada penentuan akuifer, kontaminasi air tanah, penyelidikan mineral, survei arkeologi dan deteksi *hotrock* pada penyelidikan panas bumi serta penelitian untuk mengetahui perkiraan keberadaan *bedrock* untuk pondasi bangunan (Sampurno dkk, 2015).

2.3.1 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengukur sifat fisik lapisan batuan, yaitu sifat resistivitasnya. Metode ini dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui sepasang elektroda arus dan potensial. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan yang lebih dalam, maka spasi masing-masing elektroda arus dan potensial ditambah secara bertahap. Semakin besar spasi elektroda, maka efek penembusan arus ke bawah semakin dalam. Nilai resistivitas yang dihasilkan merupakan nilai tahanan semu (*apparent resistivity*). Nilai tersebut didapatkan

dengan cara membagi nilai beda potensial dengan nilai arus yang diinjeksikan serta dikalikan dengan faktor geometri (K). nilai resistivitas yang didapatkan selanjutnya dikorelasikan dengan geologi daerah penyelidikan, maka akan diketahui geologi bawah permukaan daerah penyelidikan secara lebih detail (Suryo, 2016).

Tiap lapisan penyusun bumi merupakan suatu material batuan yang mempunyai hambatan jenis berbeda. Menurut Reynold (1997), besar hambatan jenis tiap batuan ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain:

a. Kandungan air

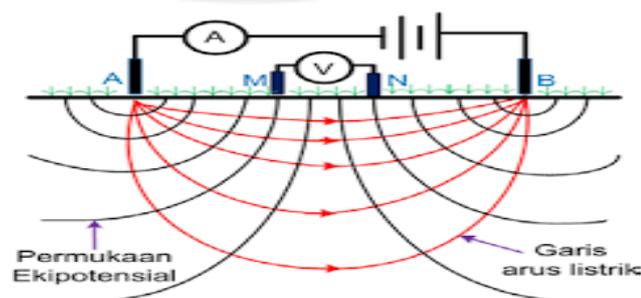
Kandungan air yang terkandung dalam batuan akan menurunkan harga resistivitas sehingga nilai daya hantar listrik pada batuan tersebut akan semakin besar.

b. Porositas batuan

Pori-pori batuan yang telah terisi air akan menyebabkan batuan tersebut mempunyai tahanan jenis yang lebih rendah dari pada batuan yang kering.

c. Kelarutan garam dalam air di dalam batuan

Kelarutan garam dalam air di dalam batuan akan meningkatkan kandungan ion dalam air sehingga tahanan jenis menjadi rendah (berfungsi sebagai konduktor).



Gambar 2.2 Distribusi Arus pada Metode Geolistrik

Pada geolistrik resistivitas, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui 2 buah elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak elektroda A dan B akan menyebabkan aliran arus listrik bisa menembus lapisan batuan lebih dalam. Dengan adanya arus listrik tersebut maka akan menimbulkan tegangan listrik di dalam tanah. Tegangan listrik yang terjadi di permukaan tanah diukur dengan menggunakan multimeter yang terhubung melalui 2 buah elektroda potensial M dan N. Bila jarak posisi elektroda AB diubah menjadi lebih besar maka tegangan listrik yang terjadi pada elektroda MN ikut berubah sesuai dengan informasi jenis batuan yang ikut terinjeksi arus listrik pada kedalaman yang lebih besar. Dengan asumsi bahwa kedalaman lapisan batuan yang bisa ditembus oleh arus listrik ini sama dengan separuh dari jarak AB yang biasa disebut $AB/2$, maka diperkirakan pengaruh dari injeksi aliran arus listrik ini berbentuk setengah bola dengan jari-jari $AB/2$ (Broto, 2008).

Prinsip fisis dalam metode geolistrik resistivitas adalah hukum Ohm. Arus listrik searah dialirkan melalui suatu medium, maka perbandingan antara beda potensial (ΔV) yang terjadi dengan arus (I) yang diberikan adalah tetap, dan besarnya tetapan ini tergantung dari medium yang dilewati oleh arus tersebut. Tetapan ini disebut dengan hambatan listrik yang disimbolkan dengan R , dimana besarnya hambatan (R) adalah (Telford, 1976):

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- R = hambatan (ohm)
- ΔV = beda potensial (volt)
- I = arus listrik (ampere)

Berdasarkan tujuan penyelidikan, metode geolistrik tahanan jenis dibagi menjadi dua yaitu *mapping* dan *sounding*. Aplikasi teknik *mapping* dapat memberikan informasi tentang lapisan bawah permukaan secara horizontal. Sedangkan teknik *sounding* memberikan informasi detail pada kedalaman dan karakteristik air bawah permukaan pada daerah penelitian (Hendrajaya, 1990).

Survei resistivitas akan memberikan gambaran tentang distribusi resistivitas bawah permukaan. Harga resistivitas tertentu akan berasosiasi dengan kondisi geologi tertentu. Untuk mengkonversi harga resistivitas ke dalam bentuk geologi diperlukan pengetahuan tentang tipikal dari harga resistivitas untuk setiap tipe material dan struktur daerah survei. Harga resistivitas batuan, mineral, tanah, dan unsur kimia secara umum telah diperoleh melalui berbagai pengukuran dan dapat dijadikan sebagai acuan untuk proses konversi (Telford, *et al.*, 1990).

2.3.2 Konfigurasi Elektroda

Terdapat berbagai macam aturan yang dipakai untuk menempatkan keempat elektroda tersebut di atas. Aturan-aturan penempatan keempat elektroda tersebut dalam istilah geofisika biasa disebut dengan konfigurasi elektroda (Hendrajaya, 1990). Meskipun terdapat berbagai macam jenis konfigurasi elektroda, tetapi yang sering dipergunakan adalah konfigurasi elektroda Wenner, Schlumberger, Dipole-dipole dan konfigurasi *Rectangle*. Setiap konfigurasi elektroda mempunyai metode perhitungan tersendiri untuk mengetahui nilai ketebalan dan nilai tahanan jenis batuan di bawah permukaan (Sugito, 2010). Konfigurasi elektroda Wenner dan Schlumberger digunakan dalam pelaksanaan di lapangan yang tidak terlalu sulit (cukup datar dan luas) dan penetrasi arus yang tidak terlalu

dalam (Hendrajaya, 1990). Sedangkan untuk bentangan yang tidak merata serta penetrasi arus yang dalam maka digunakan konfigurasi elektroda Dipole-dipole. Konfigurasi elektroda *Rectangle* sangat jarang digunakan karena pengaturannya yang sedikit sulit.

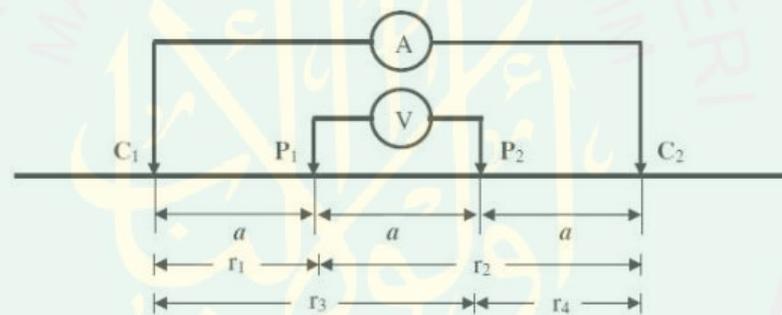
Pengukuran geolistrik dapat dilakukan dengan tujuan yang berbeda yaitu pengukuran *mapping* dan *sounding*. Teknik *mapping* dilakukan dengan menggunakan konfigurasi elektroda tertentu dengan jarak antar elektroda tetap. Seluruh susunan elektroda dipindah mengikuti lintasan. Maka dari itu, konfigurasi yang cocok digunakan untuk pengukuran *mapping* adalah konfigurasi Wenner dan Dipole. Sedangkan teknik *sounding* dilakukan dengan jarak antar elektroda bervariasi. Hal ini karena tujuan pengukuran *sounding* adalah untuk memperkirakan variasi resistivitas sebagai fungsi dari kedalaman dan jarak antar elektroda menentukan kedalaman titik pengukuran. Maka konfigurasi elektroda yang biasa digunakan untuk pengukuran *sounding* adalah konfigurasi Wenner dan Schlumberger. Salah satu keuntungan dari konfigurasi Wenner adalah dapat digunakan untuk pengukuran *mapping* maupun *sounding* (Haryanto, 2011).

2.3.3 Konfigurasi Wenner

Metode konfigurasi Wenner diperkenalkan oleh Wenner pada tahun 1915. Konfigurasi Wenner merupakan salah satu konfigurasi yang sering digunakan dalam eksplorasi geolistrik dengan sistem aturan spasi yang konstan. Jarak antara elektroda arus adalah tiga kali jarak elektroda potensial, jarak potensial dengan titik *sounding*nya adalah $a/2$, maka jarak masing-masing elektroda arus dengan titik *sounding*nya adalah $3a/2$ (Wijaya, 2015).

Konfigurasi Wenner merupakan konfigurasi yang paling cocok untuk akuisisi data bersifat *mapping*. Spasi antar elektroda pada konfigurasi Wenner adalah sama. Prinsip kerja dari metode ini adalah menggeser seluruh elektroda sepanjang lintasan dengan spasi tetap. Target kedalaman yang dapat dicapai oleh konfigurasi Wenner adalah $a/2$ (Florsch, 2018).

Konfigurasi Wenner dibagi menjadi tiga yaitu konfigurasi Wenner Alpha, Beta, dan Gamma. Konfigurasi Wenner Alpha merupakan yang paling sering digunakan dalam pengukuran di lapangan. Titik ukur dari konfigurasi wenner alpha berada diantara elektroda potensial yang pertama dan elektroda potensial yang kedua. Gambaran pengaturan Wenner Alpha adalah (Telford, 1990):



Gambar 2.3 Konfigurasi Wenner Alpha

Wenner Alpha memiliki konfigurasi elektroda potensial yang berada diantara elektroda arus yang tersusun dari C1-P1-P2-C2. Jarak elektroda yang satu dengan lainnya sama dengan a (Loke, 2004). Berbagai macam konfigurasi pada metode geolistrik memiliki pengaruh pada perumusan faktor geometri. Faktor geometri tersebut muncul akibat dari pola perpindahan dan tata letak elektroda potensial serta elektroda arus (Telford, 1990).

Berdasarkan gambar 2.3, dimana $C_1P_1=P_1P_2=P_2C_2=a$, maka faktor geometri konfigurasi Wenner adalah (Milsom, 2003):

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)\right]} = 2\pi a \quad (2.2)$$

Konfigurasi Wenner Alpha memiliki keuntungan dan keterbatasan, diantaranya adalah (Loke, 2004):

- a. Konfigurasi elektroda Wenner Alpha sangat sensitif terhadap perubahan lateral setempat dan dangkal. Hal tersebut terjadi karena anomali geologi diamati oleh elektroda C1 dan P1 berkali-kali. Namun demikian untuk jarak C-P yang lebih panjang, daya tembus (penetrasi) lebih besar, sehingga berlaku untuk eksplorasi yang lebih dalam.
- b. Karena bidang equipotensial untuk benda homogeni berupa setengah bola, maka data-data lebih mudah diproses dan dimengerti. Disamping itu juga nilai *error* kecil.
- c. Karena sensitif terhadap perubahan-perubahan kearah lateral di permukaan, konfigurasi ini banyak digunakan untuk penyelidikan geothermal.

2.4 Sifat Listrik Batuan

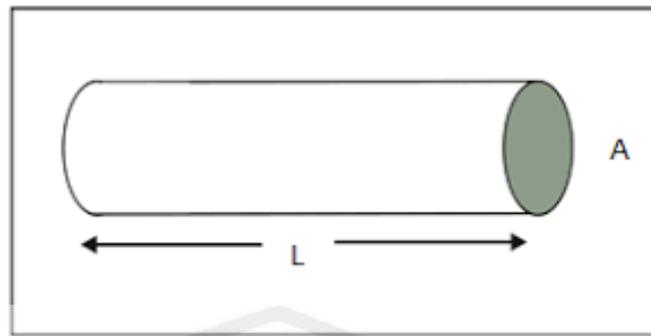
Batuan merupakan suatu jenis materi sehingga mempunyai sifat-sifat kelistrikan. Sifat listrik batuan adalah karakteristik dari batuan ketika dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik ini bisa berasal dari alam itu sendiri akibat terjadinya ketidakseimbangan, atau arus yang sengaja dimasukkan kedalamnya.

Aliran (konduksi) arus listrik di dalam batuan dan mineral digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik (Hendrajaya, 1990).

2.4.1 Konduksi secara Elektronik

Konduksi ini adalah tipe normal dari aliran arus listrik dalam batuan atau mineral. Konduksi secara elektronik terjadi karena batuan atau mineral mengandung banyak elektron bebas. Akibatnya arus listrik mudah mengalir pada batuan ini. Sebagai contoh, batuan yang banyak mengandung logam. Selain itu aliran listrik juga dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing batuan atau mineral yang dilaluinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan atau mineral tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis), yang menunjukkan kemampuan batuan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu batuan maka semakin sulit batuan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya. Resistivitas memiliki pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri. Sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri (Hendrajaya, 1990).

Menurut Lowrie (2007), resistivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik yang bergantung pada besarnya medan listrik dan kerapatan arus listrik. Jika ditinjau dengan sebuah tabung silinder dengan panjang L , luas penampang A , dan resistansi R , maka diperoleh rumus:



Gambar 2.4 Silinder Konduktor

$$R = \rho \frac{L}{A} \text{ atau } \rho = R \frac{A}{L} \quad (2.3)$$

Dimana ρ adalah resistivitas (Ωm), L adalah panjang silinder konduktor (m), A adalah luas penampang silinder konduktor (m^2), dan R adalah resistansi (Ω).

Berdasarkan hukum Ohm $R = \frac{V}{I}$, maka resistansi dan resistivitas memiliki hubungan seperti (Lowrie, 2007):

$$\rho = \frac{A V}{L I} \quad (2.4)$$

Dalam hal menentukan sifat penghantar, nilai resistivitas dapat dikonversi menjadi satuan konduktivitas, yaitu (Lowrie, 2007):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \text{ atau } \sigma = \frac{IL}{AV} \quad (2.5)$$

Karena rapat arus $J = \frac{I}{A}$ dan potensial listrik $V = EL$ maka konduktivitas dapat dituliskan menjadi:

$$\sigma = \frac{J}{E} \quad (2.6)$$

Dengan J adalah rapat arus listrik (ampere/meter²), dan E adalah medan listrik (Volt/meter).

2.4.2 Konduksi secara Elektrolitik

Konduksi jenis ini banyak terjadi pada batuan atau mineral yang bersifat porus dan pori-pori yang telah terisi larutan elektrolit. Dalam hal ini arus listrik mengalir akibat dibawa oleh ion-ion elektrolit. Konduksi dengan cara ini lebih lambat dari pada konduksi elektronik (Lowrie, 2007).

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Namun pada kenyataannya batuan biasanya bersifat porus dan memiliki pori-pori yang terisi fluida, terutama air. Hal tersebut mengakibatkan batuan menjadi konduktor elektrolitik. Konduktivitas dan resistivitas batuan porus dipengaruhi oleh volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin besar apabila kandungan air di dalam batuan tinggi. Sedangkan resistivitas akan semakin besar apabila kandungan air dalam batuan rendah. menurut rumus Archie:

$$\rho_e = a \Phi^{-m} S^{-n} \rho_w \quad (2.7)$$

Dimana ρ_e adalah resistivitas batuan, Φ adalah porositas, S adalah fraksi pori-pori yang berisi air, dan ρ_w adalah resistivitas air. sedangkan, m , n adalah konstanta. Dimana nilai m disebut faktor sementi (Lowrie, 2007).

2.4.3 Konduksi secara Dielektrik

Konduktivitas secara dielektrik merupakan peristiwa konduksi yang terjadi pada batuan atau mineral yang memiliki sedikit elektron bebas (atau bahkan tidak memiliki sama sekali), yang memiliki sifat dielektrik terhadap arus listrik. Artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak ada sama sekali. Elektron dalam batuan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik di luar, sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini tergantung pada konduksi dielektrik batuan yang bersangkutan (Lowrie, 2007).

Porositas dan permeabilitas batuan memiliki pengaruh dalam meneruskan arus listrik DC yang diinjeksikan oleh elektroda arus saat pengambilan data geolistrik di lapangan. Resistivitas batuan dipengaruhi oleh fluida yang terkandung di dalamnya, dengan kata lain nilai resistivitas batuan tergantung dari jenis batuan yang menjadi jalannya arus listrik DC pada saat penginjeksian arus ke dalam bumi (Kunetz, 1996).

2.5 Sifat Fisis Batuan

2.5.1 Densitas

Menurut Olhoeft (1989) yang dikutip oleh Rosari (2017), Densitas (massa jenis) adalah sifat fisik yang berubah secara signifikan pada berbagai jenis batuan karena perbedaan mineral dan porositas. Densitas (D) didefinisikan sebagai hasil bagi dari massa (m) dan volume (V) dari sebuah material. Atau dapat dituliskan:

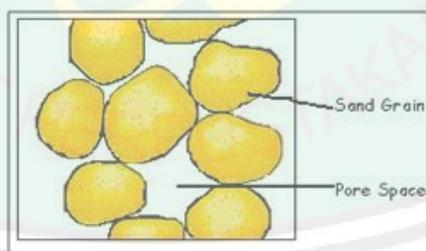
$$D = \frac{m}{V} \quad (2.8)$$

Dengan D adalah massa jenis (gr/cm^3), m adalah massa (gr), V adalah volume (cm^3) (Olhoeft, 1989).

Besar kecilnya densitas suatu material dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain komposisi mineral, suhu, tekanan, porositas, serta material yang mengisi ruang pori (Harsono, 1997)

2.5.2 Porositas

Porositas adalah perbandingan antara ruang kosong pada sebuah batuan terhadap volume total batuan, dan merupakan tempat tersimpannya fluida dari suatu reservoir (Halliburton, 2001). Porositas dibagi menjadi dua yaitu porositas total atau *absolute* dan porositas efektif. Porositas total atau *absolute* adalah perbandingan antara volume total ruang pori dan volume total batuan. Sedangkan porositas efektif adalah perbandingan antara ruang pori yang saling berhubungan dan volume total batuan (Nurwidyanto, 2005).



Gambar 2.5 Porositas Batuan (Halliburton, 2001)

Porositas total dapat dirumuskan sebagai berikut (Levorsen, 1954):

$$\Phi = \frac{\text{volume pori-pori}}{\text{volume keseluruhan batuan}} \times 100\% \quad (2.9)$$

Sedangkan porositas efektif dirumuskan sebagai berikut (Judson, 1987):

$$\Phi_e = \frac{\text{volume pori bersambungan}}{\text{volume keseluruhan batuan}} \times 100\% \quad (2.10)$$

Menurut Koesoemadinata (1978), porositas beberapa reservoir dikelompokkan menjadi:

- | | |
|-------------------------------------|----------|
| a. Diabaikan (<i>negligible</i>) | 0 – 5% |
| b. Buruk (<i>poor</i>) | 5 – 10% |
| c. Cukup (<i>fair</i>) | 10 – 15% |
| d. Baik (<i>good</i>) | 15 – 20% |
| e. Sangat baik (<i>very good</i>) | 20 – 25% |
| f. Istimewa (<i>excellent</i>) | >25% |

2.5.3 Permeabilitas

Kelulusan atau permeabilitas adalah suatu sifat batuan reservoir untuk dapat meluluskan cairan melalui pori-pori yang berhubungan, tanpa merusak partikel pembentuk atau kerangka batuan tersebut. Definisi permeabilitas dirumuskan dalam Hukum Darcy sebagai berikut (Koesoemadinata, 1978):

$$q = \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dy} \quad (2.11)$$

Dimana q dinyatakan dalam sentimeter per sekon, k dalam darcy (permeabilitas), viskositas μ dinyatakan dalam sentipoise, dan $\frac{dp}{dy}$ adalah gradien hidrolik yang dinyatakan dalam atmosfer per sentimeter (Koesoemadinata, 1978).

Seperti yang disebutkan di atas, permeabilitas tanah diukur dengan menggunakan Hukum Darcy. Hukum Darcy untuk satu dimensi yaitu aliran secara vertikal. Sifat ini dipengaruhi oleh geometri (ruang) pori dan sifat dari cairan yang mengalir di dalamnya. Air dapat mengalir dengan mudah di dalam tanah yang mempunyai pori-pori besar. Pori kecil dengan hubungan antar pori yang seragam akan mempunyai permeabilitas lebih rendah. Kemungkinan tanah yang pori-porinya besar, permeabilitasnya mendekati nol yaitu jika pori-pori tersebut terisolasi sesamanya. Permeabilitas juga mendekati nol jika pori-pori tanah sangat kecil, seperti tanah bertekstur lempung. Air di dalam tanah tidak bergerak vertikal, akan tetapi kearah horizontal. Dinamakan rembesan lateral. Rembesan lateral disebabkan oleh permeabilitas berbagai lapisan tanah yang tidak seragam. Air yang masuk lapisan tanah dengan laju agak cepat mungkin tertahan oleh lapisan tanah yang permeabilitasnya lambat atau kedap air.

Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas tanah antara lain tekstur tanah, porositas distribusi ukuran pori, stabilitas agregat, stabilitas struktur tanah serta kadar bahan organik. Hubungan yang lebih utama terhadap permeabilitas tanah adalah distribusi ukuran pori. Sedangkan faktor-faktor yang lain hanya ikut menentukan porositas dan distribusi ukuran pori. Tekstur kasar mempunyai permeabilitas yang tinggi dibandingkan dengan tekstur halus karena tekstur kasar mempunyai pori makro dalam jumlah banyak sehingga tanah yang didominasi

oleh tekstur kasar seperti pasir umumnya mempunyai tingkat kepekaan yang rendah terhadap erosi tanah (Hillel, 1971).

2.6 Konsep Resistivitas Semu

Metode geolistrik tahanan jenis didasarkan pada anggapan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, tahanan jenis yang terukur merupakan tahanan jenis yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Namun pada kenyataannya, bumi tersusun atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur dipengaruhi oleh lapisan-lapisan tersebut. Harga resistivitas yang diukur seolah-olah merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja. Resistivitas yang adalah resistivitas semu (ρ_a) (Reynold, 1997).



Gambar 2.6 Konsep Resistivitas Semu dalam Lapisan Tanah

Besarnya resistivitas semu (ρ_a) adalah (Reynold, 1997):

$$\rho_a = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.12)$$

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.13)$$

Dimana K adalah faktor geometri, yaitu besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak elektroda arus, sedangkan ΔV adalah beda potensial diantara ρ_1 dan ρ_2 (Reynold, 1997).

Potensial pada titik P_1 yang disebabkan oleh C_1 di permukaan dengan anggapan udara memiliki nilai resistivitas tak terhingga adalah (Burger, 1992):

$$V_{P_1} = \frac{\rho_1 I}{2\pi a} \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{\left[1 + \left(\frac{2nz}{a}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (2.14)$$

Analogi yang sama untuk spasi elektroda C_1 ke P_2 adalah $2a$, maka potensial:

$$V_{P_2} = \frac{\rho_1 I}{4\pi a} \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{\left[1 + \left(\frac{nz}{a}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (2.15)$$

Beda potensialnya menjadi (Burger, 1992):

$$\Delta V = V_{P_1} - V_{P_2} = \frac{\rho_1 I}{2\pi a} \left\{ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{\left[1 + \left(\frac{2nz}{a}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{\left[1 + \left(\frac{nz}{a}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (2.16)$$

Persamaan (2.13) dapat ditulis (Burger, 1992):

$$\rho_a = \left(\frac{2\pi a}{I}\right) \left\{ \frac{\rho_1 I}{2\pi a} \left[1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{\left[1 + \left(\frac{2nz}{r}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{\left[1 + \left(\frac{nz}{r}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \right] \right\}$$

$$\rho_a = \rho_1 \left\{ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{\left[1 + \left(\frac{2nz}{r}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{\left[1 + \left(\frac{nz}{r}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (2.17)$$

Dengan

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (2.18)$$

Dimana ρ_a adalah resistivitas semu, ρ_1 adalah lapisan di permukaan, k adalah koefisien refleksi, a adalah spasi elektroda, dan z adalah kedalaman.

Beberapa hal yang mempengaruhi nilai resistivitas semu adalah sebagai berikut (Haryanto, 2011):

1. Ukuran butir penyusun batuan, semakin kecil besar butir maka kelolosan arus akan semakin baik, sehingga mereduksi nilai tahanan jenis.
2. Komposisi mineral dari batuan, semakin meingkat kandungan mineral akan mengakibatkan turunnya nilai resistivitas.
3. Kandungan air, air tanah atau air permukaan merupakan media yang mereduksi nilai tahanan jenis.
4. Kelarutan garam dalam air di dalam batuan akan mengakibatkan meningkatnya kandungan ion dalam air sehingga berfungsi sebagai konduktor.
5. Kepadatan, batuan yang semakin padat akan meningkatkan nilai resistivitas.

2.7 Resistivitas Batuan

Setiap batuan memiliki karakteristik tersendiri tak terkecuali dalam hal sifat kelistrikannya. Salah satu sifat batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis) 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 (Taib, 2000).

Konduktor didefinisikan sebagai material dengan nilai resistivitas kurang dari $10^{-5}\Omega\text{m}$, sedangkan isolator memiliki nilai resistivitas lebih dari $10^7\Omega\text{m}$. Untuk

material yang memiliki nilai resistivitas diantara $10^{-5}\Omega\text{m}$ dan $10^7\Omega\text{m}$ adalah batuan semikonduktor. Dalam klasifikasinya, batuan dan mineral dapat digolongkan sebagai konduktor yang baik, *intermediate*, dan konduktor yang buruk dengan kisaran sebagai berikut (Telford, 1990):

Berdasarkan harga resistivitasnya, batuan digolongkan dalam tiga kategori yakni (Telford, 1990):

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

Tabel 2.4 Resistivitas dari Beberapa Batuan dan Mineral (Telford, 1990)

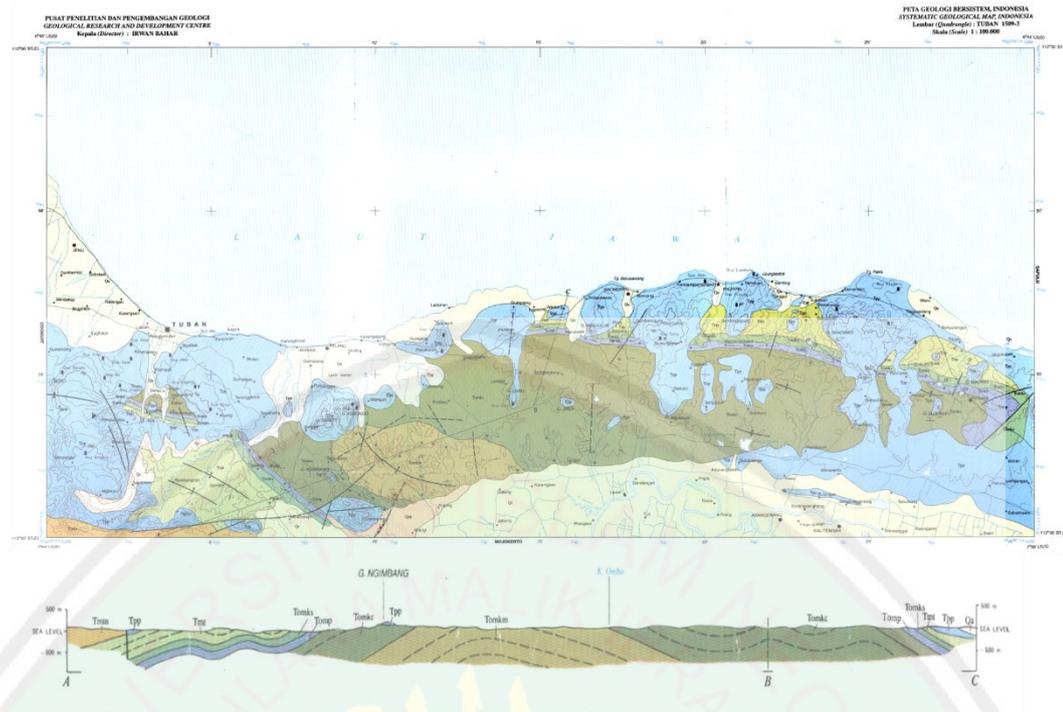
Tipe Batuan	Nilai Resistivitas (Ωm)
Pirit (<i>pyrite</i>)	$2,9 \times 10^{-5} - 1,5$
Kwarsa (<i>Quartz</i>)	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
Bauksit (<i>Bauxite</i>)	$2 \times 10^2 - 6 \times 10^3$
Garan Batu (<i>Rock Salt</i>)	$30 - 10^{13}$
Andesit	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basal	$200 - 10.000$
<i>Fluorite</i>	8×10^{13}
Berlian (<i>Diamond</i>)	$10 - 10^{14}$
Batu Bara	$0,6 - 10^5$
Batu Bara muda (<i>Lignite</i>)	$9 - 200$
<i>Fire Clay</i>	30
Air tanah	100
Air laut	0,2

2.8 Struktur dan Stratigrafi

Secara administratif, Desa Margosuko terletak di wilayah Kecamatan Bancar, Kabupaten Tuban. Daerah Tuban terletak di dalam Lajur Rembang. Lajur ini pada umumnya merupakan endapan paparan yang kaya akan batuan karbonat dan juga

banyak terdapat lipatan dan sesar. Lipatan dan sesar dapat diamati pada batuan Oligo-Miosen sampai Pliosen yang terdiri dari Formasi Kujung, Formasi Tuban, dan Formasi Paciran. Umumnya sumbu antiklin berarah barat laut – tenggara dengan sudut kemiringan 10° sampai 30° dan banyak ditemukan pada Formasi Kujung dan Formasi Tuban. Sesar banyak ditemukan pada Formasi Kujung, Formasi Tuban, dan Formasi Paciran.

Sejarah geologi daerah Tuban diperkirakan terbentuk pada Kala Oligo-Miosen dimana pada masa itu, daerah Tuban masih berupa cekungan. kemudian Formasi Kujung yang kaya akan batuan karbonat diendapkan dengan lingkungan pengendapan laut dangkal sampai dalam. Fasa resgresi mulai terjadi pada Kala Miosen tengah yang disebabkan oleh aktivitas tektonik Intra-Miosen. Hal ini menyebabkan terjadinya pengendapan batu pasir kuarsa anggota Ngrayong Formasi Tuban dengan lingkungan pengendapan di dekat pantai. Kemudian terjadi pengendapan Formasi Paciran yang terletak diatas Formasi Tuban yang tersebar cukup luas dan didominasi oleh batu gamping dengan lingkungan laut dangkal. Berdasarkan peta Geologi lembar Tuban, Desa Margosuko termasuk ke dalam formasi aluvium pantai yang mana tersusun atas lempung, lanau, pasir, dan kerikil.



keterangan:

Qa	aluvium pantai	Tanin	anggota ngrayong, formasi tuban
Qr	aluvium sungai	Tanr	formasi tuban
Qc	koluvium	Tonka	anggota batu lanau, formasi kujung
Qi	batu gamping	Tomp	batu gamping prupuh anggota formasi kujung
Qok	formasi kabuh	Tonko	anggota batu lempung, formasi kujung
Tpp	formasi paciran	Tonkn	anggota napal, formasi kujung

Gambar 2.7 Peta Geologi Lembar Tuban

2.9 Integrasi Al-Qur'an

Intrusi air laut merupakan peristiwa masuknya air laut ke daratan dan menyebabkan pencemaran air tanah. Pada kondisi normal, air laut tidak dapat masuk ke daratan karena air tanah memiliki *piezometric* yang berfungsi untuk menekan air laut yang masuk ke daratan. Jadi, pada kondisi seimbang air laut tidak dapat bercampur dengan air tanah.

Fenomena intrusi air laut yang menunjukkan bahwa air laut dan air tawar tidak dapat bersatu telah dijelaskan oleh Allah SWT dalam surat Al-Furqon ayat 53 sebagai berikut:

وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذَبَ فُرَاتٌ وَهَذَا مَلْحٌ أجاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا

“Dan Dialah yang membiarkan dua laut yang mengalir (berdampingan); yang ini tawar lagi segar dan yang lain asin lagi pahit; dan Dia jadikan diantara keduanya dinding dan batas yang menghalangi”

Raghib al-Isfahani (1987) memaknai kata *bahr* sebagai semua tempat yang luas yang mencakup air yang banyak. Setiap sesuatu yang luas bisa dikatakan *bahr*. Sebagian ahli bahasa mengatakan bahwa pengertian asal kata *bahr* adalah hanya bagi air asin bukan air tawar. Kata *bahr* bisa juga dikatakan untuk air tawar karena ia bertemu bersamaan dengan air asin sebagaimana dikatakan bagi kata *as-shams* dan *al-qamar* pada kata *al-qamaran* (matahari dan rembulan).

Sedangkan menurut Ibn Manzur, jelas dikatakan bahwa kata *bahr* adalah air yang banyak, baik yang asin maupun yang tawar. Lawan dari kata *barr* (daratan). Dikatakan *bahr* karena luasnya air tersebut. Ada pula yang mengatakan kata *bahr* sebagai ungkapan bagi orang yang luas pengetahuannya (Manzur, 1984).

Berdasarkan ayat di atas, telah dijelaskan bahwa air asin dan air tawar tidak dapat bersatu. Hal tersebut terlihat dari penggunaan kata “mengalir (berdampingan)”, dimana dalam konteks ini, berdampingan berarti tidak bergabung atau tidak bercampur. Kemudian pada kalimat “dan Dia jadikan diantara keduanya dinding dan batas yang menghalangi”. Hal ini menjelaskan bahwa Allah SWT telah menciptakan dinding pembatas agar air asin dan air tawar tidak bercampur.

Hal yang sama juga terjadi pada percampuran dua air laut. Allah SWT berfirman dalam surat Ar Rahman ayat 19-20 sebagai berikut:

مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ يَلْتَقِيَانِ ﴿١٩﴾ بَيْنَهُمَا بَرْزَخٌ لَا يَبْغِيَانِ

“Dia membiarkan dua lautan mengalir yang keduanya bertemu, antara keduanya ada batas yang tidak dilampaui masing-masing”

M. Quraish Shihab (2002), dalam tafsirnya menyebutkan bahwa *al-bahrayn* dalam surat Ar-Rahman sesuai dengan surat Al-Furqan ayat 53 yang menyifati kedua laut itu. Menurutnya, makna *al-bahrayn* tersebut telah sesuai dengan kesepakatan para ulama yaitu sungai yang tawar lagi segar dan laut yang asin lagi pahit. Sehingga dengan demikian sebagian besar ulama berpendapat bahwa *al-bahrayn* yang dimaksud adalah sungai dan laut, bukan kedua-duanya laut (Shihab, 2013).

Yusuf al-Qardawi, seorang ulama kontemporer mempunyai penafsiran yang berbeda. Menurutnya, penafsiran surat Al-Furqan ayat 53 dengan surat Ar-Rahman ayat 19-20 tidak tepat, sebab ruang lingkupnya berbeda. Dalam surat Al-Furqan disebutkan kalimat *“laut yang tawar lagi segar”* dan *“laut yang asin lagi pahit”*. Sedangkan dalam surat Ar-Rahman ayat 19-20 membahas tentang dua laut dari satu jenis, yaitu lautan yang asin (Al-Qardawi, 2008).

Sifat lautan yang saling bertemu tetapi tidak saling bercampur telah ditemukan oleh ahli kelautan baru-baru ini. Suatu penelitian pada abad ke-20 menemukan gelombang yang besar, arus yang kuat, dan air pasang terjadi di laut Tengah (lautan Mediterania) dan lautan Atlantik. Air laut Mediterania memasuki lautan Atlantik melalui Gilbartar. Tetapi 2 lautan tersebut hanya bertemu dan tidak saling bercampur (Mulyono, 2006).

Peristiwa tidak bercampurnya 2 air laut yang saling bertemu disebabkan oleh beberapa hal. Pertama karena tegangan permukaan. Akibat adanya perbedaan massa jenis, tegangan permukaan mencegah lautan bercampur satu sama lain,

seolah-seolah terdapat dinding atau selaput tipis yang memisahkan keduanya. Selain tegangan permukaan, hal lain yang menyebabkan 2 lautan tidak dapat bercampur adalah karena perbedaan sifat fisik seperti suhu, salinitas atau kadar garam, dan kerapatan ion-ion yang terkandung di dalam air laut (Mulyono, 2006).



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan September 2019 – Agustus 2020. Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan survey pendahuluan untuk melihat kondisi lapangan di tempat penelitian dan juga mengambil beberapa sampel air sumur untuk diuji kualitasnya. Setelah berkoordinasi dengan dosen pembimbing serta laboran, tanggal 16 – 17 Februari 2020 dilakukan proses pengambilan data. Tempat pengambilan data terletak di Desa Margosuko, Kecamatan Bancar, Kabupaten Tuban Jawa Timur. Data yang didapatkan selanjutnya diolah menggunakan beberapa *software*. Pengolahan data hasil penelitian dilaksanakan di laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Setelah proses pengolahan data, selanjutnya dilakukan proses interpretasi dengan didasarkan kepada peta geologi Lembar Tuban dan beberapa literatur terkait.

3.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan saat pengambilan dan pengolahan data di lapangan yaitu:

1. Resistivitymeter merk OYO McOHM
2. Elektroda
3. Kabel Rol
4. Capit Buaya
5. GPS (*Global Positioning System*)

6. Palu
7. Kabel Rol Arus dan Potensial
8. Aki
9. Alat Tulis
10. Peta Geologi Lembar Tuban
11. Meteran
12. Laptop
13. *Software* Ms. Excel, Ms. Word, Res2dinv, dan Blender 2.8a

3.3 Desain Akuisisi Data

Akuisisi data geolistrik di lapangan terdiri dari 4 lintasan dengan daerah penelitian seluas 23.200 m² dan terletak di sepanjang bibir pantai sampai pada jalan raya. Desain akuisisi data dibuat sejajar. Dengan desain lintasan sejajar diharapkan mampu mengetahui sebaran intrusi air laut di area penelitian dengan sangat baik. Rincian lintasan penelitian akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Line 1 dengan panjang 100 m. Diukur dari koordinat 6°47'41.24"S 111°48'27.86"E - 6°47'38.08"S 111°48'29.05"E
2. Line 2 dengan panjang 100 m. Diukur dari koordinat 6°47'39.62"S 111°48'26.14"E - 6°47'36.96"S 111°48'27.65"E
3. Line 3 dengan panjang 100 m. Diukur dari koordinat 6°47'39.41"S 111°48'23.76"E - 6°47'36.13"S 111°48'25.27"E
4. Line 4 dengan panjang 100 m. Diukur dari koordinat 6°47'37.79"S 111°48'21.53"E - 6°47'36.60"S 111°48'23.87"E



Gambar 3.1 (a) Peta Kabupaten Tuban dan (b) Desain Akuisisi Data

3.4 Prosedur Pengambilan Data Geolistrik

Prosedur pengambilan data geolistrik pada penelitian ini yaitu pertama melakukan survei pendahuluan dan pengkajian referensi pendukung penelitian yang meliputi geologi daerah penelitian, topografi, dan metode yang akan digunakan. Setelah itu dibuat lintasan untuk pengambilan data dengan mencatat

setiap koordinat lintasan yang akan diukur. Jika lintasan telah siap, selanjutnya dilakukan pengambilan data.

Proses pengambilan data di lapangan menggunakan alat geolistrik resistivitas. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi Wenner Alpha. Metode pengambilan data di lapangan dijelaskan sebagai berikut:

1. Membentangkan meteran sepanjang lintasan dengan mengacu pada koordinat-koordinat yang ditentukan.
2. Memasang elektroda pada titik-titik pengukuran dengan spasi antar elektroda adalah 5 meter.
3. Menghubungkan setiap elektroda dengan resistivitymeter menggunakan kabel penghubung.
4. Menginjeksikan arus melalui elektroda arus.
5. Mencatat data yang diperoleh yang berupa arus (I), beda potensial (ΔV) dan perhitungan resistivitas semu (ρ_a).

3.5 Proses Pengolahan Data

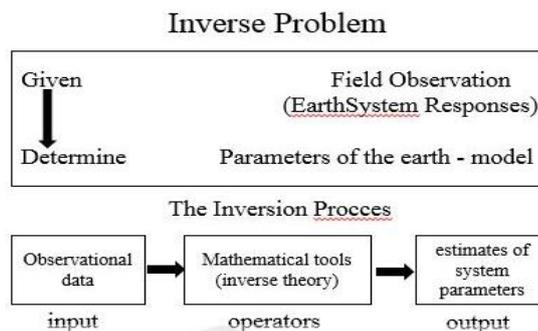
Data geolistrik yang telah didapatkan di lapangan dicatat dalam perangkat lunak *Ms. Excel* dan diolah dengan aplikasi *Res2Dinv*. *Res2Dinv* adalah program komputer yang secara otomatis menghasilkan model 2 Dimensi bawah permukaan dari data survey geolistrik. Input dari program ini adalah resistivitas semu yang didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.13. format data yang diinput berbentuk format teks (*.txt) atau data (*.dat). data yang diinput kemudian diinversikan oleh *software Res2Dinv* dan akan menghasilkan nilai resistivitas sebenarnya dan data struktur bawah permukaan dalam bentuk kontur citra warna

2D yang selanjutnya akan dicocokkan dengan data topografi yang ada di lapangan. Pengolahan data dengan *software* Res2Dinv dilakukan hingga nilai eror sekecil mungkin (kurang dari 10%). Nilai eror yang semakin kecil menunjukkan bahwa hasil pengolahan data semakin mendekati kondisi lapangan yang sebenarnya.

Selanjutnya, data 2D hasil inversi menggunakan *software* Res2Dinv dimasukkan ke dalam *software* Blender untuk mendapatkan rekonstruksi 3D. rekonstruksi 3D berfungsi untuk melihat hubungan antar lintasan dan juga melihat distribusi nilai resistivitas pada area penelitian.

Secara umum, interpretasi dari beberapa data geofisika (misalnya data resistivitas) melibatkan perbandingan dengan kurva master teoritis. Kurva ini dihitung dengan menggunakan metode matematika tertentu yang diasumsikan pada properti fisik bawah permukaan. Kurva ini merupakan respon teoritis dari struktur bawah permukaan yang ideal. Prosedurnya sederhana, diberikan beberapa informasi tentang nilai-nilai dari parameter (misalnya jumlah lapisan, resistivitas, dan ketebalan) untuk menduga model bawah permukaan. Metode matematika digunakan untuk memperoleh nilai-nilai dari sejumlah kuantitas yang dapat diukur (misalnya resistivitas dan fase yang sebenarnya) (Meju, 1994).

Dalam pendekatan inversi, struktur bumi (atau informasi lainnya) didapat secara langsung dari data lapangan. Prosedur invers digambarkan sebagai berikut (Meju,1994) :



Gambar 3.2 Prosedur Invers

Diberikan informasi dari beberapa kuantitas yang akan diukur (data lapangan atau eksperimen). Setelah itu digunakan hubungan teoritis untuk memperoleh nilai parameter yang dapat menjelaskan tentang data dari lapangan (Meju, 1994).

Matriks inversi dari suatu matriks A adalah matriks B yang bisa dikalikan dengan matriks A dan memberikan hasil matriks satuan I , yaitu (Mudjiarto, 1995):

$$AB = I \quad (3.1)$$

Selanjutnya, notasi matriks invers A dinyatakan dengan A^{-1} . Terdapat 2 metode untuk mencari matriks invers, yaitu (Mudjiarto, 1995):

1. Metode Perkalian Matriks

Sebuah matriks yang dikalikan dengan matriks inversnya akan menghasilkan matriks satuan.

$$A A^{-1} = I \quad (3.2)$$

2. Metode Matriks Kofaktor

Matriks invers dapat dicari menggunakan metode matriks kofaktor dengan persamaan (Mudjiarto, 1995):

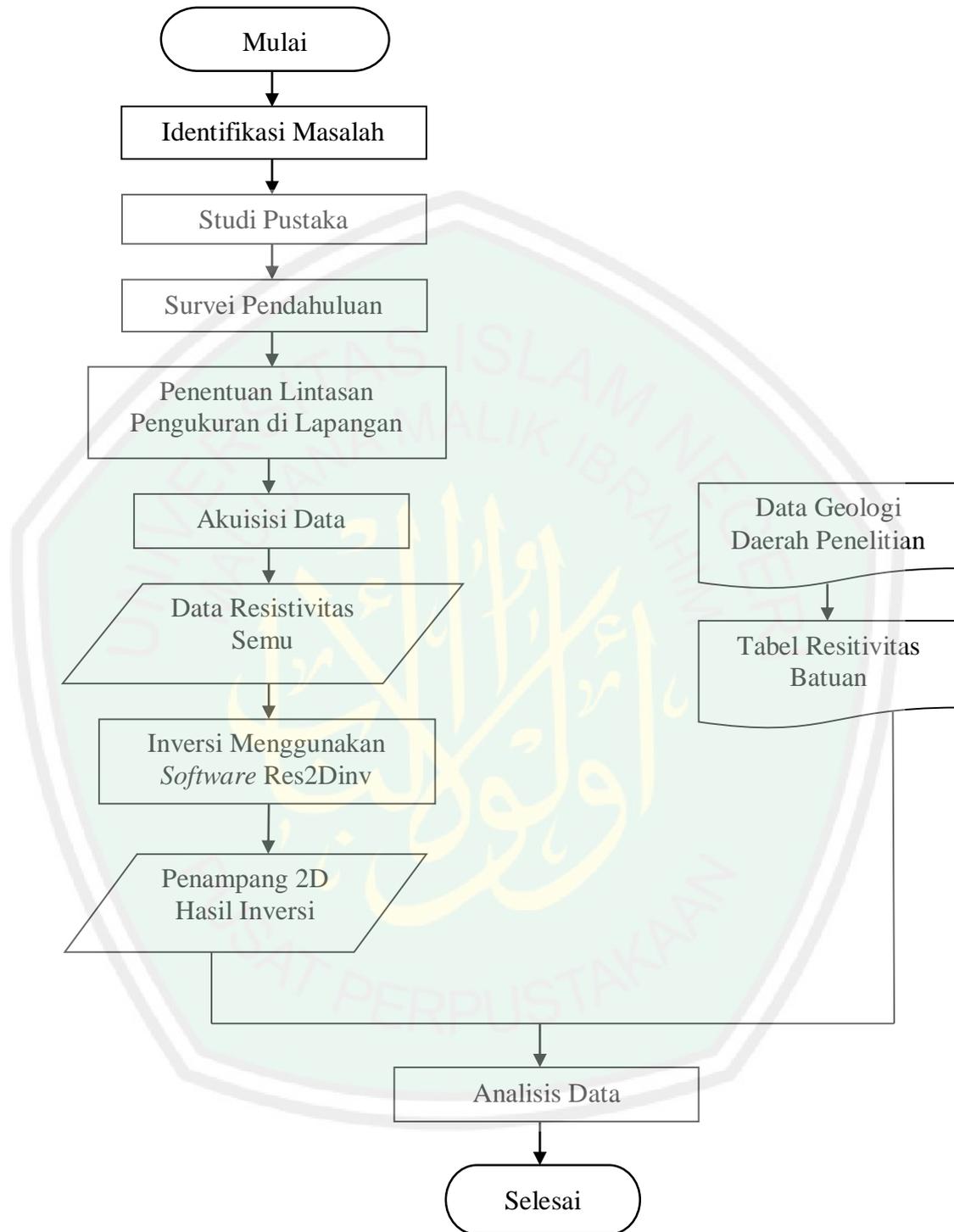
$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} K^T \quad (3.3)$$

3.6 Proses Interpretasi Data

Output dari pengolahan data dengan *software* Res2Dinv berupa penampang horizontal dan citra warna. Penampang tersebut kemudian diinterpretasi dengan berdasarkan kepada nilai resistivitas batuan yang dihasilkan. Perbedaan citra warna menunjukkan adanya perbedaan nilai resistivitas. Hasil interpretasi selanjutnya dianalisis untuk mengetahui sebaran intrusi air laut dan material penyusun bawah permukaan daerah penelitian dengan cara membandingkan nilai resistivitas hasil penelitian dengan tabel resistivitas dan data singkapan atau bor, dan lain-lain.



3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Intrusi air laut merupakan peristiwa masuk atau menyusupnya air laut ke dalam pori-pori batuan dan mencemari air tanah yang terkandung di dalamnya. Dengan kata lain, merupakan proses terdesaknya air tanah oleh air asin atau air laut di dalam akuifer pada daerah pantai.

Metode geofisika yang tepat digunakan untuk mengidentifikasi masalah intrusi air laut adalah metode geolistrik resistivitas. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil 4 line dengan panjang setiap line adalah 100 m.

Konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah konfigurasi Wenner Alpha dengan posisi elektroda arus (C) dan elektroda potensial (P) berurutan C1 P1 P2 C2. Data diambil dengan spasi elektroda (a) 5 m yang berubah sesuai dengan banyaknya pengulangan (n). Besarnya spasi elektroda adalah sebagai berikut; $n_1 = a$, $n_2 = 2a$, $n_3 = 3a$, $n_4 = 4a$, dan $n_5 = 5a$.

4.1 Akuisisi Data

Akuisisi data di lapangan dilakukan pada 4 lintasan. Panjang masing-masing lintasan adalah 100 m. Pengambilan data di lapangan dilakukan dengan menggunakan alat geolistrik *resistivity* merk OYO McOhm. Pengambilan data real di lapangan berupa titik koordinat, datum point, spasi elektroda (a), arus injeksi (I), dan resistansi (R).

Pengukuran koordinat posisi dilakukan pada titik-titik pengambilan data pada setiap lintasan dengan menggunakan GPS Garmin. Posisi titik koordinat setiap lintasan adalah sebagai berikut:

1. lintasan 1 membentang dari arah selatan ke utara. *Datum point* pertama terletak pada koordinat $6^{\circ}47'41.24''\text{S}$ $111^{\circ}48'27.86''\text{E}$. *Datum point* terakhir terletak pada koordinat $6^{\circ}47'38.08''\text{S}$ $111^{\circ}48'29.05''\text{E}$.
2. lintasan 2 membentang dari arah selatan ke utara. *Datum point* pertama terletak pada koordinat $6^{\circ}47'39.62''\text{S}$ $111^{\circ}48'26.14''\text{E}$. *Datum point* terakhir terletak pada koordinat $6^{\circ}47'36.96''\text{S}$ $111^{\circ}48'27.65''\text{E}$.
3. lintasan 3 membentang dari arah selatan ke utara. *Datum point* pertama terletak pada koordinat $6^{\circ}47'39.41''\text{S}$ $111^{\circ}48'23.76''\text{E}$. *Datum point* terakhir terletak pada koordinat $6^{\circ}47'36.13''\text{S}$ $111^{\circ}48'25.27''\text{E}$.
4. lintasan 4 membentang dari arah selatan ke utara. *Datum point* pertama terletak pada koordinat $6^{\circ}47'37.79''\text{S}$ $111^{\circ}48'21.53''\text{E}$. *Datum point* terakhir terletak pada koordinat $6^{\circ}47'36.60''\text{S}$ $111^{\circ}48'23.87''\text{E}$.

Selain menggunakan resistivitymeter, ada pula alat-alat lain seperti elektroda yang berfungsi sebagai elektroda arus dan elektroda potensial, aki yang berfungsi sebagai sumber arus untuk resistivitymeter, dan GPS Garmin yang digunakan untuk mengukur koordinat dan ketinggian setiap titik pengukuran.

4.2 Pengolahan Data

Data real yang didapatkan di lapangan berupa titik koordinat, datum point, spasi elektroda (a), arus injeksi (I), dan resistansi (R). Data ini kemudian dipindahkan ke tabel Ms. Excel untuk mencari nilai resistivitas semu. Selanjutnya, data dipindahkan lagi ke notepad dan disimpan dalam bentuk format .DAT. format data inilah yang kemudian menjadi input dari *software* Res2Dinv.

Pengolahan data selanjutnya dilakukan menggunakan *software* Res2Dinv. Output dari *software* ini adalah penampang bawah permukaan yang memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda. Inversi dengan menggunakan *software* Res2Dinv ini menghasilkan 3 model penampang bawah permukaan yaitu perhitungan data lapangan (*measured apparent resistivity pseudosection*), model yang dibuatkan oleh *software* (*calculated apparent resistivity pseudosection*), dan hasil inversi data (*inverse model resistivity section*). Pada hasil inversi data (*inverse model resistivity section*) terdapat nilai RMS *error*. Semakin kecil nilai RMS *error* maka model penampang bawah permukaan semakin sesuai dengan kondisi bawah permukaan yang sebenarnya. Nilai RMS *error* dapat diperkecil dengan memperbanyak jumlah iterasi data dan juga dengan memanfaatkan menu *exterminate bad datum point*. Menu ini berfungsi untuk menghilangkan *datum point* yang memiliki nilai yang kurang bagus.

4.3 Interpretasi Data

Secara administratif, Desa Margosuko termasuk wilayah dalam Kecamatan Bancar, Kabupaten Tuban. Daerah Tuban terletak di dalam Lajur Rembang. Lajur ini pada umumnya merupakan endapan paparan yang kaya akan batuan karbonat dan jarang dijumpai endapan piroklastik. Berdasarkan peta geologi lembar Tuban, Desa Margosuko terdiri dari aluvium pantai yang mana tersusun atas lempung, lanau, pasir, dan kerikil.

Setiap batuan memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda. Nilai resistivitas menunjukkan kemampuan batuan tersebut dalam menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas, maka batuan tersebut akan semakin sulit dalam

menghantarkan arus listrik (Taib, 2000). Berikut ini adalah nilai resistivitas batuan yang terdapat di area penelitian:

Tabel 4.1 Tabel Nilai Resistivitas Batuan pada Area Penelitian (Telford, 1976 dalam Wijaya, 2015)

No	Jenis Batuan	Nilai (Ωm)
1	Lempung	1 – 100
2	Lanau	3 – 15
3	Pasir	1 – 1000
4	Kerikil	100 – 600
5	Alluvium	10 – 800

Pada penelitian ini, data terukur mulai dari kedalaman 1,25 m di bawah permukaan tanah. Hal ini sesuai dengan spasi elektroda yang digunakan dalam penelitian. Semakin panjang spasi elektroda yang digunakan, maka kedalaman yang didapatkan akan semakin besar.

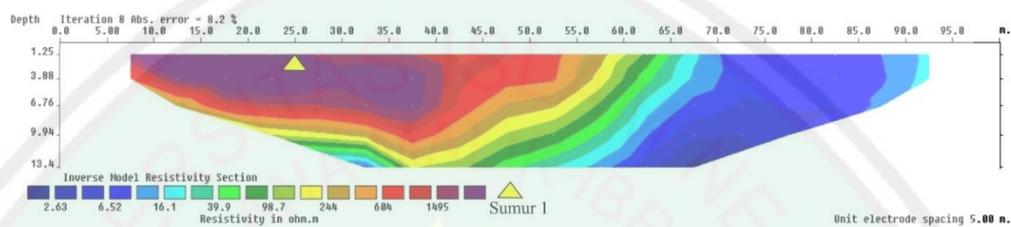
4.3.1 Hasil Inversi 2D Lintasan 1

a. Interpretasi Kuantitatif

Hasil dari pengolahan data resistivitas dengan menggunakan *software* Res2Dinv akan diinterpretasi berdasarkan distribusi resistivitasnya. Dalam pengolahan data geolistrik, nilai *error* maksimal yang diperbolehkan adalah kurang dari 10%. Karena semakin kecil nilai *error* dalam pengolahan data geolistrik, maka model penampang yang dihasilkan akan semakin sesuai dengan penampang bawah permukaan yang sebenarnya.

Panjang lintasan 1 adalah 100 m yang membentang dari selatan ke utara, sampai mendekati bibir pantai. Dengan batas koordinat $6^{\circ}47'41.24''\text{S}$ $111^{\circ}48'27.86''\text{E}$ sampai $6^{\circ}47'38.08''\text{S}$ $111^{\circ}48'29.05''\text{E}$. Data pada lintasan 1

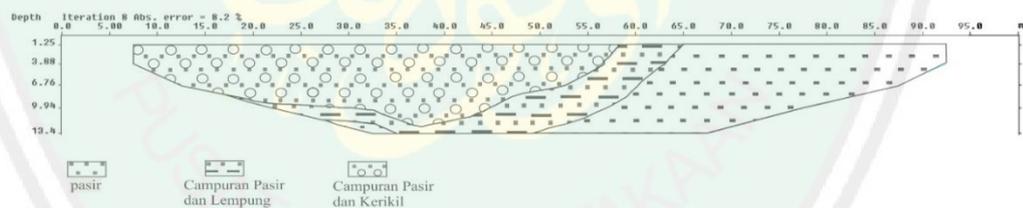
diolah dengan menggunakan 8 kali iterasi dan mendapatkan model penampang dengan nilai *error* sebesar 8,2%. Kedalaman model inversi data yang didapatkan adalah 13,4 m. lintasan 1 terletak di sebelah sumur warga (sumur 1), dengan koordinat sumur 1 yaitu $6^{\circ}47'40.50''S$ $111^{\circ}48'28.8''E$. Kedalaman muka air tanah pada sumur 1 yaitu sekitar 4 m. dibawah ini merupakan hasil inversi 2D lintasan 1:



Gambar 4.1 Penampang 2D Hasil Inversi Lintasan 1

b. Interpretasi Kualitatif

Model geologi berdasarkan model 2D hasil inversi lintasan 1 adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 Model Geologi Lintasan 1

Hasil interpretasi lapisan bawah permukaan berdasarkan model 2D hasil inversi oleh *software* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Interpretasi Struktur Bawah Permukaan pada Lintasan 1
(Sumber Acuan: Data Geologi Lembar Tuban, 1997 dan Telford, 1990)

Nilai (Ωm)	Litologi	Intrusi
2.63 – 39.9	Pasir	Tinggi
39.9 - 244	Campuran pasir dan lempung	Sedang
244 - 1495	Campuran pasir dan kerikil	Rendah - tidak ada

Berdasarkan gambar 4.1, dapat diduga bahwa telah terjadi penyusupan air laut pada bagian berwarna biru tua sampai biru muda. Penyusupan ini terjadi karena formasi batuan penyusun sebagian besar berupa pasir dengan nilai resistivitas yang rendah, yaitu antara 2.63 – 39.9 Ωm . Formasi batuan ini merupakan formasi batuan yang dapat dilalui oleh air laut dengan tingkat penyusupan yang tinggi.

Bagian berwarna hijau sampai kuning diperkirakan merupakan lapisan pembatas yaitu lempung. Pada lintasan 1, lempung mempunyai resistivitas antara 39.9 – 244 Ωm . Lapisan lempung merupakan lapisan impermeabel. Tetapi pada lintasan 1, lapisan ini bukan murni lempung, melainkan campuran antara pasir dengan lempung. Hal inilah yang menyebabkan pada lapisan berwarna hijau – kuning masih terjadi intrusi air laut dengan tingkat sedang.

Selanjutnya, pada bagian berwarna coklat sampai ungu diperkirakan sudah tidak ada lagi penyusupan air laut. Hal ini karena adanya batas berupa lempung yang pada lintasan 1 digambarkan dengan warna hijau - kuning. Selain itu, nilai resistivitas pada bagian ini relatif tinggi yaitu antara 244 – 1495 Ωm . Batuan dengan nilai resistivitas yang relatif tinggi tersebut diperkirakan sebagai batuan kerikil yang tercampur dengan pasir. Dengan formasi batuan seperti ini,

diperkirakan sudah tidak ada lagi penyusupan air laut. Atau jika ada, penyusupan air laut terjadi pada tingkat sangat rendah.

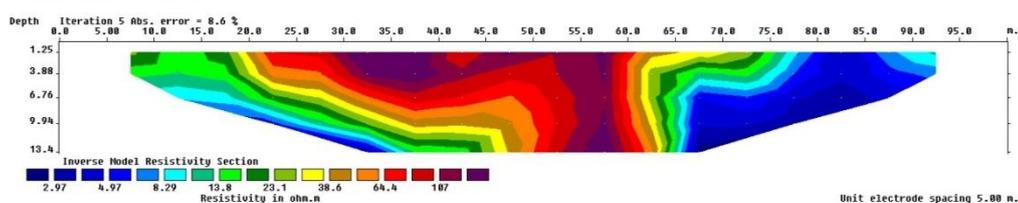
Bukti pendukung lainnya yang memperkuat dugaan bahwa sudah tidak ada lagi penyusupan air laut pada lintasan 1 adalah adanya sumur warga yang tidak lagi mengandung air asin. Sumur ini mempunyai kedalaman antara 4 – 6 m dan terletak pada jarak 25 m dari titik acuan (elektroda pertama). Dari hasil pengujian, didapatkan daya hantar listrik untuk air pada sumur 1 sebesar 1643 μS dan dapat diklasifikasikan sebagai jenis air tawar (Nisa, 2012).

4.3.2 Hasil inversi 2D lintasan 2

a. Interpretasi Kuantitatif

Lintasan 2 memiliki panjang 100 m yang membentang dari selatan ke utara, sampai mendekati bibir pantai. Dengan batas koordinat $6^{\circ}47'39.62''\text{S}111^{\circ}48'26.14''\text{E}$ sampai $6^{\circ}47'36.96''\text{S}111^{\circ}48'27.65''\text{E}$. Data pada lintasan 2 diolah dengan menggunakan 5 kali iterasi dan mendapatkan model penampang dengan nilai *error* sebesar 8,6%. Semakin banyak iterasi mengakibatkan nilai RMS *error*nya akan semakin kecil. Semakin kecil nilai RMS *error*, maka model penampang yang dihasilkan akan semakin sesuai dengan penampang bawah permukaan yang sesungguhnya. Kedalaman model inversi data yang didapatkan adalah 13,4 m. di bawah ini merupakan hasil inversi

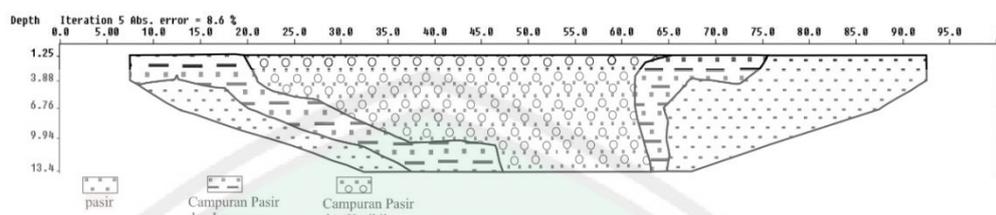
2D lintasan 2:



Gambar 4.3 Penampang 2D Hasil Inversi Lintasan 2

b. Interpretasi Kualitatif

Model geologi berdasarkan model 2D hasil inversi lintasan 2 adalah sebagai berikut:



Gambar 4.4 Model Geologi Lintasan 2

Hasil interpretasi lapisan bawah permukaan berdasarkan model 2D hasil inversi oleh *software* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil Interpretasi Struktur Bawah Permukaan pada Lintasan 2 (Sumber Acuan: Data Geologi Lembar Tuban, 1997 dan Telford, 1990)

Nilai (Ωm)	Litologi	Intrusi
2.97 – 13.8	Pasir	tinggi
13.8 – 38.6	Campuran pasir dan lempung	Sedang
38.6 - 107	Campuran Pasir dan kerikil	rendah

Berdasarkan gambar 4.3, dapat diduga bahwa telah terjadi penyusupan air laut mulai pada bagian yang berwarna biru tua sampai biru muda dengan nilai resistivitas rendah yaitu antara 2.97 – 13.8 Ωm . Material dengan nilai resistivitas rendah tersebut bukan murni air asin, tetapi diduga sebagai material pasir yang telah terintrusi air laut.

Bagian yang berwarna hijau - kuning diperkirakan sebagai campuran pasir dan lempung, dengan formasi pasir yang lebih mendominasi. Hal ini dapat

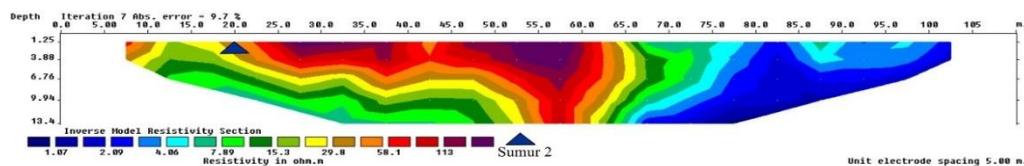
dilihat dari nilai resistivitas yang relatif masih rendah, yaitu antara 13.8 – 38.6 Ω m. Dengan nilai resistivitas yang relatif rendah, diduga masih terjadi intrusi air laut dengan tingkat penyusupan yang sedang pada bagian ini. Selanjutnya bagian berwarna coklat sampai warna merah sebagian besar tersusun atas campuran pasir dan kerikil dengan nilai resistivitas yang relatif tinggi yaitu antara 38.6 – 107 Ω m. Dengan formasi batuan seperti ini, pada bagian berwarna coklat sampai merah diperkirakan sudah tidak ada lagi penyusupan air laut. Atau jika ada, penyusupan air laut terjadi pada tingkat rendah.

4.3.3 Hasil inversi 2D lintasan 3

a. Interpretasi Kuantitatif

Lintasan 3 terletak di sebelah lintasan 2 dengan jarak dari lintasan 2 sepanjang kurang lebih 67 m. Posisi lintasan 3 sejajar dengan lintasan 1 dan lintasan 2. Panjang lintasan 3 adalah 100 m yang membentang dari selatan ke utara sampai mendekati bibir pantai. Dengan batas koordinat $6^{\circ}47'39.41''S$ $111^{\circ}48'23.76''E$ sampai $6^{\circ}47'36.13''S$ $111^{\circ}48'25.27''E$. Data pada lintasan 3 diolah dengan menggunakan 7 kali iterasi dan mendapatkan model penampang dengan nilai *error* sebesar 9,7%. Kedalaman model inversi data yang didapatkan adalah 13,4 m. lintasan 3 terletak di sebelah sumur warga (sumur 2), dengan koordinat sumur 2 yaitu $6^{\circ}47'38.70''S$ $111^{\circ}48'23.8''E$. Kedalaman muka air tanah pada sumur 2 yaitu sekitar 4 – 6 m. Dibawah ini merupakan hasil inversi

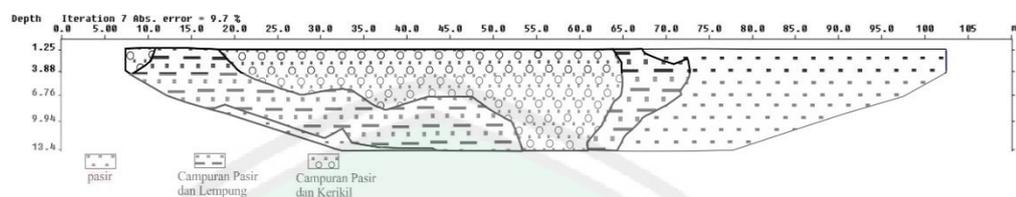
2D lintasan 3:



Gambar 4.5 Penampang 2D Hasil Inversi Lintasan 3

b. Interpretasi Kualitatif

Model geologi berdasarkan model 2D hasil inversi lintasan 3 adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6 Model Geologi Lintasan 3

Hasil interpretasi lapisan bawah permukaan berdasarkan model 2D hasil inversi oleh *software* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Hasil Interpretasi Struktur Bawah Permukaan pada Lintasan 3 (Sumber Acuan: Data Geologi Lembar Tuban, 1997 dan Telford, 1990)

Nilai (Ωm)	Litologi	Intrusi
1.07 – 7.89	Pasir	tinggi
7.89 – 29.8	Campuran pasir dan lempung	Sedang
29.8 – 113	Campuran Pasir dan kerikil	Rendah

Berdasarkan tabel resistivitas, air asin memiliki nilai resistivitas sebesar 0.2 Ωm . Pada lintasan 3, air asin diduga memiliki nilai resistivitas 1.07 – 7.89 Ωm yang digambarkan dengan warna biru tua sampai warna biru muda. Pada gambar 4.5, dapat diduga bahwa telah terjadi penyusupan air laut mulai pada bagian berwarna biru tua sampai warna biru muda dengan nilai resistivitas rendah yaitu antara 1.07 – 7.89 Ωm . Material dengan nilai resistivitas rendah tersebut bukan murni air asin, tetapi diperkirakan sebagai material pasir yang telah terintrusi air laut.

Bagian hijau - kuning diperkirakan terdiri dari campuran pasir dan lempung, dengan formasi pasir yang lebih mendominasi. Hal ini dapat dilihat dari nilai resistivitas yang relatif masih rendah, yaitu antara $7.89 - 29.8 \Omega m$. Dengan nilai resistivitas yang relatif rendah, diduga masih terjadi intrusi air laut dengan tingkat penyusupan yang sedang pada bagian ini. Selanjutnya, pada bagian berwarna coklat sampai warna merah sebagian besar tersusun atas campuran pasir dan kerikil dengan nilai resistivitas yang relatif tinggi yaitu antara $29.8 - 113 \Omega m$. Dengan formasi batuan seperti ini, pada bagian berwarna coklat sampai warna merah diperkirakan masih ada penyusupan air laut dengan tingkat penyusupan yang rendah.

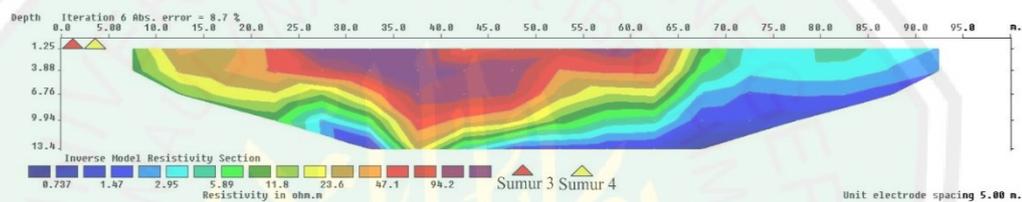
Bukti pendukung lainnya yang memperkuat dugaan bahwa telah terjadi penyusupan air laut di lintasan 3 adalah adanya sumur warga yang mengandung air asin (sumur 2). Sumur ini mempunyai kedalaman antara $4 - 6 m$ dan terletak pada jarak $20 m$ dari titik acuan (elektroda pertama). Dari hasil pengujian, didapatkan daya hantar listrik untuk air pada sumur 2 sebesar $5270 \mu S$. Maka air pada sumur 2 dapat diklasifikasikan sebagai jenis air payau (Nisa, 2012).

4.3.4 Hasil inversi 2D lintasan 4

a. Interpretasi Kuantitatif

Lintasan 4 memiliki panjang $100 m$ yang membentang dari selatan ke utara, sampai mendekati bibir pantai. Dengan batas koordinat $6^{\circ}47'37.79''S$ $111^{\circ}48'21.53''E$ sampai $6^{\circ}47'36.60''S$ $111^{\circ}48'23.87''E$. Data pada lintasan 4 diolah dengan menggunakan 6 kali iterasi dan mendapatkan model penampang dengan nilai error sebesar $8,7\%$. Semakin banyak iterasi mengakibatkan nilai

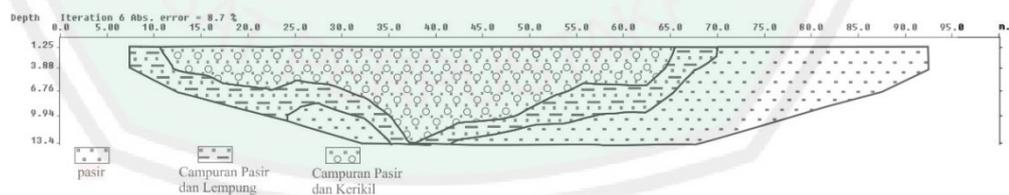
RMS *error*nya akan semakin kecil. Semakin kecil nilai RMS *error*, maka model penampang yang dihasilkan akan semakin sesuai dengan penampang bawah permukaan yang sesungguhnya. Kedalaman model inversi data yang didapatkan adalah 13,4 m. lintasan 4 terletak diantara 2 sumur warga yaitu sumur 3 dan sumur 4, dengan koordinat sumur 3 yaitu $6^{\circ}47'38.30''S$ $111^{\circ}48'21.50''E$ dan koordinat sumur 4 yaitu $6^{\circ}47'37.90''S$ $111^{\circ}20'40.8''E$. Kedalaman muka air tanah pada sumur 3 dan sumur 4 yaitu sekitar 4 – 6 m. Di bawah ini merupakan hasil inversi2D lintasan 4:



Gambar 4.7 Penampang 2D Hasil Inversi Lintasan 4

b. Interpretasi Kualitatif

Model geologi berdasarkan model2D hasil inversi lintasan 4 adalah sebagai berikut:



Gambar 4.8 Model Geologi Lintasan 4

Hasil interpretasi lapisan bawah permukaan berdasarkan model 2D hasil inversi oleh *software* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Interpretasi Struktur Bawah Permukaan pada Lintasan 4 (Sumber Acuan: Data Geologi Lembar Tuban, 1997 dan Telford, 1990)

Nilai (Ohm)	Litologi	Intrusi
0.737 – 5.89	Pasir	Tinggi
5.89 – 23.6	Campuran pasir dan lempung	Sedang
23.6 – 94.2	Campuran Pasir dan kerikil	Rendah

Berdasarkan tabel resistivitas, air asin memiliki nilai resistivitas sebesar 0,2 Ω m. Pada lintasan ini air asin diduga memiliki nilai resistivitas 0.737 – 5.89 Ω m yang digambarkan pada bagian berwarna biru tua sampai biru muda. Material tersebut bukan murni air asin, tetapi diduga sebagai material batu pasir yang telah terintrusi air laut.

Bagian berwarna hijau - kuning diperkirakan terdiri dari campuran pasir dan lempung, dengan formasi pasir yang lebih mendominasi. Hal ini dapat dilihat dari nilai resistivitas yang relatif masih rendah, yaitu antara 5.89 – 23.6 Ω m. Dengan tingkat resistivitas yang rendah, dapat dipastikan bahwa masih terjadi penyusupan air laut dengan intensitas yang sedang pada bagian berwarna hijau. Selanjutnya, bagian berwarna coklat sampai warna ungu sebagian besar tersusun atas campuran pasir dan kerikil dengan nilai resistivitas antara 15.1 – 115 Ω m. Dengan formasi batuan seperti ini, pada bagian tersebut diperkirakan masih ada penyusupan air laut dengan tingkat penyusupan rendah.

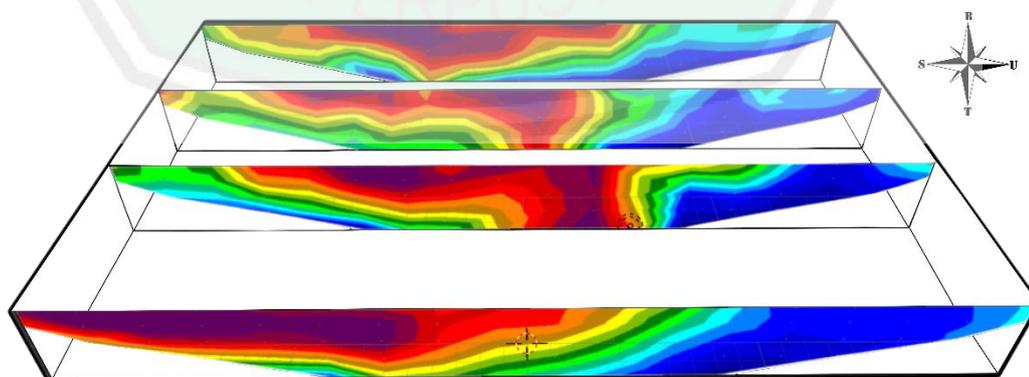
Bukti pendukung yang memperkuat dugaan bahwa telah terjadi penyusupan air laut di lintasan 4 adalah adanya sumur warga yang mengandung air asin (sumur 3 dan sumur 4). Sumur ini mempunyai kedalaman antara 4-6 m dan terletak pada jarak 0 m dan 3 m dari titik acuan (elektroda pertama). Dari hasil pengujian, didapatkan daya hantar listrik untuk air pada sumur 3 sebesar 5466

μS dan daya hantar listrik pada sumur 4 adalah $5418 \mu\text{S}$. Dengan nilai daya hantar listrik sebesar itu, maka air pada sumur 3 dan sumur 4 dapat diklasifikasikan sebagai jenis air payau (Nisa, 2012).

4.4 Rekontruksi 2D ke 3D

Rekontruksi 3D dilakukan dengan menggunakan *software* Blender 2.8a. Rekontruksi 3D bertujuan untuk melihat distribusi nilai resistivitas secara vertikal dan horizontal pada titik yang tidak termasuk dalam lintasan pengukuran. Dalam penelitian ini, Rekontruksi 3D berfungsi untuk melihat kesinambungan terkait dengan sebaran intrusi air laut pada setiap lintasan di area penelitian.

Data masuk *software* Blender berupa hasil inversi 2D pada *software* Res2Dinv. Hasil inversi 2D dimasukkan ke dalam *software* Blender kemudian diatur skala objeknya agar hasil rekontruksi 3D sesuai dengan skala objek di lapangan. Rekontruksi 3D pada *software* Blender ini adalah dengan menggabungkan 4 lintasan penelitian sehingga terlihat hubungan dan perbedaan dari keempat lintasan tersebut. Lintasan penelitian berada pada posisi sejajar dan luas area penelitian adalah 2320 m^2 dengan panjang 232 m dan lebar 100 m .



Gambar 4.9 Rekontruksi 3D Sebaran Resistivitas

Nilai resistivitas rendah terdeteksi pada bagian utara dan selatan area penelitian. Area bagian selatan diduga sebagai area sambungan dari zona resistivitas rendah yang berada di bagian utara. Area ini memiliki nilai resistivitas antara 0.737 – 16.1 Ωm . Selanjutnya, lapisan berwarna hijau – kuning diidentifikasi sebagai batuan dengan nilai resistivitas sedang. Nilai resistivitas batuan berkisar antara 5.89 – 98.7 Ωm . Batuan ini tersebar hampir di sepanjang lintasan penelitian mulai dari jarak 75 meter dari elektroda pertama. Nilai resistivitas tinggi terdeteksi pada bagian tengah sampai selatan area penelitian. Area ini memiliki nilai resistivitas antara 47.1 – 1495 Ωm . Zona dengan tingkat resistivitas tinggi terdeteksi mulai pada kedalaman 1.25 – 13.4 m.

Rekonstruksi 3D diatas memberikan gambaran interpretasi antara keempat lintasan yang saling berkesinambungan. Begitu juga dengan sebaran tingkat nilai resistivitas batuan. Keadaan ini diduga mampu mempresentasikan keadaan sesungguhnya serta sebaran zona intrusi air laut di lokasi penelitian.

4.5 Pembahasan

Berdasarkan rekonstruksi 3D, dapat dilihat pada bagian utara didominasi oleh warna biru, dimana warna ini merupakan interpretasi dari nilai resistivitas rendah yang pada penelitian diduga sebagai batuan pasir. Sebaran batu pasir juga terdapat pada bagian selatan area penelitian. Area ini diduga sebagai area sambungan dari batuan pasir area utara yang tidak terdeteksi ketika akuisisi data karena desain akuisi data hanya mampu menjangkau hingga kedalaman 13.4 m. Bagian berwarna hijau merupakan lapisan lempung yang tercampur dengan pasir. Lempung merupakan lapisan *impermeable*, artinya lapisan ini sulit untuk meloloskan air atau

kedap air. Selanjutnya, pada bagian berwarna merah merupakan lapisan dengan nilai resistivitas tinggi yang diinterpretasikan sebagai campuran batu kerikil dan pasir. Pada area ini, intrusi air laut terjadi pada tingkat rendah. Hal ini karena area campuran kerikil dan pasir dikelilingi oleh lempung sehingga air laut sulit masuk ke dalam area campuran pasir dan kerikil.

Berdasarkan nilai resistivitas, terdapat perbedaan antara lintasan 1 dengan lintasan lainnya. Lintasan 1 mempunyai nilai resistivitas yang relatif tinggi dibandingkan dengan lintasan 2, 3, maupun 4. Nilai resistivitas yang didapatkan pada lintasan 1 berkisar antara 2.63 – 1495 Ωm , sedangkan nilai resistivitas pada lintasan lainnya sebesar 0.737 – 113 Ωm . Hal ini tidak berarti terdapat perbedaan litologi antara lintasan 1 dengan yang lainnya. Perbedaan nilai resistivitas batuan yang jauh ini diduga karena area lintasan 1 dahulunya merupakan bekas urukan. Menurut penuturan warga sekitar, di area lintasan 1 dahulunya akan dibangun sebuah tambak. Hal ini dikuatkan dengan adanya pondasi yang mengelilingi area lintasan 1. Faktor inilah yang diduga menjadi penyebab tingginya nilai resistivitas batuan pada area lintasan 1. Batuan urukan diduga menekan batuan-batuan asal sehingga batuan asal menjadi lebih kompak dan porositas batuan mengecil. Hal ini menyebabkan tingginya nilai resistivitas pada lintasan 1.

Nilai resistivitas batuan dipengaruhi oleh porositas, kadar air, dan mineral. Porositas merupakan perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh batuan, sedangkan pori adalah ruang di dalam batuan yang selalu terisi oleh fluida seperti air tawar atau asin, udara, dan gas bumi. nilai porositas biasanya dinyatakan dalam persen (Gueguen, 1994).

Batuan berpori yang mengandung air mempunyai nilai hambatan jenis yang lebih rendah. nilai konduktivitas batuan berpori yang berisi air berasal dari nilai konduktivitas larutan elektrolit itu sendiri. Konduktivitas dan resistivitas batuan berpori bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air di dalam batuan bertambah banyak, dan sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air di dalam batuan berkurang. Nilai konduktivitas juga dipengaruhi oleh kandungan garam dalam cairan. Semakin banyak garam yang terlarut dalam cairan, maka nilai konduktivitasnya akan semakin tinggi dan nilai resistivitasnya akan semakin kecil (Barus, 2015). Itulah alasan mengapa nilai resistivitas rendah pada penelitian ini diduga sebagai zona yang terintrusi air laut.

Area penelitian termasuk ke dalam formasi aluvium pantai yang mana tersusun atas pasir, lempung, dan kerikil. Karena masih dalam satu formasi, hasil pengukuran antara satu lintasan dengan yang lainnya tidak jauh berbeda. Berdasarkan hasil interpretasi, sebagian besar area penelitian didominasi oleh batu pasir. Batu pasir merupakan salah satu dari batuan sedimen klastik yang mempunyai porositas cukup baik. Biasanya, batu pasir memiliki beberapa kenampakan fisik yang dapat dibedakan dari batuan jenis lainnya, yaitu struktur, tekstur, dan komposisi. Berdasarkan tekstur, batu pasir dapat diamati dari ukuran butir, bentuk butir (pembundaran dan pembulatan) dan sortasi. Batu pasir bersifat renggang (*loose*) tapi padat (*compact*), yang terdiri dari fragmen-fragmen yang menyatu dan mengeras dengan diameter berkisar antara 0.05 mm sampai 0.2 mm (Lange, 1991). Karena didominasi oleh batu pasir, intrusi air laut terjadi hampir diseluruh area penelitian dengan tingkatan yang berbeda. Intrusi air laut dengan

tingkatan yang tinggi terjadi pada batuan dengan nilai resistivitas rendah yaitu batu pasir yang tersebar pada bagian utara dan selatan area penelitian. Intrusi air laut dengan tingkat sedang terjadi pada lapisan lempung yang tercampur dengan pasir. Sedangkan intrusi air laut dengan tingkat rendah terjadi pada batuan dengan nilai resistivitas tinggi yang diinterpretasikan sebagai campuran pasir dan kerikil.

4.6 Kajian Al-Qur'an

Permasalahan yang sering terjadi di lingkungan pesisir pantai adalah keterbatasan air bersih. Umumnya, untuk memenuhi kebutuhan air bersih, masyarakat harus membeli air mineral dan hal itu tentunya akan menambah biaya pengeluaran rumah tangga. Sulitnya air bersih di daerah pesisir disebabkan karena tercemarnya air sumur oleh air laut yang menyebabkan air sumur menjadi payau bahkan asin. Peristiwa ini disebut dengan intrusi air laut.

Masalah intrusi air laut tidak banyak diperhatikan oleh masyarakat maupun pemerintah. Padahal, walaupun dampaknya tidak dirasakan secara langsung seperti halnya pencemaran udara dan suara, untuk jangka panjang intrusi air laut dapat menimbulkan kerugian yang besar baik dari segi lingkungan, kesehatan, maupun ekonomi. Intrusi air laut berdampak pada berbagai aspek kehidupan seperti gangguan kesehatan, penurunan kesuburan tanah, kerusakan bangunan, dan lain sebagainya (Widada, 2007).

Intrusi air laut terjadi karena ulah tangan manusia yang melakukan pemompaan air tanah secara berlebihan. Hal ini akan menyebabkan ketidakseimbangan antara air tanah dan air laut. Padahal, manusia diciptakan

oleh Allah SWT dengan tujuan agar dapat mengelola bumi beserta isinya. Hal ini telah dijelaskan di dalam Al-Qur'an surat Al-Baqarah ayat 30 yang berbunyi:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

“Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat “sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi”. Mereka berkata “mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan Engkau?” Tuhan berfirman “sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui”

kata “*Khalifah*” mempunyai arti menggantikan atau yang datang sesudah siapa yang datang sebelumnya (Shihab, 2007). Atas dasar ini, ada yang memahami kata khalifah dalam arti menggantikan Allah SWT dalam menegakkan kehendakNya dan menerapkan ketetapan-ketetapanNya. Hal ini bukan berarti Allah SWT tidak mampu atau menjadikan manusia berkedudukan sebagai Tuhan, namun lebih karena Allah SWT ingin menguji manusia dengan memberikan penghormatan.

Sedangkan kata khalifah pada ayat di atas diartikan dengan *Khalifallah*. Walaupun khalifah itu diartikan pengganti, tetapi *khalifallah* disini tidak bisa diartikan sebagai pengganti Allah SWT. Karena sesungguhnya tidak ada yang dapat menggantikan Allah SWT. Tentu maksud dari kata khalifah disini adalah orang yang mendapat perintah dari Allah SWT untuk menjadi pelaksana di muka bumi.

Manusia sebagai khalifah di bumi berkewajiban untuk menjaga dan melestarikan alam dan lingkungan. Menjaga dan melestarikan artinya merawat, memberdayakan, dan mencegah terjadinya kerusakan di bumi. Apabila manusia

tidak melaksanakan tugasnya sebagai khalifah, maka akan terjadi ketidakseimbangan. Contoh ketidakseimbangan adalah intrusi air laut. Intrusi air laut disebabkan karena kosongnya akuifer air tanah sehingga menyebabkan air laut masuk dan menyusup ke dalam akuifer. Kekosongan akuifer air tanah disebabkan karena pemompaan yang terlalu berlebihan. Selain pemompaan, berkurangnya kawasan konservasi lahan juga menjadi penyebab utama terjadinya keterbatasan air tanah.

Dalam Al-Qur'an, tugas khalifah biasa disebut dengan *Imaratul Ardh* (memakmurkan bumi) dan *Ibadatullah* (beribadah kepada Allah SWT). Allah menciptakan manusia untuk melakukan *imarah* di muka bumi dengan mengelola dan memeliharanya. Tugas kekhalifahan terhadap alam meliputi (Watsiqotul, 2018):

1. Membudayakan alam, yakni alam yang tersedia ini agar dibudayakan sehingga dapat menghasilkan karya yang bermanfaat bagi kemaslahatan umat.
2. Budaya atau hasil karya manusia harus disesuaikan dengan kondisi alam agar tidak mengakibatkan kerusakan yang nantinya akan menjadi bencana dan malapetaka bagi manusia maupun lingkungan itu sendiri.

Konsep khalifah yang telah dijabarkan di atas menunjukkan bahwa ajaran Islam mempunyai relevansi dan perhatian terhadap lingkungan hidup. Allah SWT telah menjadikan manusia sebagai khalifah di bumi, maka dari itu sudah seharusnya manusia menunaikan amanat yang telah diberikan oleh Allah SWT dengan cara

memakmurkan bumi dan tidak melakukan kerusakan-kerusakan yang nantinya akan merugikan manusia itu sendiri.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dari pemodelan bawah permukaan dengan *software* Res2Dinv dan data geologi lembar Tuban dapat disimpulkan bahwa:

1. Litologi bawah permukaan di daerah penelitian tersusun atas pasir, lempung, dan kerikil.
2. Intrusi air laut telah tersebar di lintasan 2, 3, dan 4. Pada lintasan 1, intrusi air laut terjadi sampai pada lapisan campuran pasir dan lempung. Banyaknya zona intrusi disebabkan karena litologi batuan penyusun area penelitian didominasi oleh batuan pasir. Intrusi air laut terjadi pada beberapa tingkatan, yaitu tinggi, sedang, dan rendah.

5.2 Saran

Intrusi air laut disebabkan karena kosongnya akuifer air tanah sehingga menyebabkan air laut masuk dan menyusup ke dalam akuifer. Kekosongan akuifer air tanah disebabkan –salah satunya- karena berkurangnya kawasan konservasi lahan. Maka dari itu, yang dapat dilakukan adalah menanam kembali pohon-pohon besar sebagai upaya perbaikan kawasan konservasi agar dapat meningkatkan cadangan air tanah di dalam akuifer.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, Siti Noor. 2016. *Kerusakan Lingkungan Menurut Tantawi Jauhari (Thesis)*. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Al-Isfahani, Raghib. 1987. *Al-Mufradat fi Gharib Al-Qu'an, juz 1*. Riyadh: Maktabah Nazar.
- Al-Qardawi, Yusuf. 2008. *Bagaimana Berinteraksi dengan Al-Qur'an*, ter. Kathur Suhardi. Jakarta: Pustaka al-Kautsar.
- Al-Qur'an dan terjemahnya. 2008. Departemen Agama RI. Bandung: Diponegoro.
- Asrifah, D. 2012. Evaluasi Potensi Air Tanah Bebas untuk Penyediaan Air di Kalasan dan Prambanan. *Jurnal Geografi Indonesia*. Vol. 27, Hal. 56-78.
- Barus, Agung Rehninta. 2015. *Identifikasi Sebaran Intrusi Air Aut di Desa Lambaro Neujid Kecamatan Peukan Bada Menggunakan Metode Resistivitas 2D (Skripsi)*. Banda Aceh: Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.
- Bouwer, H. 2001. *Groundwater Hydrology*. Int. Student Ed: McGraw Hill Kogakusha Ltd.
- Broto, S. dan Rohima. 2008. *Pengolahan Data Geolistrik dengan Metode Schumberger*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exploration Geophysics OfThe Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Florsch, Nicolas dan Frederic muhlach. 2018. *Everyday applied geophysics 1: electrical methods*. United States: ISTE Press and Elsevier.
- Gueguen, Y dan Palciauskaus. 1994. *Introduction to The Physics of Rocks*. New York: Princeton University Press.
- Hakim, Arif Rahman., Hairunisa., dan Nurjumiyati. 2017. Studi Akumulasi Rembesan Air Lindi dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Mapping. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*. Vol. 3, No. 2, ISSN: 2407-6902.
- Halliburton. 2001. *Basic Petroleum Geology and Log Analysis*.
- Harsono, adi. 2011. *Evaluasidan Formasi Aplikasi Log*. Jakarta: Schlumberger Oilfield Services.

- Haryanto, A. 2011. *Aplikasi Metode Resistivitas Menggunakan Geolistrik untuk Monitoring Intrusi Air Laut Skala Model*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Hendrajaya. 1990. *Metode Geofisika*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Hendrajaya, L. dan I. Arif. 1990. *Geolistrik Tahanan Jenis*. Bandung: Laboratorium Fisika Bumi ITB.
- Hendrayana, H. 2002. *Intrusi Air Asin ke dalam Akuifer di Daratan*. Yogyakarta: UGM.
- Hillel, D. 1971. *Soil and Water, Physical Principles and Processes*. New York: Academic Press.
- Joesidawati, Marita Ika. 2017. Indication of sea water intrusion as one of the impact of sea level rise (case study of tuban regency). *Jurnal Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan*. Vol 6 No. 1.
- Kodoatie, R. J. 1996. *Pengantar Hidrogeologi*. Yogyakarta: Andi.
- Koesoemadinata, R.P. 1978. *Geologi Minyak Bumi*. Bandung: ITB.
- Kunetz, G. 1996. *Principles of Direct Current Resistivity Prospecting*. Berlin-Nikolasee: Gebruder Borntraeger. Ltd.
- Jauhari, Tantawi. 1350. *Al-Jawahir fi Tafsir Al-Qur'an Al-Karim* juz 1. Mesir: Mustafa al-Bab al-Halabi.
- Judson, S. Kauffman, M.E. Leet, L.D. 1987. *Physical Geology Seventh Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Lange, O., M. Ivanova., N. Lebedeya. 1991. *Geologi Umum*. Jakarta: Gaya Media Pratama.
- Levorsen, A.I. 1954. *Geology Of Petroleum*. San Fransisco: W.H. Freeman & Company.
- Loke, M.H. 2004. *Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys*. Penang: Geotomo Software.
- Lowrie, William. 2007. *Fundamentals Of Geophysics*. USA: Cambridge University Press.
- Manzur, Ibn. 1984. *Lisan Al-Arab juz 1*. Kairo: Dar al-Ma'arif.
- Meju, A Max. 1994. *Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Practice*. USA: Society of Exploration Geophysicists (SEG).

- Milsom, J. 2003. *Field Geophysics 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Mudjiarto, Roswati dan Frans J. Krips. 1995. *Matematika Fisika 1*. Bandung: ITB.
- Mulyono, Agus dan Ahmad Abtokhi. 2006. *Fisika dan Al-Qur'an*. Malang: UIN Malang Press.
- Ndlovu. 2011. Using Low Cost Geophysical Methods To Locate High Yielding Groundwater Aquifers In The Granite Rock Region Of Matabeleland South Province Of Zimbabwe A Case Of Gwatemba Area. *Journal of Sustainable Development in Africa*. Clarion University of Pennsylvania, Clarion: Pennsylvania., Vol. 13, No. 6.
- Nisa, Khoiru, Tony Yulianto, dan Sugeng Widada. 2012. Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Menentukan Zona Intrusi Air Laut di Kecamatan Genuk Semarang. *Berkala Fisika*. Vol. 15, No. 1, ISSN: 1410-9662.
- Nurwidyanto, M.Irham. 2005. Estimasi Hubungan Porositas dan Permeabilitas pada Batu Pasir. *Berkala Fisika*. Vol. 8, No. 3, hal. 87-88, ISSN: 1410-9662.
- Olhoeft, G. 1989. *Densities of Rocks and Minerals*, in: Carmichael (ed.) *Practical Handbook of Physical Properties of Rocks Minerals, section II*. Boca Raton Florida: CRC Press.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley and Sons Ltd. Baffins, Chichester, West Sussex PO19 1UD. England.
- Rosari, Andi Anita dan Muhammad Arsyad. 2017. Analisis Sifat Fisis dan Sifat Mekanik Batuan Karst Maros. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. ISSN: 2548-6373.
- Sadjab, Bayu A., As'ari., dan Adey Tanauma. 2012. *Pemetaan Akuifer Air Tanah di Sekitar Candi Prambanan Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis*. Manado: Program Studi Fisika FMIPA Universitas Samratulangi.
- Saeni. 1989. *Kimia Lingkungan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sampurno dan Hidayat. 2015. Identifikasi Lokasi Bedrock menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner sebagai Bahan Acuan Perancangan Pondasi Pengembangan Gedung di Daerah Sampil Kalimantan Tengah. *Prisma Fisika*. Vol. III, No. 02, ISSN: 2337-8204.
- Seyhan, E. 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi (Terjemahan Fundamental of Hydrology. Subagyo, S)*. Yogyakarta: Gadjah Mada Press.
- Shihab, M. Quraish. 1992. *Membumikan Al-Qur'an*. Bandung: Mizan.

- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah; Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Quraish. 2007. *Tafsir Al-Misbah; Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Quraish. 2009. *Tafsir Al-Misbah; Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Quraish. 2013. *Mukjizat Al-Qur'an: Ditinjau dari Aspek Kebahasaan, Isyarat Ilmiah dan Pemberitaan Gaib*. Bandung: Mizan.
- Soemarto, C.D. 1995. *Hidrologi Teknik Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Sugito., Zaroh Irayani., dan Inra Permana Jati. 2010. Investigasi Bidang Gelincir Tanah Longsor Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis di Desa Kebarongan Kec. Kemranjen Kab. Banyumas. *Berkala Fisika*. Vol. 13, No. 2. ISSN: 1410-9662.
- Suryo, Debby Khairunnisa, Supriyanto, dan Djayus. 2016. *Studi Sebaran Potensi Air Tanah di Kelurahan Tanah Merah Kecamatan Samarinda Utara Berdasarkan Resistivitas Batuan*. Samarinda: Prosiding Seminar Sains dan Teknologi FMIPA Unmul.
- Taib, M.I.T. 2000. *Diktat Kuliah Eksplorasi Geolistrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tanudidjaja, Moh. Ma'ruf. 1995. *Ilmu Pengetahuan Bumi dan Antariksa*. Jakarta: Depdikbud.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sherif, R. E dan Keys, D. D. 1976. *Applied Geophysics First Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. United State of America: Cambridge University Press.
- Watsiqotul, Sunardi, dan Leo Agung. 2018. Peran Manusia sebagai Khalifah Allah di Muka Bumi Perspektif Ekologis dalam Ajaran Islam. *Jurnal Penelitian*. Vol. 12, No. 2.
- Widada, Sugeng. 2017. Gejala Intrusi Air Laut di Daerah Pantai Kota Pekalongan. *Jurnal Ilmu Kelautan*. Vol. 12 (1): 45-52, ISSN: 0853-7291.
- Wijaya, andrias sanggra. 2015. Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner untuk Menentukan Struktur Tanah di Halaman Belakang SCC ITS Surabaya. *Jurnal fisika Indonesia*. Vol. XIX, No. 55, ISSN: 1410-2994.

LAMPIRAN



Lampiran 1: Data Hasil Penelitian

1. Line 1

NO	n	Elektroda				Rata-Rata R	I	Datum	a	k	ρ
		C1	P1	P2	C2						
1	1	0	5	10	15			7.5	5	31.41593	
2	1	5	10	15	20			12.5	5	31.41593	
3	1	10	15	20	25			17.5	5	31.41593	
4	1	15	20	25	30			22.5	5	31.41593	
5	1	20	25	30	35			27.5	5	31.41593	
6	1	25	30	35	40			32.5	5	31.41593	
7	1	30	35	40	45			37.5	5	31.41593	
8	1	35	40	45	50			42.5	5	31.41593	
9	1	40	45	50	55			47.5	5	31.41593	
10	1	45	50	55	60			52.5	5	31.41593	
11	1	50	55	60	65			57.5	5	31.41593	
12	1	55	60	65	70			62.5	5	31.41593	
13	1	60	65	70	75			67.5	5	31.41593	
14	1	65	70	75	80			72.5	5	31.41593	
15	1	70	75	80	85			77.5	5	31.41593	
16	1	75	80	85	90			82.5	5	31.41593	
17	1	80	85	90	95			87.5	5	31.41593	
18	1	85	90	95	100			92.5	5	31.41593	
29	2	0	10	20	30			15	10	62.83185	
30	2	5	15	25	35			20	10	62.83185	
31	2	10	20	30	40			25	10	62.83185	
32	2	15	25	35	45			30	10	62.83185	
33	2	20	30	40	50			35	10	62.83185	
34	2	25	35	45	55			40	10	62.83185	
35	2	30	40	50	60			45	10	62.83185	
36	2	35	45	55	65			50	10	62.83185	
37	2	40	50	60	70			55	10	62.83185	
38	2	45	55	65	75			60	10	62.83185	
39	2	50	60	70	80			65	10	62.83185	
40	2	55	65	75	85			70	10	62.83185	
41	2	60	70	80	90			75	10	62.83185	
42	2	65	75	85	95			80	10	62.83185	
43	2	70	80	90	100			85	10	62.83185	
54	3	0	15	30	45			22.5	15	94.24778	
55	3	5	20	35	50			27.5	15	94.24778	
56	3	10	25	40	55			32.5	15	94.24778	
57	3	15	30	45	60			37.5	15	94.24778	
58	3	20	35	50	65			42.5	15	94.24778	

59	3	25	40	55	70			47.5	15	94.24778	
60	3	30	45	60	75			52.5	15	94.24778	
61	3	35	50	65	80			57.5	15	94.24778	
62	3	40	55	70	85			62.5	15	94.24778	
63	3	45	60	75	90			67.5	15	94.24778	
64	3	50	65	80	95			72.5	15	94.24778	
65	3	55	70	85	100			77.5	15	94.24778	
76	4	0	20	40	60			30	20	125.6637	
77	4	5	25	45	65			35	20	125.6637	
78	4	10	30	50	70			40	20	125.6637	
79	4	15	35	55	75			45	20	125.6637	
80	4	20	40	60	80			50	20	125.6637	
81	4	25	45	65	85			55	20	125.6637	
82	4	30	50	70	90			60	20	125.6637	
83	4	35	55	75	95			65	20	125.6637	
84	4	40	60	80	100			70	20	125.6637	
95	5	0	25	50	75			37.5	25	157.0796	
96	5	5	30	55	80			42.5	25	157.0796	
97	5	10	35	60	85			47.5	25	157.0796	
98	5	15	40	65	90			52.5	25	157.0796	
99	5	20	45	70	95			57.5	25	157.0796	
100	5	25	50	75	100			62.5	25	157.0796	



2. Line 2

NO	n	Elektroda				Rata-Rata R	I	Datum	a	k	ρ
		C1	P1	P2	C2						
1	1	0	5	10	15			7.5	5	31.41593	
2	1	5	10	15	20			12.5	5	31.41593	
3	1	10	15	20	25			17.5	5	31.41593	
4	1	15	20	25	30			22.5	5	31.41593	
5	1	20	25	30	35			27.5	5	31.41593	
6	1	25	30	35	40			32.5	5	31.41593	
7	1	30	35	40	45			37.5	5	31.41593	
8	1	35	40	45	50			42.5	5	31.41593	
9	1	40	45	50	55			47.5	5	31.41593	
10	1	45	50	55	60			52.5	5	31.41593	
11	1	50	55	60	65			57.5	5	31.41593	
12	1	55	60	65	70			62.5	5	31.41593	
13	1	60	65	70	75			67.5	5	31.41593	
14	1	65	70	75	80			72.5	5	31.41593	
15	1	70	75	80	85			77.5	5	31.41593	
16	1	75	80	85	90			82.5	5	31.41593	
17	1	80	85	90	95			87.5	5	31.41593	
18	1	85	90	95	100			92.5	5	31.41593	
21	2	0	10	20	30			15	10	62.83185	
22	2	5	15	25	35			20	10	62.83185	
23	2	10	20	30	40			25	10	62.83185	
24	2	15	25	35	45			30	10	62.83185	
25	2	20	30	40	50			35	10	62.83185	
26	2	25	35	45	55			40	10	62.83185	
27	2	30	40	50	60			45	10	62.83185	
28	2	35	45	55	65			50	10	62.83185	
29	2	40	50	60	70			55	10	62.83185	
30	2	45	55	65	75			60	10	62.83185	
31	2	50	60	70	80			65	10	62.83185	
32	2	55	65	75	85			70	10	62.83185	
33	2	60	70	80	90			75	10	62.83185	
34	2	65	75	85	95			80	10	62.83185	
35	2	70	80	90	100			85	10	62.83185	
38	3	0	15	30	45			22.5	15	94.24778	
39	3	5	20	35	50			27.5	15	94.24778	
40	3	10	25	40	55			32.5	15	94.24778	
41	3	15	30	45	60			37.5	15	94.24778	
42	3	20	35	50	65			42.5	15	94.24778	
43	3	25	40	55	70			47.5	15	94.24778	
44	3	30	45	60	75			52.5	15	94.24778	
45	3	35	50	65	80			57.5	15	94.24778	

46	3	40	55	70	85			62.5	15	94.24778	
47	3	45	60	75	90			67.5	15	94.24778	
48	3	50	65	80	95			72.5	15	94.24778	
49	3	55	70	85	100			77.5	15	94.24778	
52	4	0	20	40	60			30	20	125.6637	
53	4	5	25	45	65			35	20	125.6637	
54	4	10	30	50	70			40	20	125.6637	
55	4	15	35	55	75			45	20	125.6637	
56	4	20	40	60	80			50	20	125.6637	
57	4	25	45	65	85			55	20	125.6637	
58	4	30	50	70	90			60	20	125.6637	
59	4	35	55	75	95			65	20	125.6637	
60	4	40	60	80	100			70	20	125.6637	
63	5	0	25	50	75			37.5	25	157.0796	
64	5	5	30	55	80			42.5	25	157.0796	
65	5	10	35	60	85			47.5	25	157.0796	
66	5	15	40	65	90			52.5	25	157.0796	
67	5	20	45	70	95			57.5	25	157.0796	
68	5	25	50	75	100			62.5	25	157.0796	



3. Line 3

NO	n	Elektroda				Rata-Rata R	I	Datum	a	k	ρ
		C1	P1	P2	C2						
1	1	0	5	10	15			7.5	5	31.41593	
2	1	5	10	15	20			12.5	5	31.41593	
3	1	10	15	20	25			17.5	5	31.41593	
4	1	15	20	25	30			22.5	5	31.41593	
5	1	20	25	30	35			27.5	5	31.41593	
6	1	25	30	35	40			32.5	5	31.41593	
7	1	30	35	40	45			37.5	5	31.41593	
8	1	35	40	45	50			42.5	5	31.41593	
9	1	40	45	50	55			47.5	5	31.41593	
10	1	45	50	55	60			52.5	5	31.41593	
11	1	50	55	60	65			57.5	5	31.41593	
12	1	55	60	65	70			62.5	5	31.41593	
13	1	60	65	70	75			67.5	5	31.41593	
14	1	65	70	75	80			72.5	5	31.41593	
15	1	70	75	80	85			77.5	5	31.41593	
16	1	75	80	85	90			82.5	5	31.41593	
17	1	80	85	90	95			87.5	5	31.41593	
18	1	85	90	95	100			92.5	5	31.41593	
21	2	0	10	20	30			15	10	62.83185	
22	2	5	15	25	35			20	10	62.83185	
23	2	10	20	30	40			25	10	62.83185	
24	2	15	25	35	45			30	10	62.83185	
25	2	20	30	40	50			35	10	62.83185	
26	2	25	35	45	55			40	10	62.83185	
27	2	30	40	50	60			45	10	62.83185	
28	2	35	45	55	65			50	10	62.83185	
29	2	40	50	60	70			55	10	62.83185	
30	2	45	55	65	75			60	10	62.83185	
31	2	50	60	70	80			65	10	62.83185	
32	2	55	65	75	85			70	10	62.83185	
33	2	60	70	80	90			75	10	62.83185	
34	2	65	75	85	95			80	10	62.83185	
35	2	70	80	90	100			85	10	62.83185	
38	3	0	15	30	45			22.5	15	94.24778	
39	3	5	20	35	50			27.5	15	94.24778	
40	3	10	25	40	55			32.5	15	94.24778	
41	3	15	30	45	60			37.5	15	94.24778	
42	3	20	35	50	65			42.5	15	94.24778	
43	3	25	40	55	70			47.5	15	94.24778	
44	3	30	45	60	75			52.5	15	94.24778	
45	3	35	50	65	80			57.5	15	94.24778	

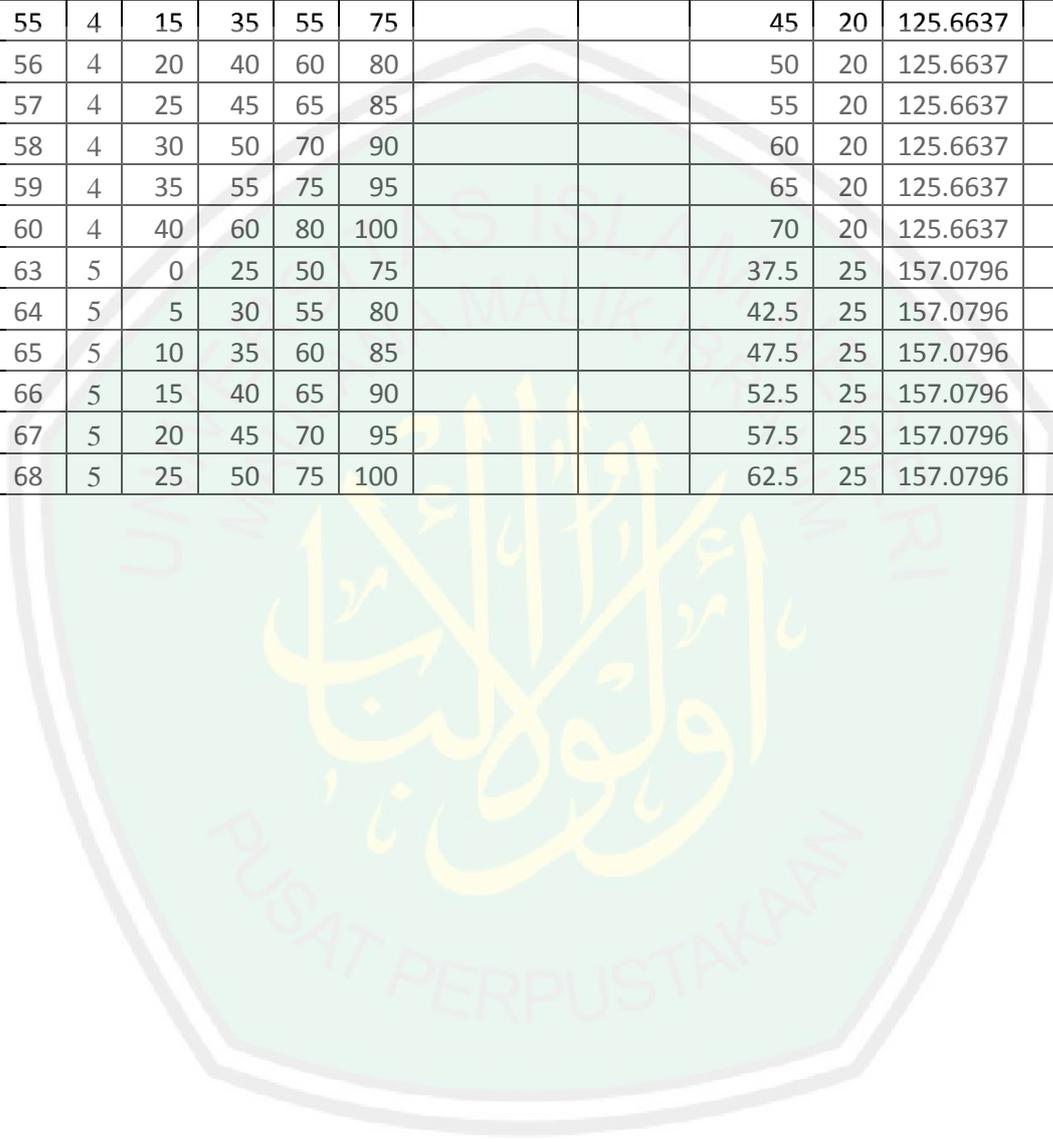
46	3	40	55	70	85			62.5	15	94.24778	
47	3	45	60	75	90			67.5	15	94.24778	
48	3	50	65	80	95			72.5	15	94.24778	
49	3	55	70	85	100			77.5	15	94.24778	
52	4	0	20	40	60			30	20	125.6637	
53	4	5	25	45	65			35	20	125.6637	
54	4	10	30	50	70			40	20	125.6637	
55	4	15	35	55	75			45	20	125.6637	
56	4	20	40	60	80			50	20	125.6637	
57	4	25	45	65	85			55	20	125.6637	
58	4	30	50	70	90			60	20	125.6637	
59	4	35	55	75	95			65	20	125.6637	
60	4	40	60	80	100			70	20	125.6637	
63	5	0	25	50	75			37.5	25	157.0796	
64	5	5	30	55	80			42.5	25	157.0796	
65	5	10	35	60	85			47.5	25	157.0796	
66	5	15	40	65	90			52.5	25	157.0796	
67	5	20	45	70	95			57.5	25	157.0796	
68	5	25	50	75	100			62.5	25	157.0796	



4. Line 4

NO	n	Elektroda				Rata-Rata R	I	Datum	a	k	ρ
		C1	P1	P2	C2						
1	1	0	5	10	15			7.5	5	31.41593	
2	1	5	10	15	20			12.5	5	31.41593	
3	1	10	15	20	25			17.5	5	31.41593	
4	1	15	20	25	30			22.5	5	31.41593	
5	1	20	25	30	35			27.5	5	31.41593	
6	1	25	30	35	40			32.5	5	31.41593	
7	1	30	35	40	45			37.5	5	31.41593	
8	1	35	40	45	50			42.5	5	31.41593	
9	1	40	45	50	55			47.5	5	31.41593	
10	1	45	50	55	60			52.5	5	31.41593	
11	1	50	55	60	65			57.5	5	31.41593	
12	1	55	60	65	70			62.5	5	31.41593	
13	1	60	65	70	75			67.5	5	31.41593	
14	1	65	70	75	80			72.5	5	31.41593	
15	1	70	75	80	85			77.5	5	31.41593	
16	1	75	80	85	90			82.5	5	31.41593	
17	1	80	85	90	95			87.5	5	31.41593	
18	1	85	90	95	100			92.5	5	31.41593	
21	2	0	10	20	30			15	10	62.83185	
22	2	5	15	25	35			20	10	62.83185	
23	2	10	20	30	40			25	10	62.83185	
24	2	15	25	35	45			30	10	62.83185	
25	2	20	30	40	50			35	10	62.83185	
26	2	25	35	45	55			40	10	62.83185	
27	2	30	40	50	60			45	10	62.83185	
28	2	35	45	55	65			50	10	62.83185	
29	2	40	50	60	70			55	10	62.83185	
30	2	45	55	65	75			60	10	62.83185	
31	2	50	60	70	80			65	10	62.83185	
32	2	55	65	75	85			70	10	62.83185	
33	2	60	70	80	90			75	10	62.83185	
34	2	65	75	85	95			80	10	62.83185	
35	2	70	80	90	100			85	10	62.83185	
38	3	0	15	30	45			22.5	15	94.24778	
39	3	5	20	35	50			27.5	15	94.24778	
40	3	10	25	40	55			32.5	15	94.24778	
41	3	15	30	45	60			37.5	15	94.24778	
42	3	20	35	50	65			42.5	15	94.24778	
43	3	25	40	55	70			47.5	15	94.24778	
44	3	30	45	60	75			52.5	15	94.24778	
45	3	35	50	65	80			57.5	15	94.24778	

46	3	40	55	70	85			62.5	15	94.24778	
47	3	45	60	75	90			67.5	15	94.24778	
48	3	50	65	80	95			72.5	15	94.24778	
49	3	55	70	85	100			77.5	15	94.24778	
52	4	0	20	40	60			30	20	125.6637	
53	4	5	25	45	65			35	20	125.6637	
54	4	10	30	50	70			40	20	125.6637	
55	4	15	35	55	75			45	20	125.6637	
56	4	20	40	60	80			50	20	125.6637	
57	4	25	45	65	85			55	20	125.6637	
58	4	30	50	70	90			60	20	125.6637	
59	4	35	55	75	95			65	20	125.6637	
60	4	40	60	80	100			70	20	125.6637	
63	5	0	25	50	75			37.5	25	157.0796	
64	5	5	30	55	80			42.5	25	157.0796	
65	5	10	35	60	85			47.5	25	157.0796	
66	5	15	40	65	90			52.5	25	157.0796	
67	5	20	45	70	95			57.5	25	157.0796	
68	5	25	50	75	100			62.5	25	157.0796	



Lampiran 3: Dokumentasi Pengambilan Data di Lapangan



Tim Geolistrik



Proses pengambilan data di lapangan



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN FISIKA

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341)57253

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Zahrotuttakiyah
NIM : 15640010
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Penentuan Zona Intrusi Air Laut dengan Metode Geolistrik Tahanan
Jenis :
Pembimbing I : Irjan, M.Si
Pembimbing II : Erna Hastuti, M.Si

No	Tanggal	Materi Konsultasi	Tanda Tangan
1	20 Agustus 2019	Konsultasi Judul	1.
2	18 September 2019	Konsultasi BAB I, II, III dan ACC	2.
3	10 Oktober 2019	Konsultasi Akuisisi Data	3.
4	1 Februari 2020	Konsultasi Akuisisi Data	4.
5	4 Maret 2020	Kosultasi Hasil Akuisisi Data	5.
6	9 April 2020	Konsultasi Hasil Pengolahan Data	6.
7	7 Juli 2020	Kosultasi BAB IV	7.
8	24 Juli 2020	Kosultasi Revisi BAB IV	8.
9	11 Agustus 2020	Konsultasi BAB I, II, III, dan IV	9.
10	7 September	Konsultasi Integrasi Al-Qur'an	10.
11	21 September 2020	Konsultasi Revisi BAB I - IV	11.
12	2 Oktober 2020	Konsultasi BAB IV dan Abstrak	12.
13	2 November 2020	Konsultasi Revisi Integrasi dan ACC	13.
14	4 November 2020	Konsultasi Revisi BAB IV, V dan ACC	14.
15	10 Desember 2020	Konsultasi Seluruh BAB dan Jurnal	15.
16	11 Desember 2020	Konsultasi Keseluruhan Pembahasan Integrasi	16.



Malang, 21 Desember 2020

Diketahui,
Kepala Jurusan Fisika

Dr. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 00