

**EKSPERIMEN MINIATUR STRUKTUR BAWAH
PERMUKAAN UNTUK STUDI
METODE GEOLISTRIK DALAM IDENTIFIKASI ANOMALI**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Fisika



Diajukan oleh:

Muhammad Dany Zakariya

NIM.1908026009

**FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN WALISONGO SEMARANG
2024**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Dany Zakariya

NIM : 1908026009

Jurusan : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

EKSPERIMEN MINIATUR STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN UNTUK STUDI GEOLISTRIK DALAM IDENTIFIKASI ANOMALI

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya

Semarang, 24 Juni 2024

Pembuat Pernyataan,



Muhammad Dany Zakariya
1908026009



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp.024-7601294 Fax.7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Eksperimen Miniatur Struktur Bawah
Permukaan untuk Studi Metode Geolistrik
dalam Identifikasi Anomali
Penulis : Muhammad Dany Zakariya
NIM : 1908026009
Jurusan : Fisika

Telah diujikan dalam *Ujian Munaqosah* oleh Dewan Penguji
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima
sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu
Fisika.

Semarang, 03 Juli 2024

DEWAN PENGUJI

KETUA SIDANG/PENGUJI

Dr. Alwiyah Nurhayati, M.Si

NIP: 19811211 201101 2 006

SEKRETARIS SIDANG/PENGUJI

M. Ardhi Khalif, M.Sc

NIP: 19821009 201101 1 011

PENGUJI UTAMA I

Irman Said Prastyo, M.Sc

NIP: 19911228 201903 1 009

PENGUJI UTAMA II

Affa Ardhi Saputri, M.Pd

NIP: 19900410 201903 2 018

PEMBIMBING I

Hartono, M.Sc

NIP: 19900924 201903 1 006

PEMBIMBING II

Agus Sudarmanto, M.Si

NIP: 19770823 200912 1 001



NOTA DINAS

Semarang, 24 Juni 2024

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
Semarang

Assalamualaikum wr.wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Eksperimen Miniatur Struktur Bawah
Permukaan untuk Studi Metode Geolistrik
dalam Identifikasi Anomali
Nama : **Muhammad Dany Zakariya**
NIM : 1908026009
Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diujikan dalam sidang munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing I



Hartono, M.Sc.

NIP. 199009242019031006

NOTA DINAS

Semarang, 24 Juni 2024

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
Semarang

Assalamualaikum wr.wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Eksperimen Miniatur Struktur Bawah
Permukaan untuk Studi Metode Geolistrik
dalam Identifikasi Anomali
Nama : **Muhammad Dany Zakariya**
NIM : 1908026009
Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diujikan dalam sidang munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing II



Agus Sudarmanto, M.Si.
NIP. 197708232009121001

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur resistivitas *true* dan semu melalui miniatur model bawah permukaan bumi untuk studi metode geolistrik dan mengetahui pendugaan keberadaan anomali menggunakan metode geolistrik resistivitas pada miniatur model bawah permukaan. Metode yang digunakan adalah Geolistrik resistivitas dengan konfigurasi wenner. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan metode eksperimen.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan metode konfigurasi wenner, Eksperimen dilakukan 3 kali pengukuran yang pertama, miniatur hanya berisi pasir dengan hasil medium pasir homogen ini memiliki distribusi resistivitas yang cukup sesuai dengan sedikit variasi sehingga hasil pengukuran tidak dapat menunjukkan bahwa pasir bersifat tidak homogen. Hal ini diduga adanya interpolasi dari basaman yang resistivitas nya bersifat tinggi. Pengukuran metode resistivitas kedua, miniatur berisi media semen dengan ukuran 6 cm x 3 cm sebagai anomali dengan hasil nilai resistivitas *true* 373,5 ohm.m. Pengukuran metode resistivitas ketiga, menggunakan semen dengan ukuran 9 cm x 3 cm sebagai anomali dengan hasil nilai resistivitas *true* 21.744 ohm.m.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa miniatur model bawah permukaan bumi yang dihasilkan dapat digunakan untuk studi metode geolistrik. Hasil ini di buktikan adanya kecocokan terhadap nilai resistivitas *true* yang diberikan pada model bawah permukaan bumi.

Keyword: Geolistrik, Konfigurasi Wenner, Miniatur, Resistivitas.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat, hidayah dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir skripsi dengan baik. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul: “Eksperimen Miniatur Struktur Bawah Permukaan untuk Studi Metode Geolistrik dalam Identifikasi Anomali. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan program Sarjana Fisika di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo.

Selama penyelesaian naskah skripsi ini, peneliti telah mendapat bimbingan, arahan, nasihat, serta dukungan dengan penuh keikhlasan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada;

1. Prof. Dr. Nizar Ali, M.Ag., Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo
2. Bapak Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Ibu Dr. Alwiyah Nurhayati, M.Si., Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. Hartono, M.Sc., Wali Dosen sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, kritik, saran dan pengertian dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak Agus Sudarmanto, M.Si. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk membantu dorongan hingga skripsi ini dapat selesai.

6. Bapak Muhammad Ardhi Khalif, M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Fisika UIN Walisongo Semarang.
7. Dosen, Pegawai dan Sivitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negri Walisongo Semarang yang memberikan banyak ilmu dan pengetahuan sampai tahap di akhir penulisan skripsi ini, memberikan skala bermanfaat dalam penulisan ini.
8. Orangtua tercinta, Bapak Maknun dan Ibu Miss Ruslina dan Kakak-kakakku Rizka Malvina dan Afrizal Zulfa yang selalu memberikan doa, dan dukungan yang tiada hentinya demi kelancaran kegiatan penelitian.
9. Teman-teman Program Fisika Angkatan 2019 yang telah bersedia menjadi teman diskusi dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Semua pihak yang turut serta yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan, semangat, doa dan motivasi sehingga skripsi ini terselesaikan.

Demikian ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini. Penulis hanyalah manusia yang tidak luput dari kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu penulis menerima setiap masukan, kritik dan saran yang diberikan dari berbagai pihak yang tentunya membangun kinerja penulis dalam membuat sebuah laporan yang menjadi lebih baik.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Pembatasan Masalah	6
C. Rumusan Masalah	7
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	8
BAB II LANDASAN PUSTAKA	9
A. Kajian Teori	9
a. Metode Geolistrik Resistivitas	9
b. Sifat Kelistrikan Batuan	27
B. Kajian Penelitian yang Relevan	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
A. Jenis Penelitian	33
B. Waktu Penelitian	33

C.	Alat dan Bahan Penelitian	34
D.	Prosedur Penelitian.....	35
E.	Teknik Analisis Data.....	39
F.	Desain Alat	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		42
A.	Deskripsi Miniatur	42
B.	Penerapan Metode Resistivitas.....	43
C.	Penelitian Pertama.....	46
a.	Inversi <i>Robust</i>	48
b.	<i>Inversi Smoothnes Constrained Least Squares</i> 52	
c.	<i>Inversi Logarithm</i>	55
d.	<i>Inversi Solve Least Squares Equation</i>	59
D.	Penelitian Kedua	61
a.	<i>Inversi Robust</i>	63
b.	<i>Inversi Smootness Constrained Least Squares</i>	66
c.	<i>Inversi Logarithm</i>	69
d.	<i>Inversi Solve Least Squares Equation</i>	72
E.	Penelitian Ketiga	76
a.	<i>Invers Robust</i>	78
b.	<i>Inversi Smootness Constrained Least Squares</i>	81
c.	<i>Inversi Logarithm</i>	85
d.	<i>Inversi Solve Least Squares Equation</i>	88
F.	Resistivitas True.....	91

BAB V PENUTUP	93
G. A. Kesimpulan.....	93
H. B. Saran.....	94
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Resistivitas pada penampang silinder (Nugroho, M dan Afiatna, 2016)	12
Gambar 2. 2 Susunan elektroda konfigurasi Wenner (Nugroho, M dan Afiatna, 2016)	17
Gambar 2. 3 Konfigurasi Wenner – Alpha (Loke, 2004).....	19
Gambar 2. 4 Konfigurasi Wenner-Beta (Loke, 2000)	20
Gambar 2. 5 Susunan elektroda konfigurasi Schlumberger (Nugroho, M dan Afiatna, 2016)	21
Gambar 2. 6 Susunan elektroda konfigurasi dipole-dipole (Kanyawan dan Zulfian, 2020)	22
Gambar 2. 7 Susunan elektroda konfigurasi pole-dipole (Nugroho, M dan Afiatna, 2016)	23
Gambar 2. 8 Susunan elektroda konfigurasi pole-pole	24
Gambar 2. 9 Konfigurasi wenner-schlumberger (Irjan, 2012)	26
Gambar 3. 3 Desain alat pemodelan bawah permukaan tampak depan	41
Gambar 4. 1 Miniatur Penelitian	43
Gambar 4. 2 Pasir dengan <i>inversi robust</i>	48
Gambar 4. 3 Pasir dengan <i>inversi Logarithm</i>	55
Gambar 4. 4 Pasir dengan <i>inversi Smoothnes</i>	52
Gambar 4. 5 Pasir dengan inversi <i>solve least squares equation</i>	59
Gambar 4. 6 Semen pendek dengan <i>inversi robust</i>	63
Gambar 4. 7 Semen pendek dengan <i>inversi logarithm</i>	69
Gambar 4. 8 Semen pendek dengan inversi <i>smootness constrained least squares</i>	66
Gambar 4. 9 Semen pendek dengan inversi <i>solve least squares equation</i>	72
Gambar 4. 10 Semen medium dengan inversi <i>robust</i>	78

Gambar 4. 11 Semen medium dengan inversi <i>smootnes</i> <i>constrained</i>	81
Gambar 4. 12 Semen medium dengan <i>inversi logarithm</i>	85
Gambar 4. 13 Semen medium dengan <i>inversi solve</i>	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Resistivitas batuan (Telford, 1990)	27
Tabel 3. 1 Waktu penelitian.....	34

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Metode geolistrik merupakan metode geofisika yang mempelajari kondisi bawah permukaan dengan pendekatan parameter fisika berupa kelistrikan dari suatu batuan atau formasi batuan atau bagian dari suatu formasi batuan. Metode geolistrik terdiri dari beberapa jenis berdasarkan parameter fisika yang digunakan yaitu metode tahanan jenis, metode self potensial (IP) memanfaatkan parameter kelistrikan, yaitu adanya beda potensial pada dua titik di sebarang tempat di bumi, metode potensial listrik dua sumber arus di dalam bumi ketika jarak antara dua elektroda arus telah ditentukan, dan metode induksi elektromagnetik (EM) bertujuan untuk mengetahui respons bawah permukaan menggunakan perambatan gelombang elektromagnetik yang terbentuk akibat adanya arus bolak balik dan medan magnetik. Metode geolistrik yang banyak digunakan yaitu metode geolistrik resistivitas. Hal itu dikarenakan metode geolistrik tahanan jenis memiliki kemampuan identifikasi perbedaan resistivitas yang kuat antara material geologi yang berbeda (Telford et al., 1976).

Metode geolistrik merupakan salah satu teknik yang mempelajari sifat aliran listrik dalam bumi dan cara mendeteksinya dari permukaan. Metode ini mencari besaran fisis berupa tahanan jenis batuan yang dihasilkan dari medan potensial dan arus yang diinjeksikan ke bawah permukaan bumi. Pada dasarnya, metode ini menggunakan konsep perambatan arus listrik dalam medium homogen dan isotropis, di mana arus listrik bergerak ke segala arah dengan nilai yang sama. Ketika terdapat penyimpangan dari kondisi ideal ini (homogen isotropis), penyimpangan tersebut (anomali) justru menjadi fokus pengamatan. Nilai tahanan jenis batuan terkait dengan sifat fisiknya, termasuk derajat kejenuhan air, porositas, permeabilitas, dan formasi batuan. (Sanggra Wijaya, 2015).

Survei geofisika bertujuan untuk memetakan geologi bawah permukaan, yang mencakup litologi batuan, morfologi, stratigrafi, dan struktur geologi. Salah satu metode yang digunakan dalam survei geofisika adalah metode geolistrik. Metode ini didasarkan pada sifat resistivitas batuan. Informasi dari metode geolistrik biasanya diperoleh dari anomali yang terukur terhadap besaran resistivitas. Anomali resistivitas merupakan hasil variasi dari bagian mineral geolistrik yang terkandung

dalam batuan di bawah permukaan yang lebih dalam. Oleh karena itu, metode geolistrik sangat efektif untuk penelitian struktur bawah permukaan berdasarkan distribusi anomali resistivitas, hingga memungkinkan pemodelan struktur bawah permukaan yang akurat. (Oktavina et al., 2022).

Kelebihan utama dari metode geolistrik resistivitas adalah peralatan yang ukurannya relatif kecil, harganya relatif murah, dan kemudahan dalam pengolahan data (Broto, S. dan Afifah, 2008). Peralatan geolistrik resistivitas biasanya lebih ekonomis secara biaya jika dibandingkan dengan beberapa metode geofisika lainnya, seperti peralatan metode gravitasi dan magnetik. Informasi yang dihasilkan dari survei geolistrik resistivitas dapat dengan mudah diproses menggunakan perangkat lunak khusus, seperti software *progress* dan *Res2dinv*. Pengolahan data yang didapat juga relatif lebih mudah dibandingkan dengan metode geofisika lainnya karena dalam pengolahannya tidak memerlukan reduksi *noise* yang banyak (Broto, S. dan Afifah, 2008).

Metode geolistrik selain mempunyai kelebihan juga memiliki kelemahan yaitu tingkat ambiguitas yang tinggi dalam melakukan interpretasinya. Salah satu faktor

utama pada tingkat ambiguitas ini adalah variasi nilai resistivitas batuan yang luas. Rentang nilai resistivitas tersebut disebabkan oleh variasi parameter geometri, rapat massa material yang tidak diketahui dengan pasti, dan ketidakpastian mengenai kedalaman lapisan geologi tertentu (Eko, 2007). Selain itu, nilai resistivitas batuan dapat dipengaruhi oleh perbedaan komposisi mineral yang konduktif atau keberadaan fluida (Tulus et al., 2013). Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terhadap variasi parameter ini serta penggunaan metode tambahan untuk validasi interpretasi sangat penting dalam mengurangi tingkat ambiguitas dalam interpretasi hasil metode geolistrik (Ridwan, 2014).

Untuk mengetahui tingkat ambiguitas, perlu dilakukan suatu eksperimen untuk melihat seberapa tingkat ketidakpastiannya. Salah satu cara untuk melakukan eksperimen adalah dengan melakukan pengeboran sampai kedalaman tertentu sehingga *sample* (batuan hasil pengeboran tiap kedalaman) dari hasil pengukuran bisa diamati secara langsung untuk mengetahui jenis batuan beserta kedalaman nya, namun metode ini memerlukan biaya yang cukup mahal (Muis Prasetya et al., 2018). Solusi lain adalah dengan membuat sebuah data sintetik/ buatan yang berupa kondisi bawah

permukaan yang dapat diatur jenis batuan dan kedalamannya dalam bentuk miniatur hal ini bertujuan untuk meminimalisir efek bencana yang akan terjadi di masa yang akan datang dan untuk mengetahui jenis batuan yang menyusun di wilayah penelitian.

Penelitian sebelumnya oleh Noviard (2021) mengaplikasikan metode geolistrik tahanan jenis untuk menentukan resistivitas pasir, batubara, dan lempung berdasarkan miniatur model. Nilai resistivitas yang dihasilkan dari forward modeling lebih besar dari pada nilai yang dihasilkan dari model miniatur. Pembaharuan dari penelitian sebelumnya adalah bahan resistivitas yang diuji berupa pasir (homogen), semen sebagai anomali pada penelitian. Hal ini dikarenakan nilai resistivitas semen berukuran 6cm yaitu $21.744 \Omega m$ dan nilai semen berukuran 9cm yaitu $373,5 \Omega m$.

Beberapa tantangan dalam pengukuran lapangan adalah variasi nilai resistivitas yang sangat tinggi dan nilai resistivitas yang mendekati batuan sedimen lainnya. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menyelidiki potensi anomali dengan menggunakan model miniatur. Penelitian ini bertujuan untuk memahami variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara lateral dan vertikal (2D). Penelitian ini membuat

miniatur yang didesain sedemikian rupa dan diisi pasir dan semen sebagai anomali. Pengambilan data menggunakan resistivity meter dengan konfigurasi *wenner* (horizontal) dengan tujuan mampu mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan pada permukaan. Pengukuran dilakukan dengan teknik geser untuk mengurangi tingkat ambiguitas pasir serta menentukan lokasi anomali. Dengan demikian, model miniatur ini dapat menjadi acuan untuk penyelidikan lebih lanjut.

B. Pembatasan Masalah

Terkait dengan luasnya permasalahan yang akan dibahas dan keterbatasan yang dihadapi peneliti, maka penelitian ini dibatasi pada cakupan berikut:

1. Data sintetik/model kondisi bawah permukaan dalam bentuk miniatur yang akan dibuat hanya untuk mengetahui kemampuan metode geolistrik resistivitas dalam mengidentifikasi keberadaan anomali resistivitas.
2. Dikarenakan penelitian yang akan digunakan fokus pada analisis identifikasi keberadaan anomali, maka data yang diperlukan adalah 2D (mapping).
3. Konfigurasi yang akan digunakan adalah *wenner*.

4. Model inversi yang digunakan untuk menduga keberadaan anomali.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa permasalahan yang perlu dikaji dalam penelitian ini:

1. Bagaimana miniatur model bawah permukaan bumi untuk studi metode geolistrik?
2. Bagaimana pendugaan keberadaan anomali menggunakan metode geolistrik resistivitas pada miniatur model bawah permukaan?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan dari penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Menghasilkan miniatur model bawah permukaan bumi untuk studi metode geolistrik.
2. Mengetahui pendugaan anomali menggunakan metode geolistrik resistivitas pada miniatur model bawah permukaan.

E. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian yang akan dilakukan diharapkan bisa memberikan banyak manfaat, diantaranya:

1. dapat digunakan untuk membantu dalam mengembangkan metode geolistrik baik akuisisi data, pengolahan ataupun interpretasinya.
2. Menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya yang ingin mengembangkan penelitian sejenis.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

a. Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu teknik eksplorasi bawah permukaan. Teknik ini memanfaatkan perbedaan resistivitas (tahanan jenis) pada lapisan batuan di dalam bumi untuk mempelajari kondisi geologinya. Cara kerjanya adalah dengan mengalirkan arus listrik ke dalam tanah atau batuan melalui elektroda arus listrik ke dalam tanah atau batuan melalui elektroda arus, kemudian mengukur nilai potensial yang dihasilkan pada elektroda potensial (Nugroho, M dan Afiatna, 2016).

Sejak tahun 1912, metode geolistrik yang diciptakan oleh Conrad Schlumberger telah menjadi salah satu teknik geofisika penting untuk menyelidiki kondisi bawah permukaan. Metode ini bekerja dengan mempelajari sifat aliran listrik DC pada batuan di bawah permukaan bumi dan mendeteksinya dari atas permukaan. Survei geolistrik menghasilkan data beda potensial dan kuat arus yang diolah untuk menghitung resistivitas batuan. Meskipun jarang digunakan dalam eksplorasi hidrokarbon, metode geolistrik banyak

digunakan dalam rekayasa geologi, seperti penentuan kedalaman batuan dasar, pencarian reservoir air, eksplorasi geotermal, dan geofisika lingkungan. Salah satu teknik dalam metode geolistrik adalah metode resistivitas atau tahanan jenis (Hadi. et al., 2009).

Metode resistivitas mempelajari variasi resistivitas batuan dengan menentukan perubahan resistivitas terhadap kedalaman dan persebarannya (Anas et al., 2020). Nilai resistivitas batuan yang diperoleh dari pengukuran lapangan adalah nilai resistivitas semu yang memerlukan pengolahan data lebih lanjut untuk mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya (Anonim, 2001). Metode resistivitas umumnya digunakan untuk eksplorasi dangkal, dengan kedalaman sekitar 300–500 meter. Prinsip metode ini adalah dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus dan mengukur beda potensial yang terjadi melalui dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial, dapat diperoleh variasi nilai resistivitas pada lapisan di bawah titik pengukuran (Oktavina et al., 2022).

Metode geolistrik tahanan jenis digunakan untuk mendeteksi lapisan batuan di bawah permukaan bumi

dengan menganalisis nilai resistivitas yang diukur dari percobaan. Metode ini memanfaatkan perbedaan resistivitas antara lapisan batuan yang berdekatan di bawah permukaan dan mempelajari di titik pengukuran (Lugiandari, 2008).

Menurut hukum Ohm, hubungan antara arus listrik yang mengalir di sebuah kawat berbanding lurus dengan beda potensial yang diterapkan. Secara matematis hukum ohm ditunjukkan oleh persamaan 2.1:

$$V = I R \quad (2.1)$$

dengan, V adalah tegangan (volt), I adalah arus (ampere) dan R adalah hambatan (ohm).

Metode geolistrik resistivitas diaplikasikan dengan memanfaatkan sifat kelistrikan lapisan bawah permukaan. Salah satu sifat kelistrikan yang dimanfaatkan adalah resistivitas, yaitu kemampuan suatu bahan dalam menghambat aliran arus listrik yang melaluinya. Parameter fisis ini kemudian dihubungkan dengan material penyusun (litologi) di bawah permukaan. Resistivitas berbeda dari hambatan (resistansi); resistivitas merupakan sifat intrinsik yang tidak bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut, sementara hambatan (resistansi)

bergantung pada geometri (Waluyo, 1984).

Jika di lihat dari sebuah penampang berbentuk silinder dengan panjang (L), luas penampang (A) dan resistansi (R), seperti yang terlihat pada gambar 2.1, maka hubungan antara resistansi dan resistivitas ditunjukkan persamaan (2.2)

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

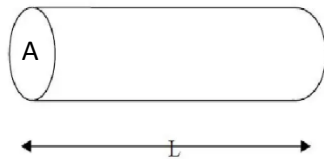
Dimana R = hambatan (ohm),

ρ = hambatan jenis ($\Omega \cdot m$),

L = panjang (m),

A = luas permukaan penampang (m^2)

(Telford et al., 1976).



Gambar 2. 1 Resistivitas pada penampang silinder (Nugroho, M dan Afiatna, 2016)

Prinsip pengukuran metode geolistrik resistivitas melibatkan aliran arus melalui dua elektroda arus dan pengukuran beda potensial antara dua elektroda potensial. Jika diasumsikan bahwa bumi homogen dan isotropis, maka nilai tahanan jenis yang diperoleh akan menjadi nilai tahanan jenis yang

sebenarnya dan tidak dipengaruhi oleh jarak antar elektroda. Namun, kenyataannya, bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan resistivitas yang bervariasi, sehingga potensial yang diukur dipengaruhi oleh lapisan-lapisan tersebut. Nilai resistivitas yang diukur seolah-olah mewakili satu lapisan saja, sehingga resistivitas yang terukur disebut resistivitas semu. Dengan asumsi bahwa bumi adalah medium yang bersifat homogen dan isotropis maka resistivitas dapat ditentukan sebagai persamaan (2.3)

$$\rho = 2\pi \frac{V}{I} = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.3)$$

Dimana 2π = faktor geometris

V = tegangan (voltase),

I = arus listrik (ampere),

Dengan K adalah faktor geometri, Pada kenyataannya distribusi resistivitas didalam bumi bersifat heterogen sehingga potensial yang terukur dipengaruhi oleh berbagai nilai resistivitas. Berdasarkan hal tersebut persamaan dapat dituliskan kembali sebagai: persamaan (2.4)

$$\rho_a = K \frac{V}{I} \quad (2.4)$$

Dengan ρ_a adalah resistivitas semu (*apparent resistivity*) yang bergantung pada spasi elektroda arus maupun elektroda potensial (Simpson, 2015).

Berdasarkan tujuan penyelidikan, metode geolistrik resistivitas dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu metode resistivitas mapping dan metode resistivitas *sounding (drilling)*. Metode resistivitas mapping digunakan untuk mengidentifikasi variasi resistivitas lapisan bawah permukaan secara horizontal dengan jarak spasi elektroda yang tetap untuk semua titik *sounding* (titik pengukuran) di permukaan bumi. Sebaliknya, metode resistivitas *sounding (drilling)* digunakan untuk mengidentifikasi variasi resistivitas lapisan bawah permukaan secara vertikal dengan jarak spasi elektroda yang berubah-ubah.

Metode resistivity *sounding* memiliki keterbatasan besar karena tidak memperhitungkan perubahan resistivitas secara horizontal di bawah permukaan. Untuk mendapatkan model yang lebih akurat dari bawah permukaan digunakan model dua dimensi (2D) yang memperhitungkan perubahan resistivitas tidak hanya secara vertikal tetapi juga secara horizontal sepanjang jalur survei. Meskipun survei dan interpretasi resistivitas 3D secara teoritis lebih akurat, akan tetapi resistivitas 2D menjadi pilihan yang lebih praktis secara ekonomis (Widowati et al., 2014).

Arus listrik dalam metode resistivitas ini akan diinjeksikan ke dalam tanah menggunakan dua elektroda arus. perbedaan potensial yang dihasilkan kemudian diukur melalui dua elektroda potensial. Setelah besar arus yang dipancarkan dan beda potensial yang dihasilkan terukur, maka resistivitas dibawah permukaan tanah akan terukur (Herman, 2000).

Penerapan metode geolistrik resistivitas umumnya digunakan untuk menyelidiki litologi bawah tanah dengan memanfaatkan sifat aliran arus listrik yang terdeteksi di permukaan. Beberapa konfigurasi yang umum digunakan dalam metode ini meliputi konfigurasi Wenner, konfigurasi Schlumberger, konfigurasi pole-dipole, dan konfigurasi dipole-dipole. Prinsip kerja metode geolistrik resistivitas adalah mengalirkan arus listrik ke dalam bumi melalui elektroda arus, yang kemudian diukur oleh elektroda potensial. (Derana, 1981).

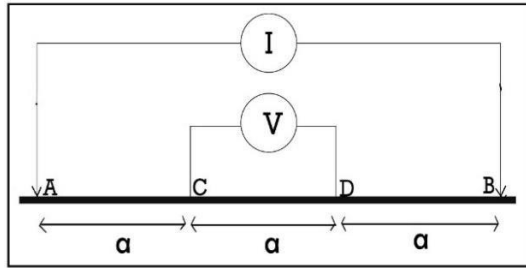
Ada beberapa konfigurasi elektroda yang dapat digunakan dalam pengukuran geolistrik. Konfigurasi ini merupakan susunan elektroda yang digunakan dalam metode geolistrik. Setiap konfigurasi memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, sesuai

dengan karakteristiknya. Sebelum melakukan pengukuran, penting untuk mengetahui dengan jelas tujuan pengukuran dan kondisi medan atau tipe struktur yang akan dipetakan. Karakteristik yang perlu diperhatikan dalam memilih konfigurasi elektroda meliputi sensitivitas konfigurasi, kedalaman investigasi, dan cakupan data horizontal (Dobrin, M.B. dan Savit, 1988)

a. Konfigurasi Wenner

Konfigurasi Wenner melibatkan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial (Hakim & Manrulu, 2016). Elektroda potensial ditempatkan di dalam dengan elektroda arus diluar (Hendrajaya, 1990). Jarak antar elektroda adalah sebesar a . Semua elektroda dipindahkan secara bersamaan ke arah luar untuk pengukuran, memastikan jarak a tetap konstan (Wijaya, 2015). Jarak antara elektroda arus adalah tiga kali jarak elektroda potensial, dengan titik sounding berada pada jarak $a/2$ dari elektroda, sehingga jarak masing-masing elektroda arus ke titik sounding adalah $3a/2$. Dalam akuisisi data lapangan, penempatan elektroda arus dan potensial ditempatkan secara simetris dengan titik sounding. Susunan elektroda konfigurasi wenner ditunjukkan

pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Susunan elektroda konfigurasi Wenner
(Nugroho, M dan Afiatna, 2016)

Berdasarkan gambar tersebut, maka didapat oleh persamaan (2.5-2.10)

$$K=2\pi \frac{1}{[(\frac{1}{a}-\frac{1}{2a})-(\frac{1}{2a}-\frac{1}{a})]} \quad (2.5)$$

$$K=2\pi \frac{1}{[(\frac{2-1}{2a})-(\frac{1-2}{2a})]} \quad (2.6)$$

$$K= 2\pi \frac{1}{[(\frac{1}{2a})+(\frac{1}{2a})]} \quad (2.7)$$

$$K= 2\pi \frac{1}{\frac{2}{2a}} \quad (2.8)$$

$$K = 2\pi \frac{1}{\frac{1}{a}} \quad (2.9)$$

$$K= 2\pi a \quad (2.10)$$

Sehingga faktor geometri untuk konfigurasi Wenner ditunjukkan oleh persamaan (2.11-2.12)

$$K_w= 2\pi a \quad (2.11)$$

$$\rho= K_w R \quad (2.12)$$

Kemudian nilai tahanan jenis semu pada konfigurasi

Wenner ditunjukkan persamaan (2.13)

$$\rho_a = 2\pi a V/I \quad (2.13)$$

(Nugroho, M & Afiatna, 2016)

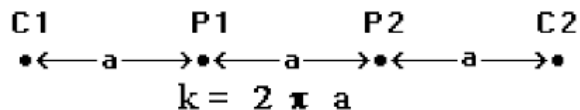
1. Konfigurasi Wenner-Alpha

Konfigurasi Wenner dinamai berdasarkan Frank Wenner, yang mengembangkan penggunaannya di Amerika Serikat. Dalam susunan elektroda Wenner-Alpha, elektroda arus AB dan elektroda potensial MN ditempatkan simetris terhadap titik pusat pada kedua sisinya, dengan jarak antara keempat elektroda yang sama, yaitu a . Elektroda potensial P1 dan P2 berada di tengah-tengah antara C1 dan C2 (Telford, 1990).

Haryanto, sebagaimana dikutip oleh Putro, (2016), menyatakan bahwa pengukuran resistivitas dapat memiliki tujuan yang berbeda, yaitu mapping dan sounding. Mapping bertujuan untuk mengetahui variasi resistivitas secara lateral, dengan menggunakan konfigurasi elektroda tertentu dan jarak antar elektroda tetap, seluruh susunan elektroda dipindah sepanjang lintasan. Konfigurasi elektroda yang biasa digunakan untuk mapping adalah Wenner dan Dipole. Sedangkan sounding bertujuan untuk memperkirakan variasi resistivitas

sebagai fungsi dari kedalaman pada suatu titik pengukuran, di mana jarak antar elektroda bervariasi untuk menentukan kedalaman pengukuran. Konfigurasi elektroda yang biasa digunakan untuk sounding adalah Wenner dan Schlumberger. Keuntungan dari konfigurasi Wenner adalah dapat digunakan untuk pengukuran mapping maupun sounding (Putro, 2016)

Target kedalaman yang dapat dicapai dalam metode resistivity dengan konfigurasi Wenner-Alpha adalah $a/2$, di mana a adalah jarak spasi antar elektroda. Dalam konfigurasi ini, jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial adalah sama (Gambar 2.3), sehingga hasil yang diharapkan dapat diatur melalui jarak spasi antar elektroda. Konfigurasi Wenner-Alpha sangat sensitif terhadap perubahan lateral setempat dan dangkal karena anomali bawah permukaan diamati oleh elektroda C dan P berkali-kali (Loke, 2004).



Gambar 2. 3 Konfigurasi Wenner – Alpha (Loke, 2004)

2. Konfigurasi Wenner – Beta

Konfigurasi Wenner Beta memiliki susunan elektroda C2-C1-P2-P1 dengan jarak antar elektroda sebesar "a". Susunan elektroda pada Wenner Beta sama dengan konfigurasi dipole-dipole, namun yang membedakan adalah tidak adanya faktor rasio (n). Faktor geometri untuk Wenner Beta adalah $k=6\pi a$. Salah satu kelebihan dari Wenner Beta adalah sensitifitasnya yang lebih tinggi terhadap perubahan horizon dibandingkan dengan Wenner Alpha. Konfigurasi wenner beta ditunjukkan pada Gambar 2.4

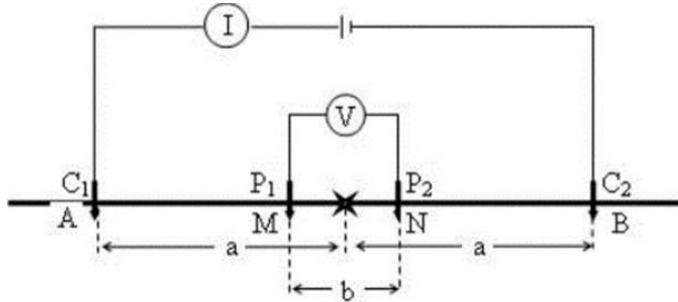


Gambar 2. 4 Konfigurasi Wenner-Beta (Loke, 2000)

b. Konfigurasi Schlumberger

Metode geolistrik dengan konfigurasi Schlumberger sering digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik lapisan batuan bawah permukaan karena biaya surveinya relatif murah. Konfigurasi Schlumberger adalah teknik sounding di mana jarak antara elektroda arus bervariasi, sehingga hanya bentangan arus yang dipindahkan.

Metode ini paling sering digunakan untuk mencari sumber air. Susunan elektroda konfigurasi Schlumberger ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Susunan elektroda konfigurasi Schlumberger (Handika dan Seha, 2020)

Nilai konfigurasi Schlumberger ditunjukkan pada persamaan (2.14-2.16)

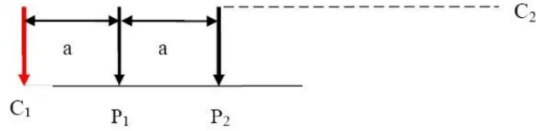
$$K = \frac{2\pi}{\left[\frac{1}{P_1 C_1} - \frac{1}{P_1 C_2} - \frac{1}{P_2 C_1} + \frac{1}{P_2 C_2}\right]} \quad (2.14)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left[\frac{1}{b-a} - \frac{1}{b+a} - \frac{1}{b+a} + \frac{1}{b-a}\right]} \quad (2.15)$$

$$K = \frac{\pi(b^2 - a^2)}{2a} \quad (2.16)$$

(Nugroho, M & Afiatna, 2016)

c. Konfigurasi Konfigurasi Dipole – Dipole



*Gambar 2. 6 Susunan elektroda konfigurasi dipole-dipole
(Kanyawan dan Zulfian, 2020)*

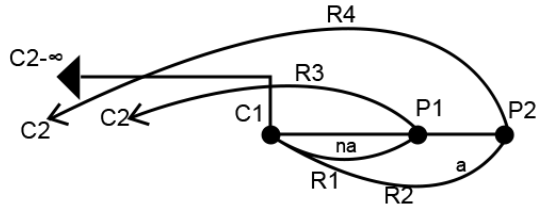
Nilai resistivitas semu dari konfigurasi dipole-dipole adalah: $\rho = KR$ dengan K adalah faktor geometri yang ditunjukkan oleh persamaan (2.17)

$$K = n(n+1)(n+2)\pi a \quad (2.17)$$

(Kanyawan & Zulfian, 2020)

d. Konfigurasi Pole – Dipole

Pole-dipole merupakan salah satu konfigurasi yang dapat digunakan untuk pendugaan geologi struktur bawah permukaan yang memiliki kedalaman <500 m. Konfigurasi ini memiliki kelebihan yaitu penetrasi yang dalam, kelemahan konfigurasi ini adalah tingkat akurasi dari posisi benda yang kurang akurat (Yulian & Fakhrudin, 2017). Susunan elektroda konfigurasi pole-dipole ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Susunan elektroda konfigurasi pole-dipole (Nugroho, M dan Afiatna, 2016)

Nilai konfigurasi Pole-dipole ditunjukkan pada persamaan (2.18-2.24)

$$K=2\pi \left[\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) - \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) \right]^{-1} \quad (2.18)$$

$$=2\pi \frac{1}{\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{na+a} \right) - \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{\infty} \right)} \quad (2.19)$$

$$=2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{na+a-na}{(na+a)na} \right) - 0} \right) \quad (2.20)$$

$$=2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{a}{na^2+na^2} \right) - 0} \right) \quad (2.21)$$

$$=2\pi \left(\frac{1}{(n^2+n)a^2} \right) \quad (2.22)$$

$$K=2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{1}{(n^2+n)a} \right)} \right) \quad (2.23)$$

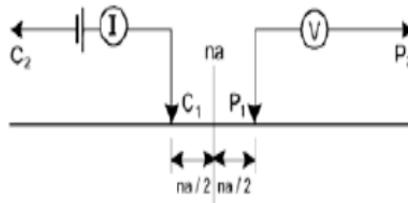
$$K=2\pi a (n^2 + n) \quad (2.24)$$

(Nugroho, M & Afiatna, 2016)

e. Konfigurasi Pole-Pole

Konfigurasi pole-pole merupakan konfigurasi elektroda yang paling sering digunakan untuk survey resistivitas 3D. Pada konfigurasi elektroda ini tidak

sama halnya dengan konfigurasi wenner ataupun schlumberger. Pada dasarnya, konfigurasi pole-pole ini hanya memanfaatkan dua elektroda saja, yakni elektroda arus (c1) dan elektroda lainnya berupa elektroda potensial (p1) (Supriyadi et al., 2012). Susunan elektroda konfigurasi pole-pole ditunjukkan pada gambar 2.8



Gambar 2. 8 Susunan elektroda konfigurasi pole-pole (Anonim, 2001)

Nilai konfigurasi Pole-pole ditunjukkan pada persamaan (2.25-2.29)

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)} - \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4}\right) \right) \quad (2.25)$$

$$K = 2\pi \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{\infty}\right) - \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{\infty}\right)} \quad (2.26)$$

$$K = 2\pi \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} - 0\right)} \quad (2.27)$$

$$K = 2\pi \frac{1}{a} \quad (2.28)$$

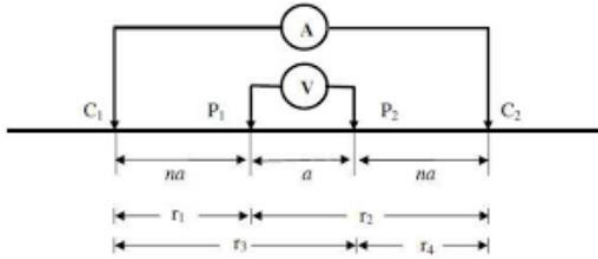
$$K = 2\pi \quad (2.29)$$

(Anonim, 2001)

f. Konfigurasi Wenner – schlumberger

Konfigurasi Wenner-Schlumberger adalah salah satu konfigurasi yang digunakan dalam metode geolistrik dengan menggabungkan teknik metode Wenner dan Schlumberger (Irjan, 2012). Dalam konfigurasi ini, spasi antar elektroda tetap konstan dengan perbandingan jarak antara $C1 - P1 - P2 - C2$, di mana jarak $C1 - P1$ maupun $P2 - C2$ adalah na , sedangkan jarak $P1 - P2$ adalah spasi a . Saat nilai n meningkat, kedalaman pengukuran juga bertambah menjadi $2na$ dan seterusnya. Ketika jumlah n bertambah, sensitifitas positif yang tinggi di antara $P1 - P2$ menyebar mendekati $C1 - C2$. Konfigurasi ini memiliki sensitifitas yang baik untuk melihat penampang vertikal model bawah permukaan, sehingga baik digunakan untuk survei geoteknik, seperti mencari lapisan keras di bawah permukaan untuk fondasi bangunan. (Kanata, B., dan Zubaidah, 2008).

Pengaturan elektroda pada konfigurasi Wenner-Schlumberger dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Konfigurasi wenner-schlumberger (Irjan, 2012)

Nilai konfigurasi Wenner-Schlumberger ditunjukkan pada persamaan (2.30-2.36)

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \right) \quad (2.30)$$

$$K = 2\pi \frac{1}{\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{(a+na)}\right) - \left(\frac{1}{(a+na)} - \frac{1}{na}\right)} \quad (2.31)$$

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{(a+na)-na}{na(a+na)}\right) - \left(\frac{na-(a+na)}{na(a+na)}\right)} \right) \quad (2.32)$$

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{a}{(na^2+(na)^2)} + \frac{a}{(na^2+(na)^2)}\right)} \right) \quad (2.33)$$

$$K = \frac{1}{\frac{2a}{(n+n^2)a^2}} \quad (2.34)$$

$$K = \frac{1}{\frac{2}{(n+n^2)a}} \quad (2.35)$$

$$K = \pi a (n + n^2) \quad (2.36)$$

(Irjan, 2012)

b. Sifat Kelistrikan Batuan

Setiap jenis batuan memiliki karakteristik unik, termasuk sifat kelistrikan. Salah satu sifat tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis), yang mengukur kemampuan batuan untuk menghantarkan arus listrik. Semakin tinggi nilai resistivitas suatu batuan, semakin sulit batuan tersebut menghantarkan arus listrik, dan sebaliknya, semakin rendah nilai resistivitas, semakin mudah arus listrik mengalir melaluinya. (Anwar, 2002). Tabel resistivitas batuan di tunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Resistivitas batuan (Telford, 1990)

Jenis Batuan	Resistivitas (Ohm meter)
Cnsolidated shales (Serpihan gabungan)	$20 - 2 \times 10^3$
Argilites	$10 - 8 \times 10^2$
Konglomerat	$2 \times 10^3 - 10^4$
Batu Pasir	$1-6,4 \times 10^8$
Batu gamping	$50-10^7$
Dolomite	$3,5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Lempung basah tidak gabungan	20
Marls	3 - 70
Lempung	1 - 100
Alluvium dan Pasir	10 - 800
Oil sands	4 - 800
Besi	10^{-7}
Granit (Batuan beku)	$3 \times 10^3 - 10^6$
Andesit (Batuan beku)	$1,7 \times 10^3$
Limestone (Batuan beku)	$50 - 10^3$

Kondisi bawah permukaan dapat sangat bervariasi, tergantung pada kondisi tanah atau batuan, kelembaban, dan suhu. Oleh karena itu, dalam penggunaan metode resistivitas, penting untuk memperhitungkan pengaruh material bawah permukaan (Sukur, 2015).

Pada kondisi basah, material bawah permukaan biasanya memiliki resistivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi kering. Hal ini terjadi karena kelembaban dalam material bawah permukaan dapat meningkatkan konduktivitas listrik. Kondisi basah dapat terjadi akibat hujan, banjir, atau adanya sumber air di bawah permukaan tanah (Sukur, 2015).

Dalam interpretasi data resistivitas pada kondisi basah, perlu memperhatikan faktor-faktor seperti kedalaman muka air tanah, jenis tanah, dan jenis batuan yang ada di bawah permukaan. Misalnya, jika muka air tanah cukup dalam, resistivitasnya mungkin tidak terlalu berubah pada kondisi basah. Sebaliknya, jika muka air tanah dangkal, resistivitas dapat sangat dipengaruhi oleh kelembaban (Sukur, 2015).

Pada kondisi kering, resistivitas material bawah permukaan biasanya lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi basah. Hal ini terjadi karena air memiliki konduktivitas listrik yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tanah atau batuan. Oleh karena itu, kelembaban yang rendah dapat meningkatkan resistivitas (Waluyo, 1984).

Dalam interpretasi data resistivitas pada kondisi kering, perlu memperhatikan faktor-faktor seperti kandungan air tanah, tipe tanah atau batuan, dan suhu lingkungan. Misalnya, pada daerah gurun yang kering, resistivitas material bawah permukaan cenderung lebih tinggi karena kelembaban yang rendah (Waluyo, 1984).

Dalam keseluruhan, interpretasi data resistivitas pada kondisi bawah permukaan harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti jenis tanah, jenis batuan, kelembaban, kedalaman muka air tanah, dan suhu lingkungan. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, interpretasi data resistivitas dapat memberikan informasi yang lebih akurat tentang kondisi bawah permukaan (Tulus et al., 2013).

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Penelitian oleh Noviardi (2021) yang berjudul “Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Menentukan Resistivitas Pasir, Batubara, dan Lempung Berdasarkan Miniatur Model” Menghasilkan beberapa temuan penting. Berdasarkan hasil pengukuran dan tujuan pelaksanaan pengukuran pada miniatur model di CV, didapatkan bahwa nilai resistivitas dari model miniatur lapisan pasir berkisar antara 235 - 462 Ωm , lapisan batubara berkisar antara 90,3 - 154 Ωm , dan lapisan lempung berkisar antara 1,70 - 60 Ωm . Sedangkan nilai resistivitas yang dihasilkan dari pemodelan ke depan (forward modeling) untuk lapisan pasir adalah 265 - 436 Ωm , untuk lapisan batubara adalah 91,7 - 159 Ωm , dan untuk lapisan lempung adalah 17,3 - 63,1 Ωm . Perbandingan nilai resistivitas antara model miniatur dan pemodelan ke depan menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan, dengan selisih nilai pada lapisan pasir sebesar 4 Ωm , pada lapisan batubara sebesar 6,4 Ωm , dan pada lapisan lempung sebesar 18,7 Ωm . Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa nilai resistivitas yang dihasilkan dari pemodelan ke depan umumnya lebih besar

dibandingkan dengan nilai yang dihasilkan dari model miniatur.

Penelitian selanjutnya oleh Sukur (2015) dengan judul Struktur Bawah Permukaan Tanah di Kota Lama Semarang Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity Konfigurasi Schlumberger. Kesimpulan nya adalah peneliti sedang melakukan penelitian untuk menentukan struktur bawah permukaan tanah dan mengidentifikasi lokasi banjir terparah di wilayah Kota Lama Semarang. Penelitian ini menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi schlumberger dan perangkat lunak pengolahan data seperti IP2Win dan Corel Draw X5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai resistivitas lapisan batuan berkisar antara 4,58 Ω m hingga 109 Ω m, terdistribusi dalam tiga lapisan tanah yaitu topsoil, batupasir, dan batu lempung. Lapisan batu lempung dengan nilai resistivitas antara 94,5 Ω m hingga 109 Ω m diduga sebagai lokasi banjir terparah, karena batu lempung memiliki resistivitas yang rendah dan ditemukan pada kedalaman 9m hingga 16m dibawah permukaan tanah.

Penelitian oleh Ayu (2021) dengan judul Analisis Potensi Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger Di Universitas

Muhammadiyah Mataram yang bertujuan mencari resistivitas atau tahanan jenis dari batuan. Pada metode tahanan jenis konfigurasi schlumberger, bumi diasumsikan sebagai bola pada yang mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, maka harusnya resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak bergantung atas spasi elektroda. Namun pada kenyataanya bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan yang berbeda-beda sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Maka harga resistivitas yang terukur bukan merupakan harga resistivitas satu lapisan saja, tetapi beberapa lapisan, hal ini terutama untuk spasi elektroda yang lebar. Daerah penelitian terletak di Kota Mataram yang terdapat dua hasil data dari dua lokasi yang berbeda, pencapaian dari penelitian di lokasi ini untuk mengetahui litologi dan potensi aquifer di Universitas Muhammadiyah Mataram.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan metode eksperimen. Dalam penelitian ini, dibuat sebuah miniatur model bawah permukaan bumi yang bertujuan untuk mengevaluasi kondisi bawah permukaan bumi dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas. Miniatur ini dirancang untuk merepresentasikan keberadaan anomali dibawah permukaan. Hal ini memungkinkan para peneliti untuk mensimulasikan dan mengetahui respons resistivitas bawah permukaan. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana metode geolistrik resistivitas dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan anomali di bawah permukaan bumi secara akurat dan efisien.

B. Waktu Penelitian

1. Waktu penelitian

Waktu penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Waktu penelitian

No	Kegiatan	Bulan				
		1	2	3	4	5
1.	Studi Literatur					
2.	Pengambilan Data					
3.	Pengolahan Data					
4..	Analisis/Interpretasi Data					

C. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

a. Alat penelitian

1. *Alat resistivity meter* guna menampilkan nilai arus (I) dan tegangan (V)
2. *Software RES2DINV* sebagai mengolah data geofisika metode geolistrik menggunakan konfigurasi wenner
3. Laptop untuk mengolah data di miniatur sejumlah 1.



Gambar 3. 2 Tampilan alat geolistrik

b. Bahan Penelitian

1. Sterefoam sebagai tempat medium yang merepresentasikan bawah permukaan bumi.
2. Pasir sebagai medium bawah permukaan.
3. Semen sebagai bahan untuk anomali.
4. Selembar kardus sebagai tempat meletakkan elektroda sesuai posisi.
5. Paku sebagai elektroda.

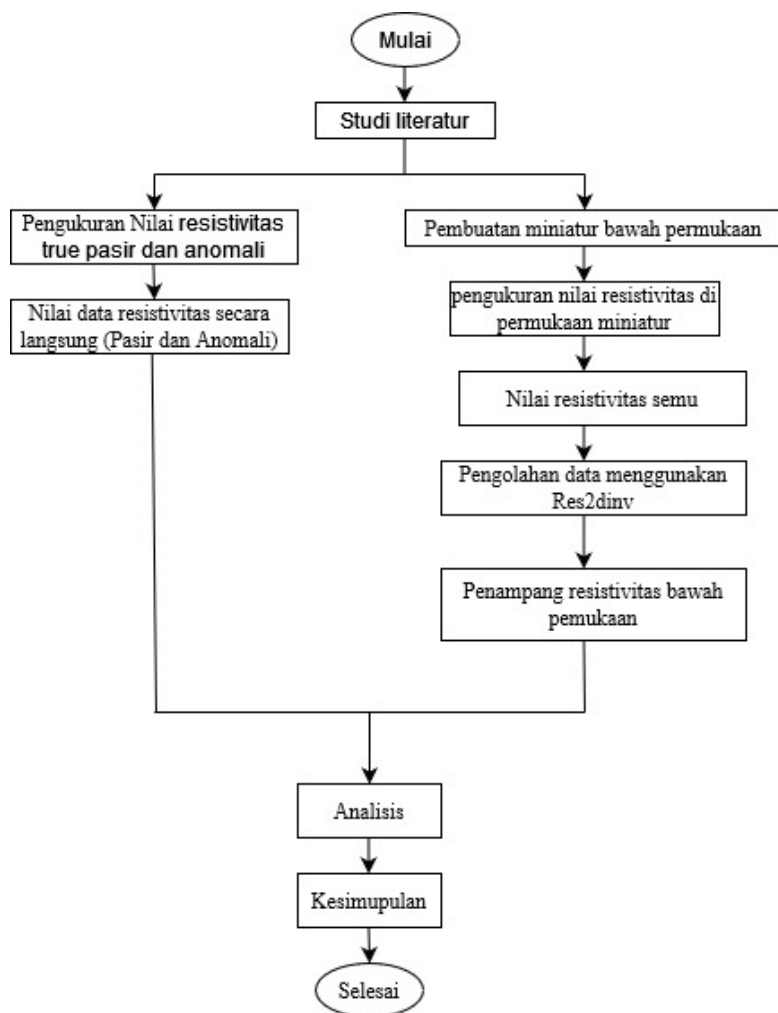
D. Prosedur Penelitian

Pengukuran nilai resistivitas sesungguhnya dari anomali dilakukan dengan membuat anomali menggunakan semen yang dibentuk menjadi kubus dengan ukuran panjang 6 cm dan luas permukaan 3 cm^2 . Anomali ini kemudian diukur menggunakan resistivity

meter. Nilai yang didapatkan dari resistivity meter berupa arus dan potensial. Berdasarkan persamaan resistivitas, nilai resistivitas sesungguhnya dapat dihitung dan diketahui. Untuk melakukan pengukuran nilai resistivitas di permukaan miniatur, langkah pertama yang dilakukan adalah merancang spasi pada konfigurasi Wenner. Spasi yang digunakan adalah 3 cm, yang dipilih sesuai dengan geometri dari anomali. Setelah spasi ditentukan, pengukuran dilakukan dengan meletakkan elektroda (paku) sesuai bentangan yang telah dirancang sebelumnya. Proses ini dilakukan hingga mencapai bentangan maksimal dari miniatur. Hasil pengukuran berupa nilai potensial dan arus pada setiap bentangan.

Pada tahap pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Res2dinv*, hasil distribusi resistivitas bawah permukaan diperoleh dalam bentuk data arus dan potensial. Sebelum mendapatkan nilai resistivitas, langkah pertama adalah mencari rumus geometri berdasarkan konfigurasi Wenner. Rumus geometri ini diperlukan untuk menghitung nilai resistivitas semu dari data arus dan potensial yang telah diukur. Langkah berikutnya adalah membuka notepad dan menyalin data dari Excel, termasuk nilai datum, spasi (a), n , dan ρ , ke

dalam notepad dengan format teks (txt). Setelah data disimpan dalam format yang tepat, software *Res2dinv* digunakan untuk mengolah data ini. Di *Res2dinv*, pilih menu file dan kemudian pilih opsi "read data file" untuk mengimpor file data yang telah disiapkan. Setelah data dimuat, pilih opsi "inversion" dan kemudian pilih "carry out inversion" untuk memulai proses inversi. Diagram alir penelitian ditunjukkan ada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian

E. Teknik Analisis Data

Analisa data dilakukan dengan adanya pengolahan data untuk memastikan konsistensi dan keandalan dari hasil pengukuran. Selanjutnya, berdasarkan data yang diukur dapat menghasilkan model resistivitas bawah permukaan menggunakan teknik inversi atau *modelling* geolistrik. Inversi dalam konteks *Res2dinv* adalah proses menggunakan data resistivitas semu yg diukur dari lapangan untuk membangun model resistivitas dua dimensi bawah permukaan. Proses inversi bertujuan untuk menemukan distribusi resistivitas yg sesuai dg data pengukuran. Hasil inversi digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan semen (anomali) di dalam medium pasir.

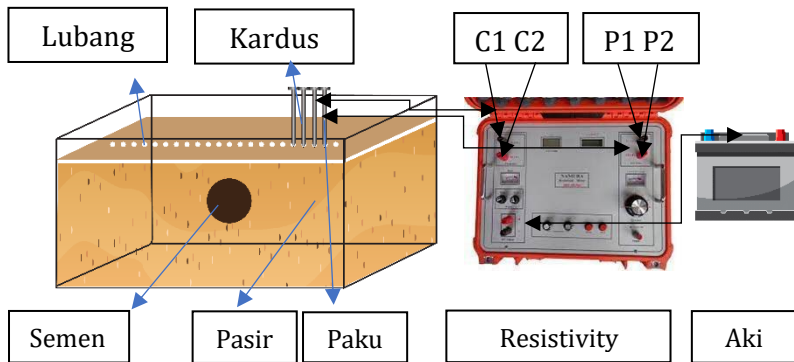
Model inversi kemudian dibandingkan dengan keadaan sesungguhnya (miniatur). Nilai resistivitas dari semen (anomali) yang telah diukur digunakan untuk melakukan interpretasi atau analisis keberadaan anomali pada penampang resistivitas yang dihasilkan. Hasil interpretasi keberadaan anomali tersebut kemudian dibandingkan dengan keberadaan anomali yang diletakkan dalam miniatur.

Kesimpulan yang diperoleh mencerminkan sejauh mana keberhasilan metode geolistrik dalam

mengidentifikasi keberadaan anomali secara akurat. Analisis data secara menyeluruh dapat dilakukan untuk mengevaluasi keberhasilan metode geolistrik dalam mengidentifikasi keberadaan anomali struktur bawah permukaan.

F. Desain Alat

Desain alat pemodelan bawah permukaan mencakup wadah sterefoam, jumper, semen Resistivity meter, dan Aki. Miniatur dibuat untuk merepresentasikan material yang diuji. Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah pasir, semen (anomali). Pengukuran pertama, pasir dimasukkan ke dalam miniatur tanpa ada anomali yang diberikan. Pengukuran kedua, Miniatur berisi pasir dan diberi semen yang berukuran 6cm di dalamnya bertujuan sebagai anomali. Penelitian ketiga, Miniatur berisi pasir dan diberi semen yang berukuran 9cm di dalamnya bertujuan sebagai anomali. Desain alat pemodelan bawah permukaan ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Desain alat pemodelan bawah permukaan tampak depan

BAB IV

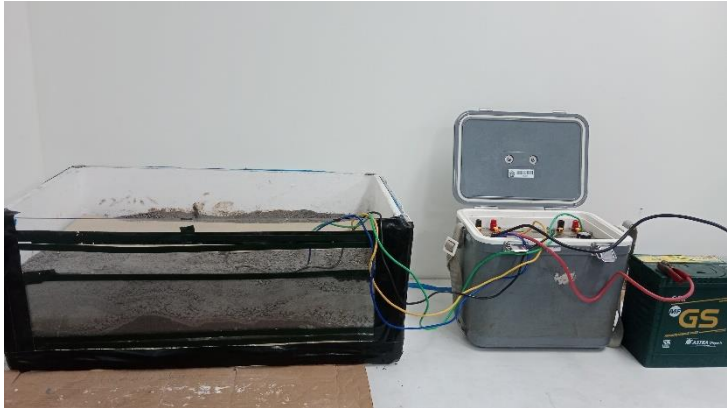
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Miniatur

Penelitian ini membuat miniatur bawah permukaan untuk memvalidasi hasil dari penerapan metode resistivitas geolistrik dalam mendeteksi anomali resistivitas. Penelitian ini menggunakan konfigurasi *wenner*. Dalam konfigurasi *wenner*, empat elektroda ditempatkan pada permukaan tanah dengan jarak tertentu. Wadah miniatur berukuran 69 cm x 38 cm x 26 cm serta kedalaman dari baseman ke permukaan 10 cm terbuat dari *sterefoam* yang diisi pasir dan semen sebagai anomali. Elektroda dihubungkan ke alat resistivitas dan dilakukan pengukuran pada 55 titik untuk mendapatkan distribusi resistivitas di bawah permukaan miniatur.

Untuk menciptakan anomali resistivitas yang dapat dideteksi oleh metode geolistrik, dua jenis objek berbeda ditempatkan di dalam pasir. Objek pertama adalah semen berukuran panjang 6cm dan luas permukaan 3cm x 3cm ditempatkan pada posisi $(x, y, z) = (34 \text{ cm}, 18 \text{ cm}, 10 \text{ cm})$ dari sudut wadah. Objek kedua adalah semen dengan panjang 9 cm dan luas permukaan 3 cm x 3 cm, ditempatkan pada posisi $(x, y, z) = (35 \text{ cm}, 25 \text{ cm}, 15 \text{ cm})$. Pemilihan semen didasarkan pada perbedaan

resistivitasnya yang signifikan. Semen memiliki resistivitas lebih tinggi dibandingkan pasir. Miniatur penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Miniatur Penelitian

B. Penerapan Metode Resistivitas

Alat resistivitas yang digunakan dalam penelitian ini telah dikalibrasi sebelumnya untuk memastikan keakuratan pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik melalui elektroda arus dan mengukur tegangan yang dihasilkan antara elektroda potensial. Nilai resistivitas semu dihitung berdasarkan tegangan terukur dan arus yang diinjeksikan, dengan mempertimbangkan jarak antar elektroda. Data resistivitas semu yang diperoleh dari pengukuran di berbagai titik di sepanjang permukaan miniatur kemudian diolah menggunakan perangkat lunak khusus, seperti

RES2DINV, untuk menghasilkan model distribusi resistivitas bawah permukaan.

Elektroda resistivitas ditempatkan di permukaan pasir sesuai konfigurasi Wenner. Dalam konfigurasi ini, elektroda diletakkan dalam garis lurus dengan jarak yang sama antara satu elektroda dengan elektroda berikutnya, dalam eksperimen ini jaraknya adalah 5 cm. Jarak antar elektroda ini dipilih untuk memungkinkan pengukuran yang cukup detail dalam skala miniatur, dengan tetap mempertimbangkan batasan ruang yang ada. Elektroda terbuat dari logam yang baik dalam menghantarkan arus listrik dan memiliki kontak baik dengan pasir untuk memastikan pengukuran yang akurat.

Konfigurasi elektroda dipasang pada permukaan miniatur, dan pengukuran resistivitas dilakukan pada berbagai titik untuk mendapatkan distribusi resistivitas bawah permukaan miniatur tersebut. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dibandingkan dengan kondisi sebenarnya dari miniatur untuk mengevaluasi keakuratan dan efektivitas metode resistivitas. Miniatur diisi oleh pasir, dan media semen sebagai anomali kemudian dialiri listrik dari sumber aki menggunakan resistivity meter. Telah dilakukan pengambilan data di UIN Walisongo dengan menggunakan miniatur model yang sudah

dirancang sedemikian rupa. Penelitian menggunakan pengukuran geolistrik konfigurasi *wenner* untuk menentukan model bawah permukaan, pendugaan anomali yang terdapat pada miniatur. Data yang diperoleh berupa Arus (I) dan Potensial (V). Data tersebut kemudian diolah menggunakan software Ms. Excel, *Notepad* dan *RES2DINV* yang berguna untuk mengolah data resistivitas menjadi profil bawah permukaan. Gambar profil resistivitas hasil interpretasi untuk melihat struktur bawah permukaan miniatur. Kemudian dibuat *inversion*. Konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi *wenner*. Konfigurasi ini digunakan karena dapat memetakan struktur bawah permukaan secara keseluruhan. Penelitian ini dilakukan melalui dua proses pengukuran, yaitu pengukuran miniatur berisi pasir dan pengukuran miniatur berisi pasir serta media semen sebagai anomali.

Hasil pengukuran menunjukkan variasi resistivitas yang diinterpretasi sebagai anomali pada posisi dan kedalaman tertentu yang sesuai dengan lokasi semen yang ditempatkan dalam pasir. Model resistivitas ini memberikan gambaran jelas tentang distribusi resistivitas di bawah permukaan miniatur, mengindikasikan

keberadaan objek dengan resistivitas berbeda dibandingkan medium sekitarnya.

C. Penelitian Pertama

Penelitian pertama, miniatur berisi pasir homogen, dengan 4 buah elektroda yang terdiri dari 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial, jarak elektroda 4 cm. Data penelitian ditunjukkan pada tabel 4.1

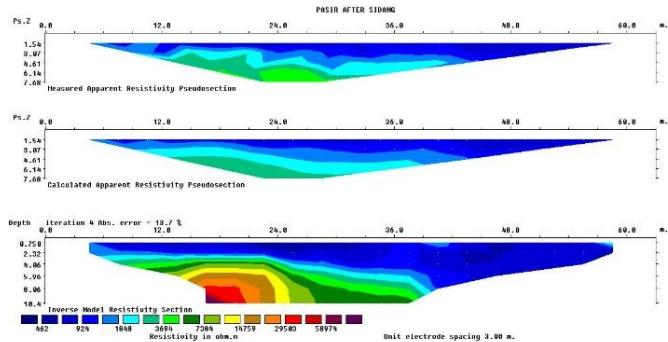
Tabel 4. 1 Data penelitian pertama

Data ke	(Volt)	(Ampere)
1	4.580	0.051
2	2.927	0.054
3	3.892	0.047
4	3.190	0.059
5	2.999	0.070
6	2.699	0.061
7	2.302	0.069
8	3.374	0.074
9	3.092	0.074
10	3.555	0.073
11	3.892	0.073
12	2.909	0.070
13	4.41	0.073
14	2.786	0.076
15	2.785	0.078
16	3.848	0.077
17	3.681	0.081
18	3.154	0.080
19	5.29	0.083
20	2.858	0.060
21	2.212	0.074
22	3.764	0.054
23	3.432	0.065
24	3.376	0.051
25	2.120	0.064
26	3.099	0.075
27	2.283	0.077

Data ke	(Volt)	(Ampere)
28	1.828	0.078
29	2.434	0.076
30	2.354	0.079
31	2.292	0.079
32	1.658	0.080
33	1.661	0.070
34	1.563	0.083
35	3.229	0.052
36	3.547	0.071
37	3.548	0.062
38	2.280	0.071
39	2.693	0.063
40	2.032	0.078
41	2.705	0.080
42	2.457	0.076
43	2.625	0.078
44	2.437	0.066
45	2.168	0.084
46	3.434	0.067
47	2.984	0.070
48	3.839	0.060
49	3.627	0.067
50	2.181	0.082
51	2.280	0.084
52	2.323	0.081
53	2.609	0.067
54	2.986	0.069
55	2.934	0.064

a. Inversi *Robust*

Hasil pemodelan menggunakan *Res2dinv* pasir dengan invers *robust* pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Pasir dengan inversi *robust*

Gambar di atas adalah hasil inversi *robust* dari model bawah permukaan tanah menggunakan konfigurasi Wenner metode resistivitas. Hasil ini merupakan pengukuran pada sebuah miniatur kondisi bawah permukaan yang diatur agar homogen, dengan medium berupa pasir. Bagian pertama dari gambar menunjukkan "*Measured Apparent Resistivity Pseudosection*" yang menampilkan variasi resistivitas semu yang terukur dari permukaan hingga kedalaman tertentu. Dalam bagian ini, resistivitas yang terukur cenderung menunjukkan variasi yang tidak terlalu signifikan, dengan warna dominan biru dan hijau

menunjukkan resistivitas yang relatif rendah dan cukup homogen. Bagian kedua adalah "*Calculated Apparent Resistivity Pseudosection*" yang menunjukkan variasi resistivitas semu yang dihitung berdasarkan model bawah permukaan hasil proses inversi. Pola warna pada bagian ini mirip dengan *pseudosection* terukur, yang menunjukkan bahwa model inversi yang dihasilkan cukup baik dalam merepresentasikan kondisi sebenarnya dari bawah permukaan tanah. Bagian ketiga adalah "*Inverse Model Resistivity Section*" yang menampilkan distribusi resistivitas bawah permukaan tanah dengan lebih rinci, bagian ini bentuknya persegi dimana dua sisi merupakan. Area dengan warna biru muda hingga hijau menunjukkan resistivitas yang lebih rendah, sedangkan area dengan warna merah menunjukkan resistivitas yang lebih tinggi. Pada model ini, terlihat bahwa bagian atas hingga kedalaman sekitar 5 cm memiliki resistivitas yang lebih rendah, yang diwakili oleh warna biru dan hijau. Di bagian bawahnya, mulai dari kedalaman sekitar 5 cm ke bawah, terdapat variasi warna merah dan oranye yang menunjukkan resistivitas yang lebih tinggi. Hal ini juga dapat disebabkan oleh adanya perbedaan komposisi material atau keberadaan material yang memiliki sifat osilator

lebih dominan di area tersebut, yang menghambat aliran arus listrik dan menyebabkan kenaikan resistivitas.

Interpretasi dari hasil ini menunjukkan bahwa medium pasir yang homogen berhasil diidentifikasi dengan baik oleh metode resistivitas ini. Bagian atas yang memiliki resistivitas lebih rendah mungkin menunjukkan pasir yang lebih lembab, sedangkan resistivitas yang lebih tinggi di bagian bawah mungkin menunjukkan pasir yang lebih kering atau lebih padat. Namun secara keseluruhan, variasi resistivitas ini masih dalam rentang yang konsisten dengan medium pasir homogen, yang mengindikasikan bahwa tidak terdapat anomali signifikan di dalam model bawah permukaan ini. Hasil ini menegaskan bahwa medium pasir yang homogen dapat terdeteksi dengan metode resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner.

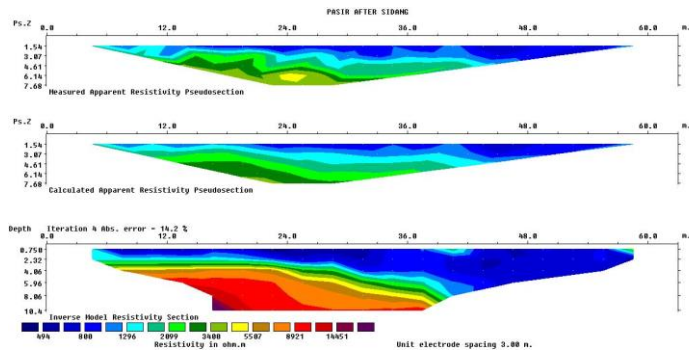
Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai error RMS sebesar 26.59% iterasi kedua dengan nilai absolute error 15.71%. iterasi ketiga dengan nilai absolute error 14.08% dan iterasi terakhir dengan nilai absolut error 13.7%. penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai error yang didapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 12.8%

menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai absolute error sebesar 12.8%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

Warna pada gambar memberikan informasi tentang perbedaan resistivitas, dengan nilai resistivitas yang ditunjukkan pada skala warna di bagian bawah gambar. Pada gambar ini, terlihat bahwa area dengan resistivitas tinggi (ditandai dengan warna merah dan kuning) berada di sekitar kedalaman tertentu, sementara warna biru menunjukkan area dengan resistivitas lebih rendah. Mengingat bahwa model miniatur ini hanya berisi medium pasir yang seharusnya memiliki resistivitas relatif homogen, kehadiran area dengan resistivitas tinggi bisa menunjukkan adanya kesalahan dalam pengukuran atau variasi kecil dalam kondisi fisik pasir yang mungkin tidak sepenuhnya homogen.

b. Inversi *Smoothnes Constrained Least Squares*

Ketiga, Pasir dengan inversi *Smoothnes* yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Pasir dengan inversi *smoothnes*

Gambar di atas adalah hasil inversi *smoothnes constrained least squares* dari model bawah permukaan tanah menggunakan konfigurasi Wenner metode resistivitas. Hasil ini berasal dari pengukuran pada sebuah miniatur kondisi bawah permukaan yang diatur agar homogen, dengan medium berupa pasir. Bagian pertama gambar menunjukkan "*Measured Apparent Resistivity Pseudosection*" yang menggambarkan variasi resistivitas semu yang terukur dari permukaan hingga kedalaman tertentu. Warna-warna yang terlihat mulai dari hijau hingga kuning menunjukkan variasi resistivitas dalam medium pasir yang dianggap

homogen. Bagian kedua adalah "*Calculated Apparent Resistivity Pseudosection*" yang menampilkan variasi resistivitas semu yang dihitung berdasarkan model bawah permukaan hasil proses inversi. Pola warna pada bagian ini menunjukkan konsistensi dengan *pseudosection* terukur, yang mengindikasikan bahwa model inversi yang dihasilkan cukup akurat dalam merepresentasikan kondisi sebenarnya dari bawah permukaan tanah. Bagian ketiga adalah "*Inverse Model Resistivity Section*" yang menggambarkan distribusi resistivitas bawah permukaan tanah dengan lebih rinci. Area dengan warna hijau hingga biru menunjukkan resistivitas yang lebih rendah, sedangkan area dengan warna merah hingga ungu menunjukkan resistivitas yang lebih tinggi. Pada model ini, terlihat bahwa bagian atas hingga kedalaman sekitar 2 cm memiliki resistivitas yang lebih rendah, yang diwakili oleh warna hijau dan biru. Di bagian bawahnya, mulai dari kedalaman sekitar 2 cm ke bawah, terdapat variasi warna merah dan ungu yang menunjukkan resistivitas yang lebih tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya perbedaan komposisi material atau keberadaan material yang memiliki sifat osilator lebih dominan di area tersebut, yang

menghambat aliran arus listrik dan menyebabkan kenaikan resistivitas.

Interpretasi dari hasil ini menunjukkan bahwa medium pasir yang homogen berhasil diidentifikasi dengan baik oleh metode resistivitas ini. Bagian atas yang memiliki resistivitas lebih rendah mungkin menunjukkan pasir yang lebih lembab, sedangkan resistivitas yang lebih tinggi di bagian bawah mungkin menunjukkan pasir yang lebih kering atau lebih padat. Hasil ini menegaskan bahwa medium pasir yang homogen dapat terdeteksi dengan metode resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner.

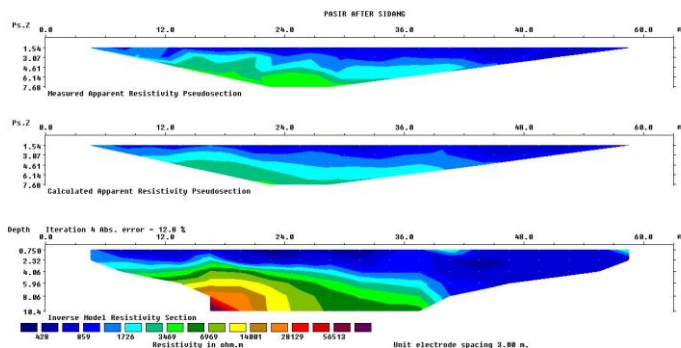
Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai *error* RMS sebesar 26.45% iterasi kedua dengan nilai *absolute error* 16.43%. iterasi ketiga dengan nilai *absolute error* 14.86% dan iterasi terakhir dengan nilai *absolut error* 14.18%. penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai error yang dididapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 14.02% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai absolute error sebesar 14.02%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software

Res2dinv yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa meskipun ada kesesuaian yang cukup baik antara data yang diukur dan model yang dihitung, terdapat beberapa variasi dan *error* yang perlu diperhatikan dalam analisis lebih lanjut.

c. Inversi *Logarithm*

Kedua, Pasir dengan inversi *logarithm* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4. 4 Pasir dengan inversi *logarithm*

Gambar di atas adalah hasil inversi *logarithm* dari model bawah permukaan tanah menggunakan konfigurasi Wenner metode resistivitas. Hasil ini merupakan pengukuran pada sebuah miniatur kondisi

bawah permukaan yang diatur agar homogen, dengan medium berupa pasir. Bagian pertama dari gambar menunjukkan "*Measured Apparent Resistivity Pseudosection*" yang menampilkan variasi resistivitas semu yang terukur dari permukaan hingga kedalaman tertentu. Pada bagian ini, resistivitas yang terukur menunjukkan adanya variasi warna dari hijau ke biru, yang mengindikasikan variasi resistivitas dalam medium pasir yang dianggap homogen. Bagian kedua adalah "*Calculated Apparent Resistivity Pseudosection*" yang menunjukkan variasi resistivitas semu yang dihitung berdasarkan model bawah permukaan hasil proses inversi. Pola warna pada bagian ini konsisten dengan pseudosection terukur, yang menunjukkan bahwa model inversi yang dihasilkan cukup baik dalam merepresentasikan kondisi sebenarnya dari bawah permukaan tanah. Bagian ketiga adalah "*Inverse Model Resistivity Section*" yang menampilkan distribusi resistivitas bawah permukaan tanah dengan lebih rinci. Area dengan warna biru muda hingga hijau menunjukkan resistivitas yang lebih rendah, sedangkan area dengan warna merah menunjukkan resistivitas yang lebih tinggi. Pada model ini, terlihat bahwa bagian atas hingga kedalaman sekitar 5 cm memiliki resistivitas

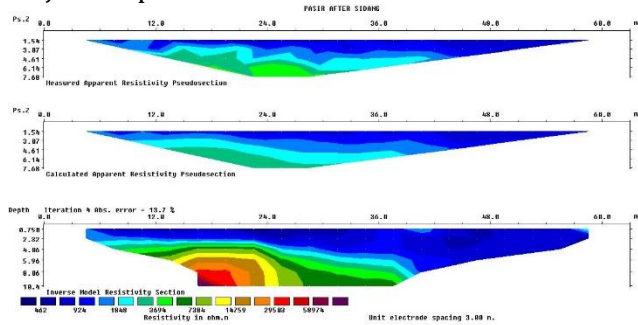
yang lebih rendah, yang diwakili oleh warna biru dan hijau. Di bagian bawahnya, mulai dari kedalaman sekitar 5 cm ke bawah, terdapat variasi warna merah dan orange yang menunjukkan resistivitas yang lebih tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya perbedaan komposisi material atau keberadaan material yang memiliki sifat osilator lebih dominan di area tersebut, yang menghambat aliran arus listrik dan menyebabkan kenaikan resistivitas.

Interpretasi dari hasil ini menunjukkan bahwa medium pasir yang homogen berhasil diidentifikasi dengan baik oleh metode resistivitas ini. Bagian atas yang memiliki resistivitas lebih rendah mungkin menunjukkan pasir yang lebih lembab, sedangkan resistivitas yang lebih tinggi di bagian bawah mungkin menunjukkan pasir yang lebih kering atau lebih padat. Namun, secara keseluruhan, variasi resistivitas ini masih dalam rentang yang konsisten dengan medium pasir homogen, yang mengindikasikan bahwa tidak terdapat anomali signifikan di dalam model bawah permukaan ini. Hasil ini menegaskan bahwa medium pasir yang homogen dapat terdeteksi dengan metode resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner.

Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai *error* RMS sebesar 17.80% iterasi kedua dengan nilai *absolute error* 14.28%. iterasi ketiga dengan nilai *absolute error* 13.10% dan iterasi terakhir dengan nilai *absolut error* 12.79%. penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai *error* yang didapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 12.8% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai *absolute error* sebesar 12.8%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

d. Inversi *Solve Least Squares Equation*

Keempat, Pasir dengan inversi *solve* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Pasir dengan inversi *solve least squares equation*

Interpretasi dari hasil inversi model resistivitas bawah permukaan menunjukkan beberapa informasi penting mengenai kondisi bawah permukaan yang diukur. Pada gambar pertama, yang merupakan pseudoseksi resistivitas terukur, terlihat bahwa nilai resistivitas cenderung lebih tinggi di daerah yang lebih dalam dan lebih rendah di daerah yang lebih dangkal. Pada gambar kedua, *pseudoseksi* resistivitas yang dihitung dari model inversi memperlihatkan hasil kalkulasi yang mirip dengan *pseudoseksi* terukur, meskipun ada beberapa perbedaan yang mungkin disebabkan oleh penyimpangan atau ketidaksesuaian

model. Gambar ketiga, menunjukkan model resistivitas hasil inversi yang sebenarnya.

Model ini memperlihatkan distribusi resistivitas di bawah permukaan berdasarkan iterasi ke-4 dengan error absolut sebesar 13.0%. Distribusi resistivitas cukup homogen, dengan sebagian besar nilai resistivitas berada pada kisaran 0.28 hingga 2.84 ohm.m. Warna biru di bagian atas menunjukkan resistivitas yang lebih rendah, hal ini merupakan lapisan pasir yang lebih basah atau terkompaksi, sementara warna merah dan ungu di bagian bawah menunjukkan resistivitas yang lebih tinggi, yang mungkin disebabkan oleh material yang lebih kering atau kurang terkompaksi. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya perbedaan komposisi material atau keberadaan material yang memiliki sifat osilator lebih dominan di area tersebut, yang menghambat aliran arus listrik dan menyebabkan kenaikan resistivitas.

Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai error RMS sebesar 26.59% iterasi kedua dengan nilai absolute error 15.71%. iterasi ketiga dengan nilai absolute error 14.08% dan iterasi terakhir dengan nilai absolut error 13.75%. penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai error yang didapatkan sudah mencapai

nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 13.7% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai *absolute error* sebesar 13.7%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

D. Penelitian Kedua

Penelitian kedua, miniatur berisi pasir dan semen ukuran panjang 6cm dan lebar 3cm sebagai anomali. Hasil dari pengukuran geometri dari semen yang berukuran pendek ditunjukkan pada tabel 4.2

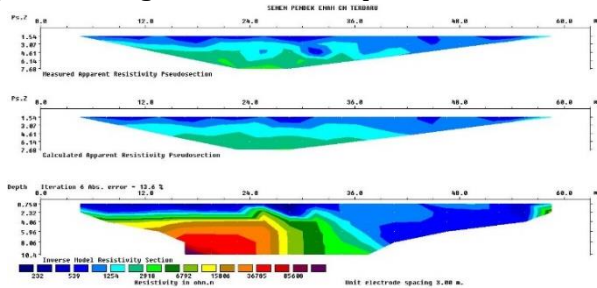
Tabel 4. 2 Tabel data penelitian kedua

Data ke	Volt	Ampere
1	3.094	0.067
2	2.452	0.066
3	2.081	0.068
4	3.252	0.068
5	1.809	0.069
6	2.677	0.073
7	2.114	0.073
8	2.774	0.07
9	1.618	0.073
10	2.254	0.074
11	3.407	0.072
12	3.226	0.072
13	4.35	0.073
14	2.754	0.066
15	3.224	0.072
16	3.247	0.074
17	2.744	0.077
18	3.090	0.079
19	6.32	0.069
20	3.600	0.078
21	2.521	0.08
22	2.414	0.078
23	1.783	0.079
24	3.091	0.078
25	3.242	0.078
26	2.557	0.064
27	1.811	0.068

Data ke	Volt	Ampere
28	2.656	0.068
29	2.398	0.069
30	1.663	0.076
31	1.794	0.07
32	1.459	0.069
33	2.011	0.072
34	1.875	0.072
35	3.222	0.076
36	2.862	0.076
37	2.875	0.077
38	2.873	0.08
39	1.702	0.085
40	2.981	0.072
41	0.796	0.079
42	2.320	0.069
43	1.377	0.077
44	2.265	0.074
45	1.367	0.076
46	2.699	0.082
47	3.078	0.075
48	1.963	0.083
49	2.442	0.078
50	3.014	0.075
51	2.154	0.073
52	1.850	0.072
53	2.521	0.082
54	2.628	0.072
55	2.538	0.086

a. Inversi *Robust*

Hasil pemodelan menggunakan *Res2dinv* Semen pendek dengan invers *robust* pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Semen pendek dengan inversi *robust*

Hasil inversi *robust* resistivitas dari data pengukuran pada miniatur kondisi bawah permukaan menunjukkan tiga pseudosection yang dihasilkan menggunakan konfigurasi Wenner. *Pseudosection* pertama menampilkan variasi resistivitas semu yang diukur, dengan nilai tinggi di bagian tengah dan rendah di sisi kiri dan kanan. Resistivitas semu yang tinggi, dengan nilai antara 4.61 hingga 7.68 ohm.m, terdeteksi di bagian tengah pada kedalaman sekitar 1.54 hingga 4.61 cm, sementara resistivitas semu yang rendah, dengan nilai antara 218 hingga 1.864 ohm.m, terdeteksi di bagian kiri dan kanan. *Pseudosection* kedua menampilkan pola resistivitas semu yang dihitung dari model inversi, menunjukkan kesesuaian yang cukup baik dengan data pengukuran.

Penampang resistivitas hasil model inversi pada bagian ketiga, dengan kesalahan absolut sebesar 13.9%, menunjukkan adanya anomali resistivitas tinggi dengan nilai mencapai 15.962 hingga 32.656 ohm.m, terletak di kedalaman sekitar 2.32 hingga 8.06 cm pada posisi antara 24 hingga 48 cm, yang mengindikasikan keberadaan material dengan resistivitas tinggi seperti semen. Selain itu, daerah dengan resistivitas rendah, dengan nilai antara 218 hingga 911 ohm.m, berada di kedalaman dangkal sekitar 0 hingga 3 cm, yang kemungkinan besar merupakan tanah basah.

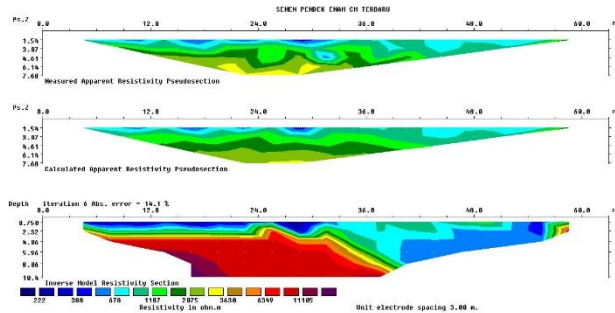
Kesimpulannya, anomali berupa semen terdeteksi pada posisi antara 24 hingga 48 cm dengan kedalaman antara 2.32 hingga 8.06 cm. Anomali membentang dari tengah ke arah kiri, hal ini disebabkan karena pasir yang berada disebelah kanan merupakan pasir basah mengandung fluida sehingga nilai resistivitas lebih rendah. Berbeda dengan pasir yang berada disebelah kiri yang memiliki resistivitas tinggi dikarenakan pasir kering. Selain itu disebabkan karena hasil interpolasi antara anomali dengan pengukuran pasir yang memiliki nilai resistivitas tinggi (tidak sepenuhnya homogen). Banyak data dan jarak terlalu kecil sehingga mengakibatkan adanya arus langsung mampu menyebabkan kerusakan

pada data. Sehingga memiliki perbedaan nilai resistivitas diantara keduanya. *Pseudosection* yang dihitung dari model inversi menunjukkan kesesuaian yang cukup baik dengan *pseudosection* yang diukur, menunjukkan bahwa model inversi yang dihasilkan cukup akurat dalam merepresentasikan kondisi bawah permukaan dan mampu mengidentifikasi anomali yang disebabkan oleh keberadaan semen di dalam tanah.

Penelitian ini terdapat enam iterasi. Iterasi pertama dengan nilai *error RMS* sebesar 30.20% iterasi kedua dengan nilai *absolute error* 18.15%. iterasi ketiga dengan nilai *absolute error* 15.97% iterasi ke empat dengan nilai *absolut error* 14.88%, iterasi kelima *absolut error* 13.97%, dan iterasi keenam *absolut error* 13.56%. penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai error yang didapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 13.06% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai *absolute error* sebesar 13.06%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

b. Inversi *Smoothness Constrained Least Squares*

Hasil pemodelan menggunakan *Res2dinv* Semen pendek dengan invers *smoothness* pada Gambar 4.8



Gambar 4. 7 Semen pendek dengan inversi *smoothness constrained least squares*

Gambar hasil inversi *smoothness constrained least squares* menggunakan konfigurasi Wenner pada metode resistivitas menunjukkan beberapa temuan penting mengenai kondisi bawah permukaan. Pada bagian atas gambar, pseudoseksi resistivitas semu yang diukur menunjukkan variasi resistivitas dalam kisaran sekitar 1.54 hingga 7.68 ohm.m. Variasi warna pada bagian ini mengindikasikan perbedaan resistivitas semu di sepanjang profil pengukuran, dengan anomali signifikan terlihat di tengah-tengah profil, menandakan adanya sesuatu yang berbeda di area tersebut.

Bagian tengah gambar memperlihatkan *pseudoseksi* resistivitas semu yang dihitung berdasarkan model bawah permukaan. Pola distribusi resistivitas yang dihitung menunjukkan kesamaan dengan pengukuran aktual, mengindikasikan kecocokan antara model dan data lapangan. Anomali resistivitas semu pada posisi yang sama dengan pengukuran menguatkan indikasi adanya area dengan resistivitas yang berbeda.

Bagian bawah gambar menampilkan hasil model inversi resistivitas, merepresentasikan distribusi resistivitas sebenarnya di bawah permukaan dengan kisaran 221 hingga lebih dari 7684 ohm.m. Warna-warna berbeda menunjukkan variasi resistivitas di bawah permukaan. Anomali resistivitas tinggi di sekitar tengah-tengah profil, yang ditandai dengan warna ungu-merah, kemungkinan besar disebabkan oleh semen yang ditempatkan di sana. Daerah dengan warna biru-hijau menunjukkan resistivitas lebih rendah, yang mencerminkan material bawah permukaan yang alami. Anomali membentang dari tengah ke arah kiri, hal ini disebabkan karena pasir yang berada disebelah kanan merupakan pasir basah yang mengandung fluida sehingga nilai resistivitas lebih rendah. Berbeda dengan pasir yang berada disebelah kiri yang memiliki resistivitas tinggi

dikarenakan pasir kering. Selain itu disebabkan karena hasil interpolasi antara anomali dengan pengukuran pasir yang memiliki nilai resistivitas tinggi (tidak sepenuhnya homogen). Banyak data dan jarak terlalu kecil sehingga mengakibatkan adanya arus langsung mampu menyebabkan kerusakan pada data. Sehingga memiliki perbedaan nilai resistivitas diantara keduanya

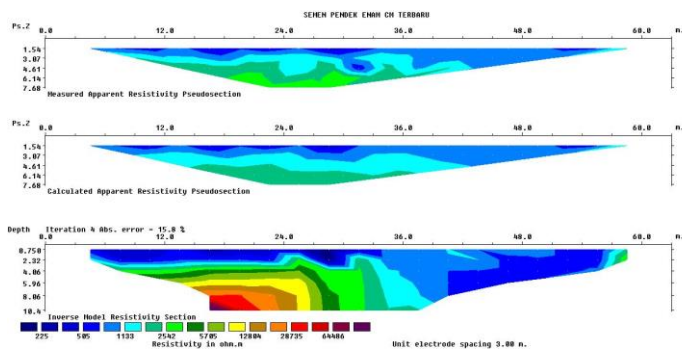
Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa anomali berupa material semen berhasil diidentifikasi dengan jelas di tengah-tengah profil pengukuran, sesuai dengan kondisi miniatur bawah permukaan yang diatur. Kecocokan model inversi dengan data pengukuran menunjukkan bahwa metode resistivitas dengan konfigurasi Wenner dan pendekatan *smoothness constrained least squares* efektif dalam mengidentifikasi dan menggambarkan variasi resistivitas bawah permukaan.

Penelitian ini terdapat enam iterasi. Iterasi pertama dengan nilai *error* RMS sebesar 30.09% iterasi kedua dengan nilai absolute *error* 18.82%. iterasi ketiga dengan nilai absolute *error* 16.61% iterasi keempat dengan nilai absolut error 15.33%, iterasi kelima 14.55% dan iterasi keenam 14.14%. Penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai *error* yang didapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai

absolute error sebesar 14.1% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai *absolute error* sebesar 14.1%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

c. Inversi *Logarithm*

Hasil pemodelan menggunakan *Res2dinv* Semen pendek dengan invers *logarithm* pada Gambar 4.7



Gambar 4. 8 Semen pendek dengan inversi *logarithm*

Hasil inversi resistivitas dari data pengukuran pada miniatur kondisi bawah permukaan menunjukkan tiga pseudosection yang dihasilkan menggunakan konfigurasi Wenner. *Pseudosection* pertama, yang menampilkan resistivitas semu yang diukur, menunjukkan variasi resistivitas dengan nilai tinggi di

bagian tengah dan rendah di sisi kiri dan kanan. Resistivitas semu yang tinggi, dengan nilai antara 16.545 hingga 32.656 ohm.m, terdeteksi di bagian tengah pada kedalaman sekitar 1.54 hingga 4.61 cm, sedangkan resistivitas semu yang rendah, dengan nilai antara 221 hingga 608 ohm.m, terdeteksi di bagian kiri dan kanan. *Pseudosection* kedua, yang menampilkan resistivitas semu yang dihitung dari model inversi, menunjukkan pola yang serupa dengan *pseudosection* yang diukur, yang mengindikasikan bahwa model inversi yang dihasilkan cukup sesuai dengan data pengukuran. Pada gambar ketiga adalah penampang resistivitas hasil model inversi, dengan kesalahan absolut sebesar 14.3%, menunjukkan bahwa anomali resistivitas tinggi, dengan nilai mencapai 16.545 hingga 32.656 ohm.m, terletak di kedalaman sekitar 2.25 hingga 7.46 cm pada posisi antara 24 hingga 48 cm. Ini menunjukkan adanya material dengan resistivitas tinggi seperti semen. Selain itu, daerah dengan resistivitas rendah, dengan nilai antara 227 hingga 772 ohm.m, berada di kedalaman dangkal sekitar 0 hingga 3 cm, yang kemungkinan besar merupakan tanah basah.

Kesimpulannya, anomali berupa semen terdeteksi pada posisi antara 24 hingga 48 cm dengan kedalaman antara 2.25 hingga 7.46 cm. Anomali membentang dari

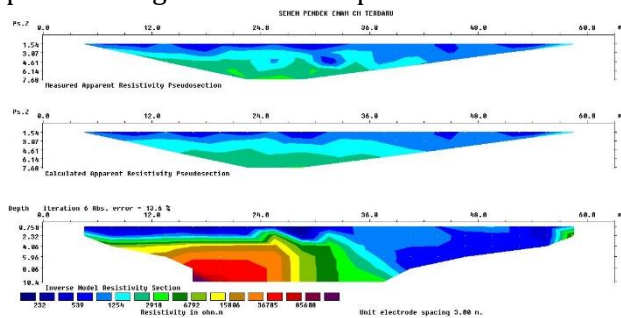
tengah ke arah kiri, hal ini disebabkan karena pasir yang berada disebelah kanan merupakan pasir basah mengandung fluida sehingga nilai resistivitas lebih rendah. Berbeda dengan pasir yang berada disebelah kiri yang memiliki resistivitas tinggi dikarenakan pasir kering. Selain itu disebabkan karena hasil interpolasi antara anomali dengan pengukuran pasir yang memiliki nilai resistivitas tinggi (tidak sepenuhnya homogen). Banyak data dan jarak terlalu kecil sehingga mengakibatkan adanya arus langsung mampu menyebabkan kerusakan pada data. Sehingga memiliki perbedaan nilai resistivitas diantara keduanya. Pseudosection yang dihitung dari model inversi cukup sesuai dengan pseudosection yang diukur, menunjukkan bahwa model inversi yang dihasilkan cukup akurat dalam merepresentasikan kondisi bawah permukaan dan mampu mengidentifikasi anomali yang disebabkan oleh keberadaan semen di dalam tanah.

Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai *error* RMS sebesar 20.86% iterasi kedua dengan nilai *absolute error* 17.59%. iterasi ketiga dengan nilai *absolute error* 16.48% dan iterasi terakhir dengan nilai *absolut error* 15.75%. penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi

sehingga nilai error yang didapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 15.08% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai *absolute error* sebesar 15.08%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

d. Inversi *Solve Least Squares Equation*

Hasil pemodelan menggunakan *Res2dinv* Semen pendek dengan invers *solve* pada Gambar 4.9



Gambar 4. 9 Semen pendek dengan inversi *solve least squares equation*

Hasil inversi *solve least squares equation* dengan menggunakan konfigurasi Wenner untuk metode resistivity pada gambar di atas memberikan interpretasi geologi bawah permukaan tanah dalam sebuah miniatur kondisi bawah permukaan yang telah diatur dengan

adanya anomali berupa semen di tengah. Bagian atas gambar menunjukkan pseudosection resistivitas semu terukur yang menggambarkan variasi resistivitas semu di sepanjang lintasan pengukuran. Warna yang lebih gelap atau hijau/biru menunjukkan nilai resistivitas yang lebih rendah, sedangkan warna yang lebih terang atau merah menunjukkan resistivitas yang lebih tinggi. Ini memberikan gambaran awal tentang distribusi resistivitas di bawah permukaan. Bagian tengah gambar adalah pseudosection resistivitas semu terhitung dari model inversi yang menunjukkan bagaimana data resistivitas semu dari model inversi mendekati data resistivitas semu terukur. Kesamaan pola antara pseudosection terukur dan terhitung menunjukkan bahwa model inversi telah berhasil mereproduksi data lapangan dengan cukup baik, mengindikasikan bahwa model inversi dapat dipercaya untuk menggambarkan struktur bawah permukaan.

Bagian bawah gambar adalah hasil dari inversi model resistivitas yang menunjukkan distribusi resistivitas di bawah permukaan tanah. Warna pada gambar ini mewakili nilai resistivitas yang berbeda, dengan skala resistivitas (dalam ohm.m) yang tertera di bagian bawah gambar. Terlihat pada kedalaman sekitar 0,75 hingga 5,56

cm di sepanjang lintasan dari sekitar 24 cm hingga 36 cm terdapat zona dengan resistivitas tinggi (warna merah hingga ungu) yang menunjukkan adanya material dengan resistivitas tinggi, sesuai dengan keberadaan semen sebagai anomali yang diletakkan di tengah. Anomali membentang dari tengah ke arah kiri, hal ini disebabkan karena pasir yang berada disebelah kanan merupakan pasir basah yang mengandung fluida sehingga nilai resistivitas lebih rendah. Berbeda dengan pasir yang berada disebelah kiri yang memiliki resistivitas tinggi dikarenakan pasir kering. Selain itu disebabkan karena hasil interpolasi antara anomali dengan pengukuran pasir yang memiliki nilai resistivitas tinggi (tidak sepenuhnya homogen). Banyak data dan jarak terlalu kecil sehingga mengakibatkan adanya arus langsung mampu menyebabkan kerusakan pada data. Sehingga memiliki perbedaan nilai resistivitas diantara keduanya. Semen umumnya memiliki resistivitas yang tinggi dibandingkan dengan material alami di sekitarnya. Di sekitar zona dengan resistivitas tinggi dan di bagian tepi lintasan (dari 0 hingga 12 cm dan dari 48 hingga 60 cm), terdapat zona dengan resistivitas rendah (warna hijau hingga biru) yang mewakili material yang lebih konduktif, kemungkinan berupa tanah atau material alami lainnya yang memiliki

kadar air lebih tinggi atau kandungan mineral yang lebih konduktif.

Dari hasil inversi ini, dapat disimpulkan bahwa metode resistivitas dengan konfigurasi Wenner berhasil mengidentifikasi anomali berupa semen yang diletakkan di tengah lintasan pengukuran. Anomali tersebut jelas terlihat pada model resistivitas bawah permukaan dengan nilai resistivitas yang tinggi, sementara daerah di sekitar anomali menunjukkan nilai resistivitas yang lebih rendah, mengindikasikan material alami bawah permukaan. Tingkat kesalahan absolut sebesar 14,0% menunjukkan kecocokan yang cukup baik antara data terukur dan model yang dihasilkan, meskipun perbaikan lebih lanjut bisa dilakukan untuk mengurangi kesalahan ini. Konfigurasi Wenner memberikan resolusi yang baik untuk mendeteksi anomali resistivitas di bawah permukaan, terutama anomali horizontal seperti yang ditunjukkan oleh keberadaan semen dalam studi ini. Model inversi menunjukkan adanya anomali resistivitas tinggi di sekitar tengah gambar pada kedalaman tertentu, yang ditandai dengan warna kuning, oranye, dan merah, mengindikasikan material dengan resistivitas tinggi seperti semen. Nilai resistivitas tertinggi di daerah tersebut mencapai $21.744 \Omega \cdot m$, konsisten dengan

resistivitas sebenarnya dari semen yang diletakkan di bawah permukaan.

Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai error RMS sebesar 30.20% iterasi kedua dengan nilai absolute error 18.15%. iterasi ketiga dengan nilai absolute error 15.97% dan iterasi keempat dengan nilai absolut error 14.88%, iterasi kelima 13.97%, iterasi keenam dengan nilai 13.56. Penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai error yang didapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 13.6% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai absolute error sebesar 13.6%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

E. Penelitian Ketiga

Penelitian ketiga, miniatur berisi pasir dan semen ukuran panjang 9cm dan lebar 3cm sebagai anomali. Hasil dari pengukuran geometri dari semen yang berukuran medium, ditunjukkan pada tabel 4.3.

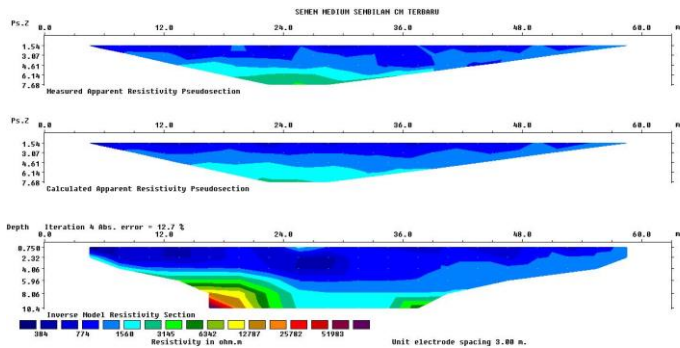
Tabel 4. 3 Data penelitian ketiga

Data ke	Volt	Ampere
1	2.289	0.067
2	3.112	0.07
3	2.653	0.07
4	2.058	0.064
5	2.678	0.066
6	4.41	0.068
7	2.232	0.069
8	3.821	0.068
9	2.231	0.068
10	2.547	0.069
11	3.572	0.067
12	4.04	0.069
13	3.532	0.068
14	2.181	0.073
15	2.779	0.071
16	3.947	0.063
17	3.164	0.076
18	4.56	0.073
19	4.71	0.075
20	2.114	0.062
21	2.187	0.062
22	1.328	0.063
23	1.692	0.064
24	1.731	0.066
25	1.689	0.066
26	2.433	0.067
27	1.857	0.066

Data ke	Volt	Ampere
28	1.920	0.065
29	1.584	0.066
30	2.018	0.068
31	2.459	0.068
32	2.685	0.067
33	2.282	0.071
34	2.313	0.061
35	1.938	0.07
36	2.340	0.068
37	1.792	0.069
38	1.672	0.07
39	1.540	0.071
40	1.865	0.073
41	1.613	0.072
42	1.313	0.073
43	1.102	0.074
44	1.689	0.072
45	1.299	0.075
46	2.018	0.072
47	2.122	0.074
48	2.319	0.073
49	2.144	0.071
50	1.649	0.071
51	1.493	0.076
52	2.189	0.076
53	1.977	0.071
54	2.419	0.069
55	2.055	0.071

a. Invers *Robust*

Hasil pemodelan menggunakan *Res2dinv* Semen medium dengan invers *robust* pada Gambar 4.10



Gambar 4. 10 Semen medium dengan inversi *robust*

Hasil inversi *robust* terhadap model bawah permukaan tanah menggunakan konfigurasi Wenner metode resistivitas menunjukkan beberapa hal penting. Pseudoseksi resistivitas nyata yang diukur di lapangan menampilkan distribusi resistivitas dengan warna biru dan hijau menunjukkan area dengan resistivitas rendah hingga sedang, sementara warna kuning dan merah menunjukkan area dengan resistivitas tinggi. *Pseudoseksi* resistivitas yang dihitung menunjukkan hasil perhitungan resistivitas yang diharapkan dari model bawah permukaan yang diperkirakan, membantu dalam mengevaluasi seberapa baik model tersebut mencocokkan data yang diukur. Model resistivitas bawah

permukaan yang diperoleh dari proses inversi menunjukkan anomali berupa semen dengan resistivitas $373.5 \Omega \cdot m$ di tengah, tampak pada kedalaman sekitar 0.75 hingga 8.06 meter. Resistivitas anomali ini diwakili oleh warna biru muda hingga hijau yang menunjukkan area dengan resistivitas sedang. Pada kedalaman dangkal (0 hingga 2 meter), terdapat variasi resistivitas yang rendah hingga sedang, mencerminkan lapisan tanah permukaan. Pada kedalaman sedang (2 hingga 5 meter), warna hijau dan kuning menunjukkan variasi resistivitas yang lebih tinggi, mencerminkan material bawah permukaan yang berbeda. Pada kedalaman yang lebih dalam (5 hingga 8 meter), warna merah menunjukkan resistivitas yang sangat tinggi, yang kemungkinan mencerminkan material yang sangat padat atau anomali semen tersebut. Anomali membentang dari tengah ke arah kiri, hal ini disebabkan karena pasir yang berada disebelah kanan merupakan pasir basah yang mengandung fluida sehingga nilai resistivitas lebih rendah. Berbeda dengan pasir yang berada disebelah kiri yang memiliki resistivitas tinggi dikarenakan pasir kering. Selain itu disebabkan karena hasil interpolasi antara anomali dengan pengukuran pasir yang memiliki nilai resistivitas tinggi (tidak sepenuhnya homogen). Banyak data dan jarak terlalu kecil sehingga

mengakibatkan adanya arus langsung mampu menyebabkan kerusakan pada data. Sehingga memiliki perbedaan nilai resistivitas diantara keduanya. Kesalahan absolut sebesar 10.6% menunjukkan bahwa model inversi cukup baik dalam mencocokkan data yang diukur dengan model bawah permukaan yang dihasilkan.

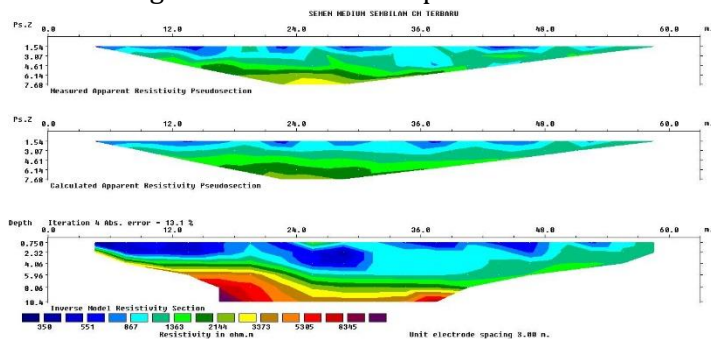
Model inversi menunjukkan adanya anomali resistivitas tinggi di sekitar tengah gambar pada kedalaman tertentu, yang ditandai dengan warna kuning, orange, dan merah, mengindikasikan material dengan resistivitas tinggi seperti semen. Nilai resistivitas tertinggi di daerah tersebut mencapai $373,5 \Omega \cdot m$, konsisten dengan resistivitas sebenarnya dari semen yang diletakkan di bawah permukaan.

Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai *error* RMS sebesar 21.71% iterasi kedua dengan nilai *absolute error* 14.58%. iterasi ketiga dengan nilai *absolute error* 13.14% dan iterasi terakhir dengan nilai *absolut error* 12.74%. penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai *error* yang dididapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 12.7% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai absolute error sebesar

12.7%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *Res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

b. Inversi *Smoothness Constrained Least Squares*

Hasil pemodelan menggunakan *Res2dinv* Semen medium dengan invers *smoothnes* pada Gambar 4.11



Gambar 4. 11 Semen medium dengan inversi *smoothnes constrained Least Squares*

Hasil inversi *smoothness constrained* menggunakan konfigurasi Wenner pada metode resistivity. Hasil ini berasal dari pengukuran pada miniatur kondisi bawah permukaan yang diatur dengan adanya anomali berupa semen yang diletakkan di tengah. Diagram pertama menunjukkan resistivitas semu yang terukur dari data lapangan, di mana warna hijau hingga biru menunjukkan resistivitas yang lebih tinggi, sedangkan warna merah

hingga kuning menunjukkan resistivitas yang lebih rendah. Terlihat adanya area dengan resistivitas rendah di sekitar bagian tengah grafik, yang menunjukkan keberadaan anomali berupa semen. Diagram kedua menunjukkan resistivitas semu yang dihitung berdasarkan model resistivitas yang dihasilkan dari proses inversi. Pola resistivitas yang terlihat mirip dengan yang diukur menunjukkan bahwa model yang dihitung memiliki kecocokan yang baik dengan data yang diukur. Anomali dengan resistivitas rendah, ditandai dengan warna hijau hingga biru, terlihat jelas di bagian tengah model, yang sesuai dengan posisi semen yang diletakkan di miniatur. Lapisan dengan resistivitas lebih tinggi, ditandai dengan warna merah hingga kuning, terlihat di bagian bawah model, menunjukkan lapisan material yang berbeda.

Kesimpulannya, anomali berupa semen yang diletakkan di tengah miniatur terdeteksi dengan jelas pada hasil inversi *smoothness constrained* ini, ditandai dengan area resistivitas rendah di bagian tengah model. Anomali membentang dari tengah ke arah kiri, hal ini disebabkan karena pasir yang berada disebelah kanan merupakan pasir basah yang mengandung fluida sehingga nilai resistivitas lebih rendah. Berbeda dengan pasir yang

berada disebelah kiri yang memiliki resistivitas tinggi dikarenakan pasir kering. Selain itu disebabkan karena hasil interpolasi antara anomali dengan pengukuran pasir yang memiliki nilai resistivitas tinggi (tidak sepenuhnya homogen). Banyak data dan jarak terlalu kecil sehingga mengakibatkan adanya arus langsung mampu menyebabkan kerusakan pada data. Sehingga memiliki perbedaan nilai resistivitas diantara keduanya. Cocoknya pola resistivitas yang dihitung dengan yang diukur menunjukkan bahwa metode inversi *smoothness constrained* ini berhasil menghasilkan model bawah permukaan yang akurat. Selain anomali semen, hasil inversi juga menunjukkan struktur lapisan bawah permukaan lainnya dengan perbedaan resistivitas yang mencolok, memberikan gambaran yang baik tentang heterogenitas material di bawah permukaan. Hasil ini menunjukkan bahwa metode inversi *smoothness constrained* efektif untuk mendeteksi dan memodelkan anomali resistivitas yang signifikan seperti keberadaan semen dalam kondisi bawah permukaan.

Model inversi menunjukkan adanya anomali resistivitas tinggi di sekitar tengah gambar pada kedalaman tertentu, yang ditandai dengan warna kuning, orange, dan merah, mengindikasikan material dengan

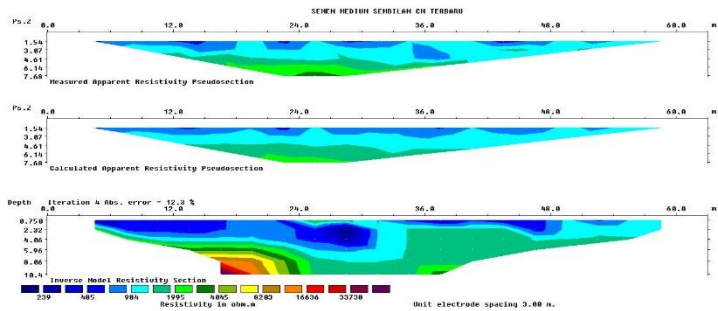
resistivitas tinggi seperti semen. Nilai resistivitas tertinggi di daerah tersebut mencapai $373,5 \Omega \cdot m$, konsisten dengan resistivitas sebenarnya dari semen yang diletakkan di bawah permukaan. Nilai *absolut error* yang ditampilkan adalah 13.1%, menunjukkan perbedaan antara resistivitas yang diukur dan dihitung oleh model inversi. Meskipun *error* sebesar 13.1% dianggap belum cukup baik untuk interpretasi umum, masih ada ruang untuk perbaikan agar mendapatkan model yang lebih akurat. Kesimpulannya, model inversi *smoothness constrained least squares* dengan konfigurasi Wenner metode resistivity berhasil mengidentifikasi adanya anomali resistivitas tinggi yang merupakan semen di bawah permukaan dengan resistivitas sekitar $373,5 \Omega \cdot m$. Meskipun terdapat *error absolut* sebesar 13.1%, hasil ini cukup menggambarkan kondisi bawah permukaan yang ada.

Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai error RMS sebesar 21.68% iterasi kedua dengan nilai absolute error 15.01%. iterasi ketiga dengan nilai absolute error 13.79% dan iterasi terakhir dengan nilai absolut error 13.12%. penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai error yang dididapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 13.1%

menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai absolute error sebesar 13.1%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

c. Inversi *Logarithm*

Hasil pemodelan menggunakan *Res2dinv* Semen medium dengan invers *logarithm* pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Semen medium dengan inversi *logarithm*

Hasil inversi resistivitas untuk miniatur kondisi bawah permukaan dengan anomali semen menunjukkan beberapa temuan penting. Grafik *pseudosection* resistivitas nyata yang diukur memperlihatkan daerah dengan resistivitas rendah hingga tinggi, dengan perubahan signifikan di sekitar bagian tengah (24 hingga 36 cm). Grafik *pseudosection* resistivitas nyata yang dihitung

menunjukkan pola yang serupa, mengindikasikan bahwa model perhitungan mendekati hasil pengukuran sebenarnya. Pada grafik hasil inversi model resistivitas, anomali yang diindikasikan berupa semen terlihat jelas pada kedalaman sekitar 0.75 hingga 7.46 cm dan jarak horizontal 24 hingga 36 cm. Anomali ini muncul sebagai daerah dengan resistivitas tinggi, menunjukkan adanya material yang berbeda dari sekitarnya, sesuai dengan keberadaan semen. Secara keseluruhan, hasil inversi menunjukkan keberadaan anomali resistivitas tinggi di tengah-tengah model bawah permukaan, Anomali membentang dari tengah ke arah kiri, hal ini disebabkan karena pasir yang berada disebelah kanan merupakan pasir basah sehingga nilai resistivitas lebih rendah. Berbeda dengan pasir yang berada disebelah kiri yang memiliki resistivitas tinggi dikarenakan pasir kering. Selain itu disebabkan karena hasil interpolasi antara anomali dengan pengukuran pasir yang memiliki nilai resistivitas tinggi (tidak sepenuhnya homogen). Banyak data dan jarak terlalu kecil sehingga mengakibatkan adanya arus langsung mampu menyebabkan kerusakan pada data. Sehingga memiliki perbedaan nilai resistivitas diantara keduanya. Anomali ini mencerminkan sifat material semen yang berbeda dengan media sekitarnya, memberikan gambaran

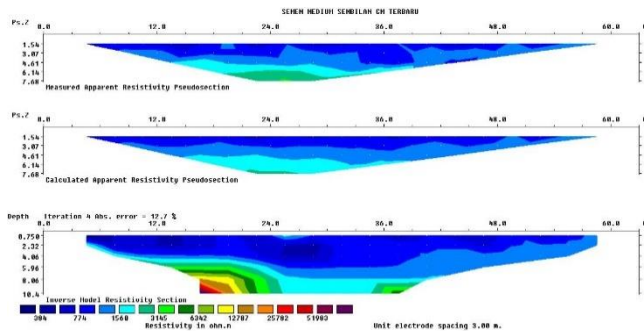
yang jelas mengenai distribusi resistivitas di bawah permukaan.

Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai *error* RMS sebesar 16.57% iterasi kedua dengan nilai *absolute error* 14.02%. iterasi ketiga dengan nilai *absolute error* 12.68% dan iterasi terakhir dengan nilai *absolute error* 12.27%. Penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai *error* yang didapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 12.3% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai *absolute error* sebesar 12.3%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

Secara keseluruhan, hasil inversi resistivitas menunjukkan bahwa metode resistivitas dengan konfigurasi Wenner dapat digunakan secara efektif untuk mendeteksi anomali bawah permukaan seperti semen dengan resistivitas tinggi. Nilai *absolute error* sebesar 12.3% menunjukkan bahwa hasil inversi ini sudah cukup baik, meskipun masih bisa ditingkatkan untuk akurasi yang lebih tinggi.

d. Inversi *Solve Least Squares Equation*

Hasil pemodelan menggunakan *Res2dinv* Semen medium dengan *invers solve* pada Gambar 4.13



Gambar 4. 13 Semen medium dengan inversi *solve*

Hasil inversi resistivitas untuk miniatur kondisi bawah permukaan dengan anomali semen menggunakan metode penyelesaian *least squares* menunjukkan beberapa temuan penting. Grafik *pseudosection* resistivitas nyata yang diukur memperlihatkan variasi resistivitas dari rendah hingga tinggi, dengan perubahan signifikan di sekitar bagian tengah (24 hingga 36 cm). Grafik *pseudosection* resistivitas nyata yang dihitung menunjukkan pola yang serupa dengan grafik pengukuran, mengindikasikan bahwa model perhitungan mendekati hasil pengukuran sebenarnya.

Pada grafik hasil inversi model resistivitas, anomali yang diindikasikan berupa semen terlihat jelas pada

kedalaman sekitar 0.75 hingga 7.46 cm dan jarak horizontal 24 hingga 36 cm. Anomali ini muncul sebagai daerah dengan resistivitas tinggi (warna merah hingga ungu), menunjukkan adanya material yang berbeda dari sekitarnya, sesuai dengan keberadaan semen. Selain itu, grafik ini menunjukkan bahwa anomali semen memiliki resistivitas yang signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya.

Secara keseluruhan, hasil inversi menunjukkan keberadaan anomali resistivitas tinggi di tengah-tengah model bawah permukaan, sesuai dengan lokasi semen dalam miniatur kondisi bawah permukaan. Anomali ini mencerminkan sifat material semen yang berbeda dengan media sekitarnya, Anomali membentang dari tengah ke arah kiri, hal ini disebabkan karena pasir yang berada disebelah kanan merupakan pasir basah sehingga nilai resistivitas lebih rendah. Berbeda dengan pasir yang berada disebelah kiri yang memiliki resistivitas tinggi dikarenakan pasir kering. Selain itu disebabkan karena hasil interpolasi antara anomali dengan pengukuran pasir yang memiliki nilai resistivitas tinggi (tidak sepenuhnya homogen). Banyak data dan jarak terlalu kecil sehingga mengakibatkan adanya arus langsung mampu

menyebabkan kerusakan pada data. Sehingga memiliki perbedaan nilai resistivitas diantara keduanya.

Penelitian ini terdapat empat iterasi. Iterasi pertama dengan nilai *error* RMS sebesar 21.71% iterasi kedua dengan nilai *absolute error* 14.58%. iterasi ketiga dengan nilai *absolute error* 13.14% dan iterasi terakhir dengan nilai *absolut error* 12.74%. Penurunan nilai iterasi menunjukkan model telah mencapai konvergensi sehingga nilai *error* yang dididapatkan sudah mencapai nilai minimal. Nilai *absolute error* sebesar 12.7% menunjukkan perbedaan antara hasil model dan pengukuran yang sebenarnya. Nilai *absolute error* sebesar 12.7%, hasil ini masih menunjukkan akurasi yang kurang dikarenakan adanya keterbatasan software *Res2dinv* yang mengakibatkan *output* penampang pada *Res2dinv* berbeda dari penampang miniatur yang sebenarnya.

Anomali yg digunakan dalam penelitian ini terdapat semen ukuran 6 cm dan 9 cm. Resistivitas sebenarnya mengacu pada nilai resistivitas sebenarnya dari material bawah permukaan itu sendiri. Pada penelitian ini hasil dari pengukuran geometri dari semen yang berukuran panjang 6cm dan lebar 3cm ditunjukkan pada tabel 4.4

F. Resistivitas True

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran resistivitas true

No	Tegangan (V)	Hambatan (Ohm)	Arus (A)	Vk
1	68.2	21.900	0.003	65.7
2	67.4	21.700	0.003	65.1
3	66.9	21.633	0.003	64.9

Nilai V_k didapat dengan cara perhitungan $V_1-2.0$, $V_2-2.3$, $V_3-2.5$ dengan asumsi $V_{\text{koreksi}} - V_{\text{sebelum injeksi}}$. Nilai R adalah 2.5 ohm, nilai A adalah 9 cm dan L adalah 6, sehingga nilai $\rho = 21.744$ ohm.m. Memahami perbedaan antara kedua konsep ini sangat penting untuk menafsirkan data kelistrikan dan membuat model bawah permukaan yang akurat dalam penyelidikan geolistrik.

Hasil dari pengukuran geometri dari semen yang berukuran panjang 9cm dan lebar 3cm ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil pengukuran resistivitas true

No	Tegangan (V)	Hambatan (Ohm)	Arus (A)	Vk (V)
1	61.9	21.9	0.24	59.9
2	62.2	21.7	0.24	59.9
3	62.4	21.6	0.24	59.9

Nilai V_k didapat dengan cara perhitungan $V_1-2.0$, $V_2-2.3$, $V_3-2.5$ dengan asumsi $V_{\text{koreksi}} - V_{\text{sebelum injeksi}}$. Nilai R adalah 249 ohm, nilai A adalah

9 cm dan L adalah 9, sehingga nilai $\rho = 373,5 \text{ ohm.m}$. Memahami perbedaan antara kedua konsep ini sangat penting untuk menafsirkan data kelistrikan dan membuat model bawah permukaan yang akurat dalam penyelidikan geolistrik.

BAB V

PENUTUP

G. A. Kesimpulan

1. Penelitian ini menghasilkan miniatur model bawah permukaan yang dapat digunakan sebagai studi metode geolistrik. Metode geolistrik konfigurasi wenner dapat memunculkan anomali pada miniatur, tetapi dalam mempresentasikan keberadaan anomali kurang tepat.
2. Hasil resistivitas *true* pada semen berukuran 6 cm x 3 cm adalah 21.744 ohm.m dan resistivitas *true* pada semen berukuran 9 cm x 3 cm adalah 373,5 ohm.m. Pada pengukuran pasir nilai resistivitas 25-30 ohm.m di tandai warna merah. Nilai resistivitas warna biru diduga adanya pasir yang basah resistivitas bernilai 0.237 ohm.m. Pada pengukuran resistivitas semu dari semen berukuran 6cm x 3cm terdeteksi anomali pada posisi 24-48 cm dengan nilai resistivitas warna merah pada rentan nilai 15.962-32.656 ohm.m dari kedalaman antara sekitar 2-8 cm.

H. B. Saran

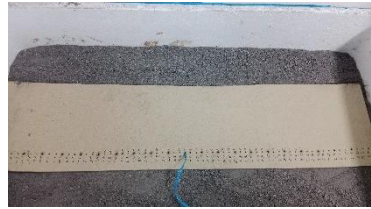
Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, penelitian menyarankan sebagai berikut:

1. Miniatur dibuat dalam ukuran lebih besar sehingga akan didapatkan data yang lebih banyak untuk meminimalisir interpolasi
2. Spasi yang digunakan jauh lebih kecil dibandingkan ukuran anomali hal ini agar keberadaan anomali dapat diinterpretasikan dengan tepat.

LAMPIRAN-LAMPIRAN



Model bawah permukaan



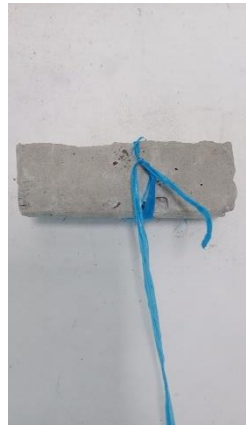
Letak tengah keberadaan Anomali (27-30cm)



Menguji resistivitas bawah permukaan



Semen berukuran panjang 6cm



Semen berukuran panjang 9cm

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2001). *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori dan Aplikasi)*. Laboratorium Geofisika.
- Anwar. (2002). Studi Air Tanah di Kawasan Wisata Tanjung Bunga dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis. *Geology*, 4(2), 6–10.
- Ayu. (2021). *Analisis Potensi Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger Di Universitas Muhammadiyah Mataram*. Universitas Negeri Mataram.
- Broto, S. and Afifah, R. S. (2008). Geoelectric Data Processing with The Schlumberger Method. *Sci. J. Field Eng*, 29, 120–128.
- Derana, T. I. (1981). *Perbandingan Interpretasi Geolistrik Aturan Wenner dan Schlumberger*. Jurusan Teknik Geologi.
- Dobrin, M.B. dan Savit, C. H. (1988). *Introduction to Geophysics Prospecting* (Fourth Edi).
- Eko, M. (2007). *Pemodelan Inversi Data Geolistrik Untuk Menentukan Suktur Pelapisan Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Matoloko*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hadi, A. I., Suhendra., & Alpabet, R. (2009). Survei Sebaran Air Tanah dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner di Desa Banjar Sari, Kec. Enggano, Kab. Bengkulu Utara. *MIPA Universitas Bengkulu*.
- Herman, R. (2000). *An Intoduction to Electrical Resistivity In Geophysics*. Department of Chemistry and Physics and Geology.

- Irjan. (2012). Pemetaan Potensi Air Tanah (Aquifer) Berdasarkan Interpretasi Data Resistivitas Wenner Sounding. *Jurnal Neutrino*, 4(2), 201–212.
- Kanata, B., & Zubaidah, T. (2008). Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner schlumberger untuk Survey Pipa Bawah Pemukaan. *Fakultas Teknik*, 2(3), 4–8.
- Kanyawan, O. E., & Zulfian, Z. (2020). Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis sebagai Informasi Awal Rancang Bangun Pondasi Bangunan. *Prisma Fisika*, 8(3), 196. <https://doi.org/10.26418/pf.v8i3.43675>
- Loke, M. H. (1999). *Electrical Imaging Surveys For Environment and Engineering Studies a Practiocal Guide 2-D and 3-D Surveys*. Penang.
- Loke, M. H. (2000). *Elekctrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*. Penang.
- Lugiandari, E. (2008). Analisa Karakteristik Kelistrikan Tanah Pertanian dengan Metode Geolistrik Resistivitas. *Geology*, 2(1), 3–8.
- Muis Prasetya, A., Aidil, R., & Faizal, R. (2018). Penggunaan Resistivity Meter Berbasis Boost converter Untuk Identifikasi Batuan Dasar Pancang Pondasi Bangunan di Pulau Tarakan. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 2(2), 127. <https://doi.org/10.35334/be.v2i2.620>
- Noviardi, K. (2021). *Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Menentukan Resistivitas Pasir, Batubara, Dan Lempung Berdasarkan Miniatur* [https://repository.unja.ac.id/25930/%0Ahttps://repository.unja.ac.id/25930/1/SKRIPSI FULL TEKS.pdf](https://repository.unja.ac.id/25930/%0Ahttps://repository.unja.ac.id/25930/1/SKRIPSI%20FULL%20TEKS.pdf)

- Nugroho, M, W., & Afiatna, F. (2016). *Pendekatan Metode Geolistrik dalam Perencanaan Pondasi*.
- Oktavina, R., Ivansyah, O., & Perdhana, R. (2022). Identifikasi Lapisan Bawah Permukaan di Ruas Jalan Temajuk-Aruk Menggunakan Metode Golistik Konfigurasi Wenner-Schlumberger. *Prisma Fisika*, 10(1), 87. <https://doi.org/10.26418/pf.v10i1.54258>
- Putro, A. S. P. (2016). *Aplikasi Metode Resistivitas 3d Untuk Menentukan Sebaran Intrusi Air Laut Di Daerah Perumahan Tanah Mas Semarang Utara*. Universitas Negeri Semarang.
- Ridwan, S. (2014). *Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner*. Uin Sunan Gunung Djati.
- Sanggra Wijaya, A. (2015). Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Untuk Menentukan Struktur Tanah di Halaman Belakang SCC ITS Surabaya. *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(55), 1–5. <https://doi.org/10.22146/jfi.24363>
- Simpen, I. N. (2015). *Metoda Geolistrik*. 1–25. https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pondidikan_1_dir/0c567c7308cdde682fc8e8ec9761952e.pdf
- Sukur, K. (2015). *Struktur Bawah Permukaan Tanah di Kota Lama Semarang Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity Konfigurasi Schlumberger*. Universitas Negeri Semarang.
- Supriyadi, Yulianto, A., & Novianto, T. (2012). Aplikasi Metode Geolistrik Konfigurasi Pole-Pole Untuk Menentukan Sebaran Dan Kedalaman Batuan Sedimen di Desa Wonosari Kecamatan Ngaliyan Semarang. *Jurnal Sains Dan Teknologi (Sainteknol)*, 10(1), 90–98.

- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Telford, W. M., P., G., & E., S. (1976). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Tulus, P., Supiyadi, & Surlhadi. (2013). *Aplikasi Metode Geolistrik Dalam Survey Potensi Hidrotermal (Studi Kasus Sumber Air Panas Nglimut Gonoharjo Gunung Ungaran)*. Universitas Negeri Semarang.
- Waluyo. (1984). *Metode Resistivitas*. Universits Gadjah Mada.
- Widowati, A., Riawan, D. C., & Musthofa, A. (2014). Rancang Bangun Multilevel Boost converter (MLBC) Sebagai Suplai DC Bus pada Inverter. *Jurnal Teknik POMITS*, 1, 1–6.
- Yulian Kurnia Munandar, M. R. M., & Fakhrudin, K. D. (2017). Konfigurasi Struktur Geologi Terhadap Geometri Akuifer Airtanah Dengan Metode Geolistrik Schlumberger Dan Pole-Dipole Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul, DIY. *Proceeding, Kongres & Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-2 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PIT-PAAI), September*, 13–15.