



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF 184838

APLIKASI METODE *COMBINED INVERSION* PADA DATA GEOLISTRIK RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI *WENNER-SCHLUMBERGER* UNTUK IDENTIFIKASI SUNGAI BAWAH PERMUKAAN KAWASAN KARST, PACITAN

KEVIN CHRISTIARDI L. TOBING
NRP. 03411640000017

DOSEN PEMBIMBING 1 :
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.SI, M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

DOSEN PEMBIMBING 2 :
M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T
NIP. 19800916 200912 1 002

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**



TUGAS AKHIR - RF 184838

APLIKASI METODE *COMBINED INVERSION* PADA DATA GEOLISTRIK RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI *WENNER-SCHLUMBERGER* UNTUK IDENTIFIKASI SUNGAI BAWAH PERMUKAAN KAWASAN KARST, PACITAN

KEVIN CHRISTIARDI L. TOBING
NRP 03411640000017

DOSEN PEMBIMBING 1 :
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

DOSEN PEMBIMBING 2 :
M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T
NIP. 19800916 200912 1 002

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RF184838

APPLICATION OF COMBINED INVERSION METHOD FOR 2D RESISTIVITY GEOELECTRIC DATA WENNER-SCHLUMBERGER ARRAY FOR IDENTIFICATION OF UNDERGROUND RIVER IN KARST AREA, PACITAN

KEVIN CHRISTIARDI L. TOBING
NRP. 0341164000017

Supervisor 1:
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

Supervisor 2:
M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T
NIP. 19800916 200912 1 002

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

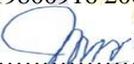
HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Kevin Christiardi L. Tobing
NRP : 0341 16 40000 017
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Aplikasi Metode *Combined Inversion* pada Data Geolistrik Resistivitas 2D Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* untuk Identifikasi Sungai Bawah Permukaan Kawasan Karst, Pacitan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 19 Juni 2020

1. 
.....
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T (Pembimbing I)
NIP. 19690906 199702 1 001
2. 
.....
M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T. (Pembimbing II)
NIP. 19800916 200912 1 002
3. 
.....
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S. (Penguji I)
NIP. 19591010 198803 1 001
4. 
.....
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si. (Penguji II)
NIP. 19760123 200003 1 001

Menyetujui,
Kepala Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1
001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Aplikasi Metode *Combined Inversion* pada Data Geolistrik Resistivitas 2D Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* untuk Identifikasi Sungai Bawah Permukaan Kawasan Karst, Pacitan” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juni 2020



Kevin Christiardi L. Tobing
NRP. 0341164000017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Aplikasi Metode *Combined Inversion* pada Data Geolistrik Resistivitas 2D Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* untuk Identifikasi Sungai Bawah Permukaan Kawasan Karst, Pacitan

Nama : Kevin Christiardi L. Tobing
NRP : 0341164000017
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing I : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
Pembimbing II : M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T

ABSTRAK

Perkembangan celah-celah atau rekahan pada kawasan karst Pacitan secara perlahan bertambah lebar akibat proses pelarutan sehingga membentuk rongga atau terowongan yang baik. Adanya manifestasi luweng-luweng yang tersebar di beberapa daerah tersebut diduga saling terhubung dan membentuk sistem perguaan atau sungai bawah permukaan. Metode resistivitas 2D adalah salah satu metode geofisika dapat digunakan untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan karena memiliki kemampuan yang baik dalam pemetaan distribusi nilai resistivitas sungai bawah permukaan. Akan tetapi kompleksitas struktur karst menjadi permasalahan dalam pengolahan dan interpretasi data resistivitas 2D. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja metode *combined inversion* untuk identifikasi sungai bawah permukaan dan menganalisis distribusi nilai resistivitas 2D berdasarkan metode *combined inversion* terhadap dugaan sungai bawah permukaan di kawasan karst Desa Sekar, Pacitan. Metode akuisisi yang dilakukan penelitian ini adalah Metode Geolistrik Resistivitas 2D Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Akuisisi data dilakukan sebanyak empat lintasan dengan tiap panjang lintasan adalah 170m, 170m, 130m dan 145m dengan $a = 5m$. Uji kinerja *combined inversion* menggunakan variasi *damping factor* antara lain 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.5, 0.8, 1, dan 1.5. Secara kuantitatif *combined inversion* menghasilkan lintasan 1 *damping factor* yang optimal adalah 0.25 dengan nilai *abs error* 8.67% dan perubahan persentase *error* sebesar 45.71%. Lintasan 2 *damping factor* yang optimal adalah 0.05 dengan nilai *abs error* 5.08% dan perubahan persentase *error* sebesar 71%. Lintasan 3 *damping factor* yang optimal adalah 0.05 dengan nilai *abs error* 5.08% dan perubahan persentase *error* sebesar 54.16%. Lintasan 4 *damping factor* yang optimal adalah 0.25 dengan nilai *abs error* 5.58% dan perubahan persentase *error* sebesar 56.3%. Secara kualitatif, sungai bawah permukaan di Desa Sekar Kecamatan Donorojo, Pacitan teridentifikasi dengan nilai resistivitas antara 1.55-10 Ohm.m dengan orientasi hubungan indikasi sungai bawah permukaan berarah NE-SW.

Kata Kunci : karst, *combined inversion*, resistivitas 2D, sungai bawah permukaan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Application of Combined Inversion Method in 2D Resistivity Geoelectric Data Wenner-Schlumberger Array for Identification of Underground River in Karst Area, Pacitan

Name : Kevin Christiardi L. Tobing
Student ID : 0341164000017
Department : Geophysical Engineering
Advisor 1 : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
Advisor 2 : M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T

ABSTRACT

The development of cracks or fissures in the Pacitan karst region is slowly widening due to the dissolution process so as to form a good cavity or tunnel. The existence of luweng-luweng manifestations scattered in some of these areas is thought to be interconnected and form a subsurface system or river surface. 2D resistivity method is one of many geophysical methods that can be used to identify subsurface rivers because it has good ability in mapping the distribution of resistivity values of subsurface rivers. However, the complexity of karst structures is a problem in processing and interpreting 2D resistivity data. Therefore, this study aims to analyze the performance of the combined inversion method for identification of subsurface rivers and analyze the distribution of 2D resistivity values based on the combined inversion method on the alleged subsurface rivers in the karst area of Sekar Village, Pacitan. The acquisition method used in this research is the 2D Geoelectric Resistivity Method with Wenner-Schlumberger Array. Data acquisition was carried out as many as four lines with each line measures 170m, 170m, 130m and 145m in length respectively with 5m of spacing between electrodes. The combined inversion performance test uses variations of damping factor values of 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.5, 0.8, 1, and 1.5. Quantitatively, combined inversion in line 1 produce the most optimal result with damping factor value 0.25, with 8.67% abs error value and a change in error percentage of 45.71%. In line 2 the most optimal damping factor is 0.05 with an error value of 5.08% and a change in error percentage of 71%. In line 3 the most optimal damping factor is 0.05 with an abs error value of 5.08% and a change in error percentage of 54.16%. In line 4 the most optimal damping factor is 0.25 with an abs error value of 5.58% and a change in error percentage of 56.3%. Qualitatively, the subsurface river in Sekar Village, Donorojo Subdistrict, Pacitan was identified with a resistivity value between 1.55-10 Ohm.m with the connected orientation of subsurface river leads from NE (North-East) to SW (South-West).

Keywords: karst, combined inversion, 2D resistivity, underground river

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Aplikasi Metode *Combined Inversion* pada Data Geolistrik Resistivitas 2D Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* untuk Identifikasi Sungai Bawah Permukaan Kawasan Karst, Pacitan” dengan baik. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan adik-adik penulis yang telah memberikan dukungan secara motivasi, fasilitas dan doa.
3. Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T. dan M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T. selaku dosen pembimbing penulis atas arahan, saran dan kritik yang membangun dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
4. Para dosen dan tenaga Pendidikan Departemen Teknik Geofisika ITS atas bimbingan dan bantuan selama pengerjaan Tugas Akhir dan perkuliahan.
5. Seluruh Tim TA Pacitan 2020 yang telah bekerja sama dalam pengerjaan Tugas Akhir.
6. Silmi Afina Aliyan, Putry Vibry Hardyani, Hanif F. Falah yang telah membantu dan memberikan saran selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Teman-teman kontrakan robot yang menemani pengerjaan Tugas Akhir selama Pandemi COVID19.
8. Anilina yang telah menemani selama pengerjaan Tugas Akhir.
9. Teman-teman TG-05 atas semangat dan dukungannya selama perkuliahan.

Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai pembelajaran penulis dan khalayak umum. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 19 Juni 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Target Luaran	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Dasar Teori.....	3
2.1.1 Geologi Regional Pacitan.....	3
2.1.1.1 Fisiografi Regional	3
2.1.1.2 Stratigrafi Regional.....	5
2.1.1.3 Sejarah Geologi.....	6
2.1.1.4 Karst.....	7
2.1.1.5 Sungai Bawah Permukaan.....	8
2.1.2 Metode Geolistrik Resistivitas 2D.....	10
2.1.2.1 Teori Dasar.....	10
2.1.2.2 Konfigurasi Wenner-Schlumberger	13
2.1.2.3 Nilai Resistivitas Batuan	15
2.1.2.4 Teori <i>Combined Inversion</i>	16
2.2 Penelitian Terdahulu.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Lokasi Penelitian	21
3.2 Peralatan Penelitian	21
3.3 Desain Akuisisi.....	21
3.4 Diagram Alir Penelitian	26
3.5 Tahapan Penelitian	28
3.5.1 Studi Literatur	28
3.5.2 Survei Pendahuluan	28
3.5.3 Desain Akuisisi	28
3.5.4 Pengambilan Data.....	28
3.5.5 Pengolahan Data.....	29
3.5.6 Analisis dan Interpretasi Data	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Pengolahan <i>Combined Inversion</i> berdasarkan Parameter Inversi	31

4.1.1 Analisis Hasil Inversi Berdasarkan Nilai <i>Abs Error</i>	39
4.1.2 Analisis Hasil Inversi Berdasarkan Proses Iterasi.....	43
4.2 Analisis Perbandingan <i>Combined Inversion</i> dengan Inversi Konvensional	48
4.3 Analisis Penampang Resistivitas 2D Berdasarkan Distribusi Nilai Resistivitas.....	52
4.4 Korelasi Antar Lintasan	56
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN.....	65
BIOGRAFI PENULIS	82

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Koordinat lintasan pengukuran.....	25
-----------------------------------------------------	----

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra and Gafoer, 1992 yang telah dimodifikasi)	3
Gambar 2.2 Pembagian Fisiografi Regional Jawa bagian Tengah dan Timur (Van Bemmelen, 1949)	4
Gambar 2.3 Stratigrafi Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti (Suroño, 1992).	5
Gambar 2.4 Teori terbentuknya gua dan sungai bawah permukaan pada kawasan karst (a) teori vadus, (b) teori Freatik Dalam (c) teorifreatik (Handayani, 2009)	9
Gambar 2.5 Material homogen yang dialiri arus memiliki luas penampang A, panjang L dan ujung-ujung permukaannya memiliki beda potensial ΔV (Reynolds, 2011).....	11
Gambar 2.6 Arus dan Ekipotensial Hasil Injeksi (Reynolds, 2011)	12
Gambar 2.7 Bentuk susunan elektroda pada survei geolistrik resistivitas (Reynolds, 2011).....	12
Gambar 2.8 Susunan elektroda konfigurasi <i>Wenner-Schlumberger</i> (Loke, 2015)	14
Gambar 2.9 Rentang nilai resistivitas batuan (Loke, 2015).....	15
Gambar 2.10 Hubungan model <i>cells</i> dengan <i>roughness</i> filter pada model 2-D. (a) berarah horisontal-vertikal, (b) berarah diagonal (Loke, 2015).....	18
Gambar 3.1 Peta desain akuisisi penelitian.....	22
Gambar 3.2 Sayatan penampang geologi A-B berarah Barat Laut-Tenggara daerah penelitian (H Samodra & Gafoer, 1992 yang telah dimodifikasi)	22
Gambar 3.3 Sayatan penampang geologi C-D berarah Timur-Barat daerah penelitian (H Samodra & Gafoer, 1992 yang telah dimodifikasi)	23
Gambar 3.4 Desain Akuisisi lintasan 1 pada lokasi 1. Marker hijau menunjukkan manifestasi luweng/goa, marker merah menunjukkan titik akhir dan awal lintasan geolistrik, dan line merah menunjukkan lintasan pengukuran.....	23
Gambar 3.5 Desain Akuisisi lintasan 2 dan 3 pada lokasi 2. Marker hijau menunjukkan manifestasi luweng/goa, marker merah menunjukkan titik akhir dan awal lintasan geolistrik, dan line merah menunjukkan lintasan pengukuran geolistrik....	24
Gambar 3.6 Desain Akuisisi lintasan 4 pada lokasi 3. Marker hijau menunjukkan manifestasi luweng/goa, marker merah menunjukkan titik akhir dan awal lintasan geolistrik, dan line merah menunjukkan lintasan pengukuran geolistrik.	24
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 3.8 Sebaran data Konfigurasi Wenner-Schlumberger.	29
Gambar 4.1 Penampang resistivitas 2D lintasan 1 hasil inversi tiap nilai <i>damping factor</i> . (a) Hasil <i>damping factor</i> 0.05; (b) Hasil <i>damping factor</i> 0.1; (c) Hasil <i>damping factor</i> 0.15; (d) Hasil <i>damping factor</i> 0.2; (e) Hasil <i>damping factor</i> 0.25; (f) Hasil <i>damping factor</i> 0.5; (g) Hasil <i>damping factor</i> 0.8; (h) Hasil <i>damping factor</i> 1; (i) Hasil <i>damping factor</i> 1.5.....	32

Gambar 4.2 Penampang resistivitas 2D lintasan 2 hasil inversi tiap nilai <i>damping factor</i> . (a) Hasil <i>damping factor</i> 0.05; (b) Hasil <i>damping factor</i> 0.1; (c) Hasil <i>damping factor</i> 0.15; (d) Hasil <i>damping factor</i> 0.2; (e) Hasil <i>damping factor</i> 0.25; (f) Hasil <i>damping factor</i> 0.5; (g) Hasil <i>damping factor</i> 0.8; (h) Hasil <i>damping factor</i> 1; (i) Hasil <i>damping factor</i> 1.5	34
Gambar 4.3 Penampang resistivitas 2D lintasan 3 hasil inversi tiap nilai <i>damping factor</i> . (a) Hasil <i>damping factor</i> 0.05; (b) Hasil <i>damping factor</i> 0.1; (c) Hasil <i>damping factor</i> 0.15; (d) Hasil <i>damping factor</i> 0.2; (e) Hasil <i>damping factor</i> 0.25; (f) Hasil <i>damping factor</i> 0.5; (g) Hasil <i>damping factor</i> 0.8; (h) Hasil <i>damping factor</i> 1; (i) Hasil <i>damping factor</i> 1.5	36
Gambar 4.4 Penampang resistivitas 2D lintasan 4 hasil inversi tiap nilai <i>damping factor</i> . (a) Hasil <i>damping factor</i> 0.05; (b) Hasil <i>damping factor</i> 0.1; (c) Hasil <i>damping factor</i> 0.15; (d) Hasil <i>damping factor</i> 0.2; (e) Hasil <i>damping factor</i> 0.25; (f) Hasil <i>damping factor</i> 0.5; (g) Hasil <i>damping factor</i> 0.8; (h) Hasil <i>damping factor</i> 1; (i) Hasil <i>damping factor</i> 1.5	38
Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai <i>damping factor</i> terhadap <i>abs error</i> lintasan 1.....	40
Gambar 4.6 Grafik perbandingan nilai <i>damping factor</i> terhadap <i>abs error</i> lintasan 2.....	41
Gambar 4.7 Grafik perbandingan nilai <i>damping factor</i> terhadap <i>abs error</i> lintasan 3.....	42
Gambar 4.8 Grafik perbandingan nilai <i>damping factor</i> terhadap <i>abs error</i> lintasan 4.....	43
Gambar 4.9 Histogram perbandingan nilai <i>abs error</i> terhadap <i>damping factor</i> tiap iterasi pada lintasan 1.....	44
Gambar 4.10 Histogram perbandingan nilai <i>abs error</i> terhadap <i>damping factor</i> tiap iterasi pada lintasan 2.....	45
Gambar 4.11 Histogram perbandingan nilai <i>abs error</i> terhadap <i>damping factor</i> tiap iterasi pada lintasan 3.....	46
Gambar 4.12 Histogram perbandingan nilai <i>abs error</i> terhadap <i>damping factor</i> tiap iterasi pada lintasan 4.....	47
Gambar 4.13 Perbandingan penampang resistivitas 2D hasil <i>combined inversion</i> dan inversi konvensional lintasan 1. (a) penampang resistivitas 2D hasil <i>combined inversion</i> ; (b) penampang resistivitas 2D hasil inversi konvensional	48
Gambar 4.14 Perbandingan penampang resistivitas 2D hasil <i>combined inversion</i> dan inversi konvensional lintasan 2. (a) penampang resistivitas 2D hasil <i>combined inversion</i> ; (b) penampang resistivitas 2D hasil inversi konvensional	49
Gambar 4.15 Perbandingan penampang resistivitas 2D hasil <i>combined inversion</i> dan inversi konvensional lintasan 3. (a) penampang resistivitas 2D hasil <i>combined inversion</i> ; (b) penampang resistivitas 2D hasil inversi konvensional	50
Gambar 4.16 Perbandingan penampang resistivitas 2D hasil <i>combined inversion</i> dan inversi konvensional lintasan 4. (a) penampang resistivitas 2D hasil <i>combined inversion</i> ; (b) penampang resistivitas 2D hasil inversi konvensional	51

Gambar 4.17 Penampang resistivitas 2D lintasan 1 yang berada didekat Luweng Kalijati dengan arah azimuth lintasan 271.82° SW	53
Gambar 4.18 Penampang resistivitas 2D lintasan 2 yang berada didekat manifestasi Luweng Gender dengan arah azimuth lintasan 112.54° SE	54
Gambar 4.19 Penampang resistivitas 2D lintasan 3 yang berada didekat Luweng Gender dengan arah azimuth lintasan 327.87° NW	54
Gambar 4.20 Penampang resistivitas 2D lintasan 4 yang berada didekat manifestasi Luweng Marik 1, 2 dan 3 dengan arah azimuth 86.58° SE	55
Gambar 4.21 Dugaan arah aliran sungai bawah permukaan daerah penelitian	57

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pacitan merupakan daerah yang memiliki kawasan bentang alam karst yang khas. Kawasan karst Pacitan memiliki tingkat kelarutan tinggi yang menyebabkan perkembangan celah-celah atau rekahan tersebut perlahan bertambah lebar sehingga membentuk rongga atau terowongan yang baik (Ford & Williams, 2013). Celah ini terus melebar seiring waktu diakibatkan oleh adanya efek geologi seperti pelarutan, pengendapan, sedimentasi dan penurunan tanah (Abd El Aal, 2017). Keberadaan sumber air pada karst sebenarnya sangat melimpah, terdapat di sungai bawah permukaan yaitu berupa terusan gua-gua yang dialiri air, karena terjadi proses korosi dan erosi pada gua selama ribuan tahun, maka air mengalir ke bawah permukaan hingga lapisan impermeabel dan membentuk sungai bawah permukaan (Hanang Samodra, 2003). Berkembangnya sistem sungai bawah permukaan di kawasan karst Pacitan salah satunya dibuktikan dengan ditemukannya pola aliran sungai bawah permukaan di Desa Sekar, Kecamatan Donorojo berdasarkan pengukuran geolistrik (Naufaldi et al., 2017). Sehingga masih perlu dilakukan penelitian yang diharapkan menemukan dugaan sungai bawah permukaan yang belum teridentifikasi.

Salah satu metode geofisika yang tepat untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan adalah metode geolistrik. Metode geolistrik yang digunakan adalah metode resistivitas konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dianggap memiliki pemetaan distribusi nilai resistivitas secara horizontal maupun vertikal cukup baik dibandingkan konfigurasi geolistrik lainnya (Yuspancana et al., 2019). Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* memiliki kemampuan yang baik dalam pemetaan distribusi nilai resistivitas secara lateral karena homogenitas lapisan dan mendeteksi secara vertikal adanya non-homogenitas lapisan (Arsyadi, 2017). Cakupan data horisontal sedikit lebih lebar dari konfigurasi *Wenner*, tapi lebih sempit dari data yang diperoleh konfigurasi *dipole-dipole* (Telford, 1990).

Akan tetapi kompleksitas struktur kawasan karst dapat menjadi masalah dalam pengolahan dan interpretasi terhadap data geolistrik resistivitas 2D. Oleh karena itu, pengaplikasian metode inversi yang digunakan untuk meminimalisasi perbedaan antara nilai resistivitas yang dihitung dan diukur dengan menyesuaikan resistivitas model yang diperoleh. Pendekatan yang digunakan untuk mengatasi hal tersebut untuk pengolahan data metode geolistrik resistivitas 2D adalah dengan pendekatan *combined inversion* dimana metode ini menggunakan kombinasi metode inversi *Smoothness-constrained* dengan *Marquardt and Occum*, yang diharapkan dapat menghasilkan model resistivitas 2D dugaan sungai bawah permukaan (Hamdan & Vafidis, 2009).

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kinerja metode *combined inversion* terhadap data resistivitas 2D dugaan sungai bawah permukaan di kawasan karst?
2. Bagaimana distribusi nilai resistivitas 2D berdasarkan metode *combined inversion* terhadap dugaan sungai bawah permukaan di kawasan karst?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Lokasi berada di Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Pacitan.
2. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak Res2Dinv (*ver.* 3.56.22) dengan metode *combined inversion*.
3. Parameter kinerja inversi yang dianalisis adalah nilai *absolute error* dan iterasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kinerja metode *combined inversion* terhadap data resistivitas 2D dugaan sungai bawah permukaan di kawasan karst.
2. Menganalisis distribusi nilai resistivitas 2D berdasarkan metode *combined inversion* terhadap dugaan sungai bawah permukaan di kawasan karst.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi terkait aplikasi metode *combined inversion* untuk identifikasi sungai bawah permukaan pada kawasan karst serta langkah awal pengembangan kawasan karst Pacitan secara berkelanjutan.

1.6 Target Luaran

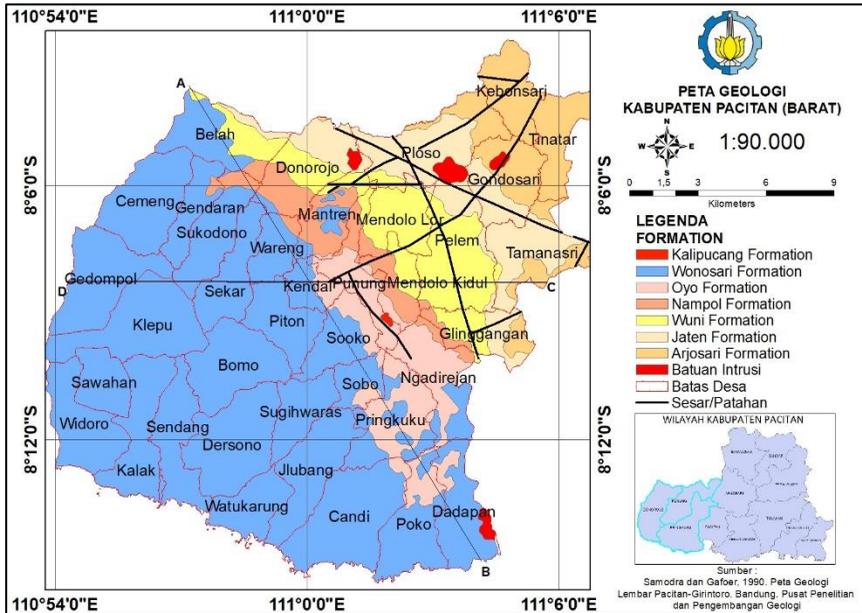
Adapun target luaran dilakukannya penelitian ini berupa publikasi berupa paper dan jurnal Geosaintek terkait Aplikasi metode *combined inversion* pada data geolistrik resistivitas 2D konfigurasi *Wenner-Schlumberger* untuk identifikasi sungai bawah permukaan kawasan karst, Pacitan sekaligus menjadi informasi guna pengembangan kawasan karst di Pacitan secara berkelanjutan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Geologi Regional Pacitan

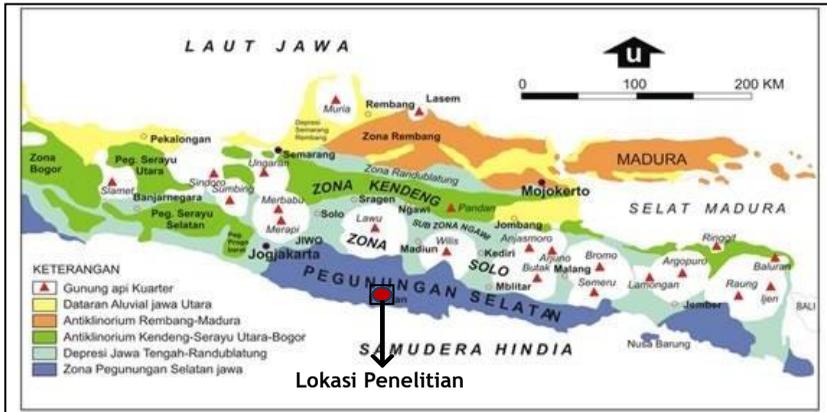
Daerah penelitian yang berada di Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Pacitan termasuk ke dalam sebagian Peta Geologi Regional Lembar Pacitan (H Samodra & Gafoer, 1992) dan Lembar Surakarta-Girintoro (Surono, 1992). Batuan penyusun daerah penelitian dan sekitarnya terdiri atas beberapa formasi yang dapat dilihat pada gambar 2.1 menunjukkan peta geologi daerah penelitian.



Gambar 2.1 Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra and Gafoer, 1992 yang telah dimodifikasi)

2.1.1.1 Fisiografi Regional

Fisiografi Jawa Timur dibagi menjadi 4 (empat) zona jalur fisiografi, yaitu Zona Rembang di bagian Utara, kemudian ke bagian Selatan terdapat Zona Kendeng, kemudian Zona Solo dan di bagian paling Selatan adalah Zona Pegunungan Selatan (Van Bemmelen, 1949).



Gambar 2.2 Pembagian Fisiografi Regional Jawa bagian Tengah dan Timur (Van Bemmelen, 1949)

Berdasarkan Gambar 2.2, lingkaran merah menunjukkan lokasi penelitian yang terdiri dari perbukitan karst yang termasuk dalam Zona Pegunungan Selatan. Zona Pegunungan Selatan merupakan hasil pengangkatan lalu miring ke arah Selatan pada masa Miosen dan merupakan hasil pelipatan yang meneruskan ke arah Timur sampai Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Zona Pegunungan Selatan membentang dari Yogyakarta ke arah Timur melewati Wonogiri, Wonosari, Pacitan hingga ke Malang Selatan dan terus ke daerah Blambangan. Daerah ini merupakan perbukitan berelif sedang-terjal pada bagian utara, dataran tinggi karst di bagian tengah, dan perbukitan kerucut karst dibagian selatan (Gunung Sewu). Zona Pegunungan Selatan sendiri terbagi menjadi tiga subzona, yakni Subzona Baturagung, Subzona Wonosari dan Subzona Gunung Sewu. Subzona Baturagung terletak di sebelah barat dan utara dari Zona Pegunungan Selatan, namun membentang dari barat pada tinggian G. Sudimoro hingga ke sebelah timur G. Gajahmungkur. Subzona Baturagung ini membentuk relief paling kasar dengan sudut lereng antara 100 – 300 dan beda tinggi 200-700meter serta hampir seluruhnya tersusun oleh batuan asal gunungapi. Subzona Wonosari merupakan dataran tinggi (± 190 m) yang terletak di bagian tengah Zona Pegunungan Selatan, yaitu di daerah Wonosari dan sekitarnya. Subzona Pegunungan Sewu terletak di sebelah selatan dan timur dari Zona Pegunungan Selatan ini. Daerah penelitian lebih khususnya merupakan bagian dari subzona Gunung Sewu yang merupakan perbukitan dengan bentang alam karst, yaitu bentang alam dengan bukit-bukit batugamping membentuk banyak kerucut dengan ketinggian beberapa puluh meter. Di antara bukit-bukit ini dijumpai telaga, luweng (gua vertikal) dan di bawah permukaan terdapat gua batugamping serta aliran sungai bawah tanah. Bentang alam karst ini membentang dari pantai Parangtritis di bagian barat hingga Pacitan di sebelah

timur (Van Bemmelen, 1949).

Kawasan karst Gunung Sewu dihasilkan oleh pengangkatan yang dimulai pada Pleiosen Akhir. Bagian utara kawasan karst Gunung Sewu dibatasi oleh cekungan (basin) Wonosari dan Baturetno yang tersusun atas material gamping, namun memiliki tingkat karstifikasi yang tidak intensif. Kedua cekungan ini memisahkan kawasan Karst Gunung Sewu dengan pegunungan berbatuan sedimen vulkano klastik yang lebih dikenal dengan Pegunungan Baturagung. Kawasan karst Gunung Sewu terdiri dari batu gamping berumur miosen tengah. Perkembangan topografi karst dengan kenampakan permukaan berupa dolina-dolina yang dipisahkan oleh bukit-bukit yang terlihat membulat yang disebut kubah kapur, dan sungai bawah permukaan (Haryono & Adji, 2004).

2.1.1.2 Stratigrafi Regional

Daerah penelitian termasuk dalam Zona Pegunungan Selatan di Jawa Timur. Batuan yang menjadi dasar pada pegunungan selatan adalah batuan metamorf yang berumur Kapur-Paleosen Awal. Susunan litostatigrafi pegunungan selatan (dari tua ke muda) yaitu Kelompok Formasi Wungkul Gamping, Kebo Butak, Semilir, Nglanggran, Sambipitu, Oyo, Wonosari dan Kepek (Surono, 1992).

KALA	ZONASI BLOW (1969)	PENELITI				
		BOTHE (1929)	VAN BEMMELEN (1949)	SUMARSO-ISMOYOWATI (1975)	SURONO, dkk. (1992)	
HOLOSEN	N.23			Endapan Vulkanik Muda dan Aluvium		
	N.22					
PLIOSEN	N.21					
	N.20					
	N.19					
	N.18					
	N.17					
	N.16					
	N.15	Kepek				Kepek
	N.14					
	MIOSEN	N.13	Wonosari	Wonosari	Wonosari	Wonosari
		N.12				
N.11		Oyo	Sambipitu	Sambipitu	Oyo	
N.10			Nglanggran			
N.9			Semilir		Semilir	
N.8						
N.7		Sambipitu		Semilir	Sambipitu	
N.6						
N.5		Nglanggran			Nglanggran	
N.4						
OLIGOSEN	N.3 (P.22)	Semilir		Kebo Butak	Kebo Butak	
	N.2 (P.21)	Kebo Butak				
	N.1 (P.20)					
	P.19					
Eosen	P.18					
	P.16	Wungkal Gamping				
	P.15			Gamping		
	P.14					
P.13			Wungkal	Wungkal Gamping		

Gambar 2.3 Stratigrafi Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti (Surono, 1992).

Gambar 2.3 menunjukkan kolom stratigrafi Pegunungan Selatan yang memiliki umur batuan pada masa Eosen Tengah sampai Miosen Akhir. Daerah penelitian yang berada di Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Pacitan termasuk dalam Formasi Wonosari seperti yang ditunjukkan pada kotak merah. Formasi Wonosari dengan satuan batuan penyusunnya adalah Batugamping terumbu, Batugamping berlapis, Batugamping mengeping, Batugamping pasiran, dan Napal yang membentuk morfologi karst. Ketebalan formasi ini diduga lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya di bagian bawah menyebar dengan Formasi Oyo. Batugamping pada Formasi wonosari ditemukan fosil foraminifera besar berupa *Miogysina sp.* dan *Lapidocyclina sp.* Berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan terbentuk di lingkungan laut (H Samodra & Gafoer, 1992)

2.1.1.3 Sejarah Geologi

Cekungan pengendapan Pegunungan Selatan mengalami pengangkatan dan berubah menjadi dangkalan pada akhir Miosen Awal atau permulaan Miosen Tengah (2015 juta tahun lalu). Perubahan muka laut yang terjadi sesudahnya menyebabkan terjadinya proses genang laut, yang diikuti dengan pengendapan batuan Formasi Oyo. Kegiatan tektonik kegunungapian di daratan mempengaruhi sedimentasi (karbonat) yang sedang terjadi di lingkungan laut dangkal. Beragam jenis klastika asal-daratan dan tuf masuk ke dalam cekungan, menghasilkan Formasi Oyo yang bersifat klastik. Di dasar paparan yang berbatasan dengan daratan yang mulai stabil terbentuk terumbu-terumbu koral Formasi Wonosari. Keadaan tektonik yang stabil hingga permulaan Miosen Akhir menciptakan kondisi yang sangat memungkinkan bagi pertumbuhan dan perkembangan batugamping terumbu paparan Formasi Wonosari. Kegiatan tektonik yang aktif pada Miosen Akhir menghasilkan sesar-sesar turun sehingga kawasan menciptakan bentukan sembulan (*horst*) dan amblesan (*graben*). Daerah tinggian kemudian mengalami pengikisan, dan batuan rombakan yang dihasilkan diendapkan pada cekungan yang semakin dangkal. Kemudian terbentuk Formasi Kepek berumur Miosen Akhir-Pliosen Awal. Pada Pliosen cekungan terangkat ke permukaan laut, dibuktikan dengan tidak ada endapan yang berlingkungan laut. Begitu seluruh kawasan Gunung Sewu terangkat di permukaan laut, gejala karstifikasi pun dimulai. Kekar dan sesar yang menyertai proses pengangkatan di Gunung Sewu merupakan bidang-bidang lemah yang mudah sekali mengalami pengikisan dan pelarutan. Air permukaan yang mengalir di sepanjang struktur geologi tersebut akan mengubah lembah sungai menjadi lebih dalam dan lebar. Beberapa mulut gua berukuran kecil yang tersingkap bersebelahan di beberapa bagian lereng lembah dan mempunyai ketinggian yang hampir sama, menunjukkan adanya gejala pemotongan sistem lorong bawah tanah oleh sesar. Lorong-lorong gua yang pernah aktif sebelum terjadi pengangkatan mempunyai arah hampir barat-timur (Haryono & Adji, 2004).

2.1.1.4 Karst

Karst merupakan bentang alam yang memiliki keadaan hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan memiliki porositas sekunder yang berkembang baik (Ford & Williams, 2013). Bentang alam karst umumnya tersusun dari batuan batu gamping atau dolomite, dimana topografinya terutama dibentuk oleh pelarutan batuan yang ditandai dengan adanya *sinkhole*, *sink streams*, *close depressions*, drainase bawah tanah, dan manifestasi gua hasil dari sistem bawah tanah tersebut (Fauzi & Imp, 2012). Namun, karst tidak hanya terbentuk pada lingkungan batuan karbonat tetapi juga dapat terbentuk pada batuan lain yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder, seperti Batugypsum dan Batugaram. Karst tidak hanya terjadi di daerah berbatuan karbonat, tetapi terjadi juga di batuan lain yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder (kekar dan sesar intensif), seperti Batugypsum dan Batugaram. Sebaran batuan karbonat yang luas sehingga karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat (Haryono & Adji, 2004). Proses pelarutan yang terjadi pada bentuklahan karst itu tidak hanya terjadi di permukaan batuan (eksokarst), tetapi juga di bawah permukaan (endokarst). Gejala *eksokarst* antara lain diwujudkan dalam bentuk bukit-bukit tunggal lekuk-lekuk lembah (dolina, polje, dan uvala), mata air, serta menghilangnya sungai permukaan kedalam tanah melalui sistem rucutan misalnya *sink* atau mulut gua yang ada. Gejala *endokarst* dicirikan dengan aliran sungai bawah permukaan yang disebabkan oleh proses pelarutan. Kedua gejala karst, yang dipengaruhi oleh faktor fisik, biofisik, dan kimiawi itu bersifat dinamis dan berinteraksi satu dengan yang lain, yang saling mempengaruhi (Hanang Samodra, 2003).

Proses pembentukan bentuk lahan karst atau karstifikasi didominasi oleh proses pelarutan batuan karbonat yang umumnya terdiri dari batu gamping dan dolomit. Sehingga proses pelarutannya ditentukan oleh derajat kelarutan dari batuan atau batu gamping yang ada (jenis batu gamping), iklim (curah hujan), dan umur batu gamping atau lamanya proses pelarutan. Tahapan proses pelarutan adalah sebagai berikut : Proses pelarutan batu gamping yang merupakan proses terpenting pembentukan kars bisa dijelaskan menurut reaksi kimia batu gamping dengan air dan kandungan gas CO₂ terlarut sebagai berikut (Hanang Samodra, 2003).

Secara ringkas proses pelarutan dirumuskan dengan reaksi sebagai berikut:



Adapun menurut (Haryono & Adji, 2004) proses karstifikasi dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor pengontrol dan pendorong. Faktor pendorong terdiri dari batuan mudah larut, kompak, tebal, dan mempunyai banyak rekahan, curah hujan yang cukup (>250 mm/tahun) dan batuan terekspos

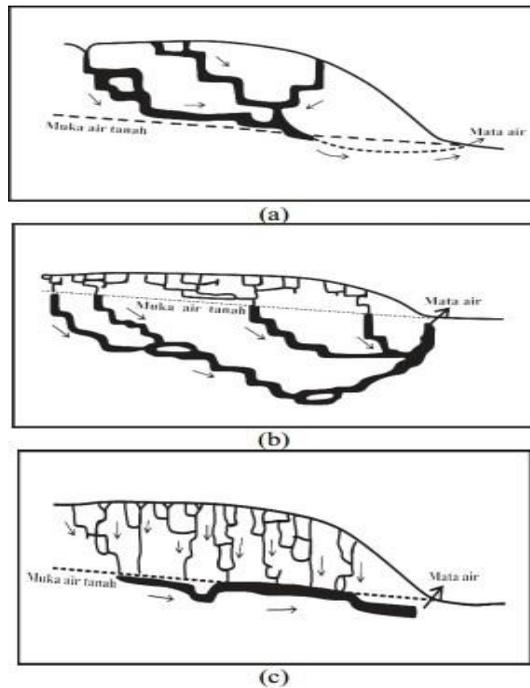
di ketinggian yang memungkinkan perkembangan sirkulasi air/drainase secara vertikal. Sedangkan faktor pengontrol antara lain temperatur dan penutupan hutan. Secara ringkas faktor pengontrol merupakan aspek yang menentukan dapat tidaknya proses karstifikasi terjadi, sedangkan faktor pendorong adalah faktor yang menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi.

2.1.1.5 Sungai Bawah Permukaan

Menurut Samodra (2003), sistem hidrologi pada kawasan karst berbeda dengan kawasan bukan karst. Pada kawasan karst air mengalir melalui sistem retakan celah gua, sedangkan kawasan bukan karst Gerakan air tanahnya melalui pori-pori antar butiran batuan atau mineral. Gua dan sungai bawah permukaan yang dapat dijumpai di wilayah kawasan karst terjadi karena karena karst memiliki ciri khas batuan yang memiliki banyak rongga serta mudah larut dengan air. Sehingga mengakibatkan tidak berkembang sistem sungai permukaan namun menghasilkan sistem sungai bawah permukaan yang lebih dominan (Ford & Williams, 2013).

Rekahan batuan merupakan jalan masuknya air membentuk drainase vertikal dan berkembangnya sungai bawah tanah serta pelarutan yang terkonsentrasi. Air yang terdapat di batuan gamping bersifat dinamis, karena air tersebut bergerak dari permukaan sampai ke zona jenuh air. Pergerakan air ini, berdasarkan dari jalur yang dilalui air berpotensi terjadinya pelarutan batumannya sehingga dalam jangka waktu tertentu terbentuklah lubang yang diameternya cukup besar. Maka terbentuklah sistem sungai bawah tanah di daerah karst. Pada sistem pegunungan karst, level elevasi topografi antara 100-200 m merupakan kisaran elevasi dimana dapat ditemukan gua yang mengandung air. Air hujan yang meresap melalui rekahan di permukaan akan mengalir melalui retakan - retakan hingga mencapai ketinggian 200 m dan terakumulasi pada level elevasi antara 100-200 m secara bertingkat-tingkat dengan kontrol bidang kekar dan bidang perlapisan (Haryono & Adji, 2004).

Ford dan William dalam Handayani (2009) menjelaskan bahwa pembentukan gua dan sistem sungai bawah permukaan pada kawasan karst dibagi menjadi tiga teori seperti diilustrasikan pada Gambar 2.4 dibawah ini :



Gambar 2.4 Teori terbentuknya gua dan sungai bawah permukaan pada kawasan karst (a) teori vadus, (b) teori Freatik Dalam (c) teorifreatik (Handayani, 2009)

Gambar 2.4 mengilustrasikan proses terbentuknya gua dan sungai bawah pada kawasan karst. Teori pembentukan dan perkembangan gua kawasan karst dipengaruhi oleh posisi relatif air yang melarutkan batuan dengan posisi muka air tanah pada daerah dimana gua tersebut terbentuk. Gua-gua yang berada dikawasan karst terbentuk oleh proses pelarutan air yang bersifat asam terhadap batu karbonat. Sisa-sisa dari pelarutan batuan karbonat yang membentuk gua berupa rongga- rongga. Teori proses terbentuknya gua karst dibagi menjadi tiga yaitu teori Vadus (*Vadose Theory*), teori Freatik Dalam (*Deep Phreatic Theory*) dan teori Freatik Dangkal (*Shallow Phreatic Theory*) (Handayani, 2009).

Teori Vadus (*Vadose Theory*) menyatakan proses terbentuk gua karst disebabkan oleh adanya arus bawah tanah yang mengalir, baik pada atau di atas permukaan air tanah (*water table*) pada Gambar 2.4 (a). Dalam hal ini, air yang menginfiltrasi secara vertikal kedalam tanah melalui luweng-luweng sampai air mencapai zona saturasi (zona jenuh air). Setelah air mencapai zona saturasi maka pergerakannya mulai kearah horizontal melalui celah-celah yang sudah ada, seperti bidang perlapisan, kekar, retakan, dan sebagainya. Selama bergerak, air mengerosi dan melarutkan bagian demi bagian batugamping yang dilaluinya.

Hal ini mengakibatkan celah-celah tersebut perlahan-lahan semakin lebar hingga akhirnya membentuk saluran- saluran atau terowongan-terowongan (Handayani, 2009).

Teori Freatik Dalam (*Deep Phreatic Theory*) pada Gambar 2.4 (b) terdiri atas tiga tahapan terbentuknya gua dan sungai bawah tanah. Tahapan pertama merupakan tahap pelarutan, pada tahapan ini terjadinya proses pelarutan dari persebaran air pada bawah permukaan yang terletak di daerah zona freatik. Kemudian tahapan kedua merupakan tahap pengisian, dimana sudah terbentuknya sebuah gua atau lorong dengan diameter cukup besar yang sudah terisi air. Sehingga airnya tidak mengalami pergerakan maka mengakibatkan pengendapan material berupa lempung yang berasal dari material yang terbawa oleh air saat terjadi proses pelarutan secara serentak. Tahapan ketiga merupakan tahap pengeringan, yaitu terjadinya proses kenaikan lapisan tanah sehingga terjadinya pergeseran zona vadus ke bawah yang menyebabkan terjadi pengeringan dalam gua. (Handayani, 2009).

Teori ketiga yaitu teori freatik dangkal (*shallow Phreatic Theory*) yang diilustrasikan pada Gambar 2.4 (c). Pada teori ini terdapat empat tahapan pembentukan gua dan sungai bawah tanah. Tahapan pertama merupakan tahap pelarutan batuan yang terjadi secara acak pada kedalaman tertentu secara vertikal ke bawah. Kemudian tahapan kedua merupakan penggabungan dan pengembangan dari hasil pelarutan yaitu berupa saluran-saluran gua. Setelah itu, pada tahapan ketiga merupakan tahap pengendapan material dan pengisian air pada saluran-saluran gua. Dan pada tahapan keempat merupakan tahap pengangkatan lapisan tanah dan erosi. Dalam tahapan keempat ini mengakibatkan saluran gua terangkat di atas level air tanah (Handayani, 2009).

Sebagian gua-gua yang terdapat di daerah Gunung Sewu merupakan gua yang terbentuk di zona vadus, dan sebagian lainnya merupakan gua yang terbentuk pada level muka air tanah. Gua-gua pada zona vadus di Gunung Sewu biasanya dialiri air hanya pada musim penghujan.

2.1.2 Metode Geolistrik Resistivitas 2D

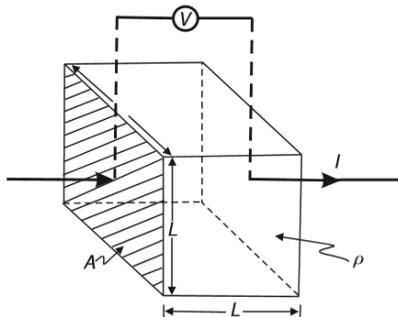
2.1.2.1 Teori Dasar

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode aktif geofisika yang memanfaatkan respon sifat kelistrikan dari dalam bumi. Metode geolistrik resistivitas dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik ke bawah permukaan tanah melalui sepasang elektroda arus (C1 dan C2) kemudian mengukur beda potensial yang diperoleh melalui sepasang elektroda potensial (P1 dan P2). Nilai beda potensial yang telah didapat maka nilai hambatan dari medium bawah permukaan tersebut dapat diperkirakan. Tujuan dari survei geolistrik untuk memperoleh gambaran distribusi nilai resistivitas bawah permukaan yang memanfaatkan sifat kelistrikan medium bawah permukaan (Yuspancana et al., 2019).

Metode geolistrik resistivitas 2D berdasarkan teori Hukum Ohm yaitu arus yang dialirkan melalui suatu medium (I) akan berbanding lurus dengan voltase (V) yang terukur dan berbanding terbalik dengan resistansi (R) medium yang dilalui, secara matematis dirumuskan:

$$V = I \cdot R \quad (2.2)$$

Pada pengukuran metode geolistrik resistivitas, arus listrik yang diinjeksikan ke bawah permukaan tanah dapat diasumsikan bahwa lapisan bumi homogen isotropis. Asumsi tersebut dapat memberikan gambaran bahwa nilai resistivitas yang terukur tidak tergantung terhadap jarak elektroda potensial yang digunakan. Pengukuran tersebut tidak berlaku pada kondisi bumi yang sesungguhnya yang terdiri dari lapisan dengan respon kelistrikan yang berbeda pula. Adanya perbedaan resistivitas pada tiap lapisan menyebabkan nilai resistivitas yang terukur tergantung pada jarak elektroda potensial yang disebut sebagai resistivitas semu atau *apparent resistivity*.



Gambar 2.5 Material homogen yang dialiri arus memiliki luas penampang A , panjang L dan ujung-ujung permukaannya memiliki beda potensial ΔV (Reynolds, 2011)

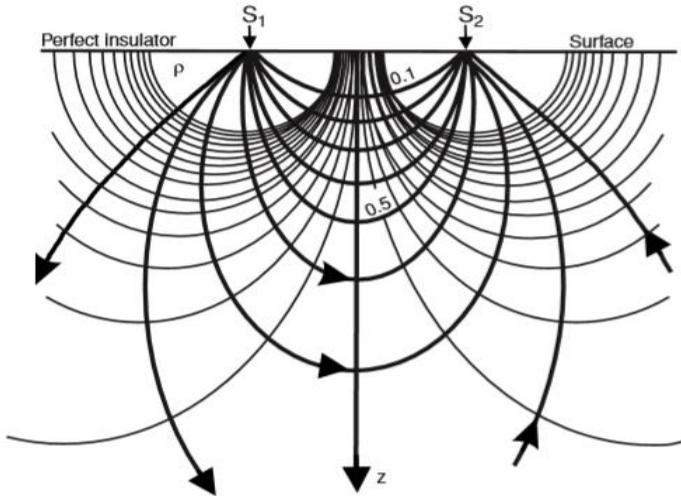
Gambar 2.5 menjelaskan ilustrasi sederhana pada medium yang dialirkan arus listrik (I) dan memiliki hambatan jenis (ρ), maka berbanding lurus dengan luas penampang (A) dengan beda potensial di antara ujung-ujungnya (ΔV) tetapi berbanding terbalik dengan panjangnya (L). Berdasarkan Gambar 2.5 perumusan Harga tahanan jenis medium diperoleh dari persamaan berikut :

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

Dari persamaan (2.2) dan persamaan (2.3) maka didapatkan persamaan baru menjadi:

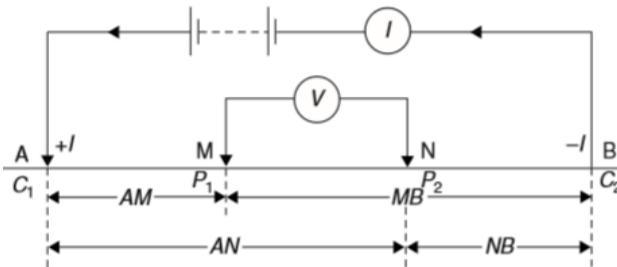
$$\rho = \frac{VA}{IL} \tag{2.4}$$

Asumsi lapisan bawah permukaan bumi yang homogen isotropis maka arus membentuk bidang ekuipotensial berbentuk setengah bola = $2\pi r^2$ sedangkan garis aliran arus medan listriknya pada arah radial (Telford, 1990). Apabila dilakukan injeksi arus listrik melalui dua titik, akan terjadi distribusi potensial yang baru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Arus dan Ekipotensial Hasil Injeksi (Reynolds, 2011)

Gambar 2.6 menjelaskan distribusi arus dan hasil ekuipotensial melalui dua titik dalam pengukuran lapangan dengan menggunakan dua elektroda arus (A dan B) serta dua elektroda potensial (M dan N). Gambar 2.7 di bawah ini merupakan bentuk kasus dua titik dalam medium homogen.



Gambar 2.7 Bentuk susunan elektroda pada survei geolistrik resistivitas

(Reynolds, 2011)

Bila jarak antara elektroda A-M-N-B sudah ditentukan, maka beda potensial dipengaruhi oleh elektroda A (C1) dan B (C2) sebagai injektor arus. Beda potensial yang ditimbulkan oleh C1 ke P1 adalah:

$$V_{11} = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{AM} \quad (2.5)$$

Karena arus pada kedua elektroda sama dan berlawanan arah, maka potensial pada titik P1 akibat elektroda arus C2 dapat ditulis:

$$V_{12} = -\left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{MB} \quad (2.6)$$

Sehingga potensial pada titik P1 akibat elektroda arus C1 dan C2 adalah:

$$V_{11} + V_{12} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right) \quad (2.7)$$

Dengan cara yang sama, potensial pada P2 akibat elektroda arus C1 dan C2 adalah:

$$V_{21} + V_{22} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right) \quad (2.8)$$

Sehingga beda potensial antara P1 dan P2 dapat ditulis sebagai berikut:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right) \right\} \quad (2.9)$$

Dari besarnya arus dan beda potensial yang terukur maka nilai resistivitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right) \right\}^{-1} \quad (2.10)$$

$$\rho = R \cdot 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right) \right\}^{-1} \quad (2.11)$$

$$\rho = R \cdot k \quad (2.12)$$

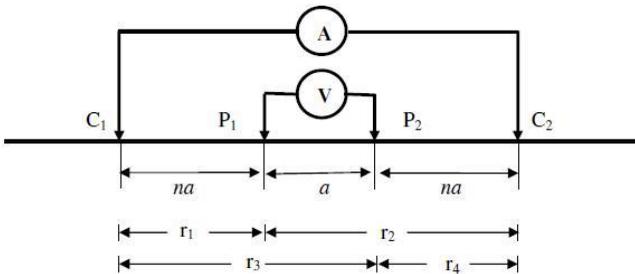
Dimana k adalah faktor geometri yang tergantung pada susunan elektroda saat pengukuran. Sehingga nilai resistivitas adalah hasil perkalian antara resistansi dengan faktor geometri (Reynolds, 2011).

2.1.2.2 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan kombinasi antara konfigurasi *Wenner* dan konfigurasi *Schlumberger*. Pada konfigurasi ini digunakan dua buah elektroda yang bertindak sebagai arus dan dua buah

elektroda bertindak sebagai potensial. Pada saat variasi $n = 1$ maka berlaku cara kerja konfigurasi *Wenner*, dan berlaku konfigurasi *Schlumberger* ketika variasi $n = 2, 3, 4, \dots$ dst. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* adalah salah satu konfigurasi paling umum digunakan untuk survei resistivitas 2D. Kedalaman rata-rata pada konfigurasi ini 10% lebih besar dari konfigurasi *Wenner*. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* juga memiliki cakupan horizontal sedikit lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Wenner*. Cakupan Data horisontal sedikit lebih lebar dari konfigurasi *Wenner*, tapi lebih sempit dari data yang diperoleh konfigurasi dipole-dipole. Maka dari itu konfigurasi *Wenner-Schlumberger* saling menutupi kelemahan masing-masing konfigurasi (Telford, 1990). Keunggulan yang dimiliki konfigurasi *Wenner-Schlumberger* ialah mampu memetakan distribusi nilai resistivitas secara lateral dalam kehomogenan sekaligus mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan secara vertikal. Penetrasi kedalaman lebih baik bila dibandingkan dengan konfigurasi *Wenner*.

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* mempunyai sistem penataan spasi elektroda yang tetap dengan catatan faktor n untuk konfigurasi ini adalah perbandingan jarak antara elektroda arus pertama (C_1) dengan elektroda potensial pertama (P_1) atau berlaku juga pada elektroda arus kedua (C_2) dengan elektroda potensial kedua (P_2) dengan jarak spasi antara elektroda potensial (P_1P_2) adalah a sehingga jarak antara kedua elektroda arus adalah $n+2a$ yang terbentang dalam sebuah garis lurus. Dimana $r_1 = na$ adalah jarak C_1 dengan P_1 , $r_2 = a+na$ adalah jarak P_1 dengan C_2 , $r_3 = a+na$ adalah jarak antara C_1 dengan P_2 dan $r_4 = na$ adalah jarak antara C_2 dengan P_2 . Susunan elektroda konfigurasi *Wenner-Schlumberger* digambarkan pada Gambar 2.8 seperti dibawah ini.



Gambar 2.8 Susunan elektroda konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Loke, 2015)

Berdasarkan Gambar 2.8, harga k (faktor geometri) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{a+na} \right) - \left(\frac{1}{a+na} - \frac{1}{na} \right) \right\}} \quad (2.13)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{a+na} - \frac{1}{a+na} + \frac{1}{na} \right)} \quad (2.14)$$

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

$$K = \frac{2(a+na) - (na)}{na(a+na)} \quad (2.16)$$

$$K = \frac{\pi}{(a+na-na)} \quad (2.17)$$

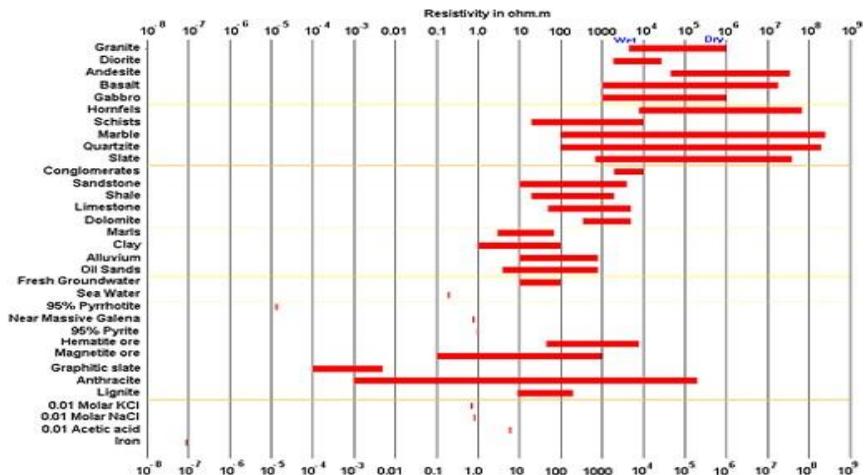
$$K = \frac{na(a+na)}{\pi a^2 n + \pi n^2 a^2} \quad (2.18)$$

$$K = \pi a n + \pi n^2 a \quad (2.19)$$

$$K = \pi a n (1 + n) \quad (2.20)$$

2.1.2.3 Nilai Resistivitas Batuan

Sifat kelistrikan batuan akan ada ketika batuan tersebut dialiri arus listrik. Sifat kelistrikan pada batuan terletak pada kemampuan batuan untuk dapat menghantarkan dan menghambat arus listrik, atau biasa disebut dengan konduktivitas dan tahanan jenis. Kedua nilai tersebut konstan pada batuan dan mineral. Setiap batuan dan material memiliki penyusunan yang berbeda sehingga nilai sifat kelistrikan yang dimiliki pun berbeda. Dalam memudahkan menentukan jenis batuan yang diukur, maka dibuat suatu rentang nilai resistivitas. Berikut adalah rentang nilai resistivitas batuan yang ditampilkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rentang nilai resistivitas batuan (Loke, 2015)

2.1.2.4 Teori Combined Inversion

Pada pengolahan data Resistivitas 2D, proses inversi berfungsi untuk menentukan resistivitas dan ketebalan lapisan yang dihasilkan dari data resistivitas semu hasil perhitungan data lapangan. Inversi yang dilakukan ditujukan untuk menghasilkan penampang bawah permukaan secara lateral dan vertikal. Optimasi inversi dilakukan dengan meminimalisasi perbedaan antara nilai resistivitas semu yang dihitung dan diukur dengan menyesuaikan resistivitas model blok. Ada beberapa jenis proses inversi yang ada di RES2DINV yakni metode *Smoothness-constrained least-square*, *Smoothness-constrained least-square* dan *combined inversion* (Loke, 2015).

Secara umum sebagian besar permasalahan geofisika adalah inversi non-linear. Namun demikian pada beberapa kasus, permasalahan inversi dapat dipilih dibuat menjadi linier ataupun non-linier bergantung pada parameterisasi model yang dipilih. Hubungan antara data dengan parameter model secara umum dapat dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$d = g(m) \quad (2.21)$$

Persamaan tersebut dapat pula digunakan untuk menyatakan hubungan antara data dengan parameter model yang direpresentasikan oleh suatu fungsi non-linier. Dalam hal ini g adalah suatu fungsi pemodelan kedepan (*forward modeling*) yang merupakan fungsi non-linier dari parameter model. Fungsi g dinyatakan dalam notasi vektor untuk menyatakan adanya komponen yang berasosiasi dengan komponen data.

Kesalahan tersebut bisa terjadi karena kesalahan alat, kesalahan pengukuran maupun kesalahan representasi pemodelan yang bisa jadi sebenarnya hubungan tidak linier. Untuk mendapatkan hasil model dengan asosiasi kesalahan minimum, maka semua data harus dilibatkan dalam proses pemodelan atau perhitungan. Hal tersebut diperoleh dengan cara menjumlahkan semua selisih antara data perhitungan dan data observasi, sehingga *error function* dirumuskan sebagai berikut

$$E = \sum_{i=1}^N (\Omega m_i^{cal} - \Omega m_i^{obs})^2 = \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \quad (2.22)$$

Dimana pengkuadratan selisih antara Ωm_i^{cal} dan Ωm_i^{obs} dimaksudkan untuk tidak membedakan selisih negatif atau positif. Pencarian model optimum dengan kriteria kesalahan kuadrat minimum terkecil lebih sering disebut *Least Square Method* (Grandis, 2009).

Berdasarkan penjelasan lain, pada metode optimasi *least square*, model awal dimodifikasi hingga jumlah kuadrat kesalahan E dari selisih antara respon model dan hasil pengukuran dapat diperkecil:

$$E = \mathbf{g}^T \mathbf{g} = \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \quad (2.23)$$

Dimana E adalah jumlah kuadrat kesalahan dan g adalah selisih dari respon model dan hasil perhitungan. Untuk mengurangi nilai kesalahan E di atas, digunakan metode Gauss-Newton berikut yang bertujuan menentukan perubahan parameter model yang harus meminimalkan jumlah kesalahan kuadrat.

$$J^T J \Delta q_i = J^T g \quad (2.24)$$

Dimana J adalah komponen turunan parsial fungsi $g(m)$ terhadap suatu elemen parameter model m yang membentuk matriks Jacobian dan Δq adalah vektor perubahan model.

Pada aplikasinya, metode *least square* tidak digunakan secara independen melainkan perlu dengan penambahan metode lainnya. Hal tersebut dilakukan karena pada kondisi tertentu, hasil matriks akan berupa nilai tunggal karena model awal yang terlalu buruk (tidak sesuai dengan model optimum). Perubahan parameter vektor dihitung menggunakan persamaan 2.24 dapat memiliki komponen terlalu besar, sehingga model baru yang dihasilkan memiliki nilai yang tidak realistis. Salah satu metode umum untuk menghindari masalah ini adalah modifikasi *Marquardt-Levenberg* yang dituliskan seperti persamaan berikut:

$$(J^T J + \lambda I) \Delta q_k = J^T g \quad (2.25)$$

Dimana I merupakan identitas matriks dan λ merupakan *Marquardt factor*. Metode ini menghasilkan model yang memiliki variasi nilai resistivitas *smooth* pada target struktur kompak dimana ketebalan struktur target lebih kecil daripada kedalaman (Loke, 2015).

Dalam penyelesaian permasalahan non-liner menggunakan pendekatan linier ada beberapa metode yang dikenal yaitu metode gradient, metode *Gauss-Newton*, metode *Marquardt-Levenberg* dan metode *Occam*. Metode gradien sangat lambat jika dibandingkan dengan metode *Gauss-Newton*, terutama jika sudah dekat dengan solusi atau nilai minimum fungsi obyektif. Hal ini disebabkan oleh harga gradien yang semakin kecil. Di lain pihak, metode gradien cukup efektif pada saat awal iterasi dimana metode *Gauss-Newton* dapat mengalami *overshoot*. Oleh karena itu kombinasi yang tepat antara kedua metode dapat memperbaiki kinerja tiap metode yang diterapkan secara terpisah. Kombinasi dilakukan dengan menerapkan metode gradien pada saat awal iterasi yaitu saat masih jauh dari solusi, kemudian semakin dekat dengan solusi digunakan metode *quasi-Newton*. Metode kombinasi tersebut dikenal sebagai metode *Marquardt-Levenberg* (Grandis, 2009). Istilah redaman atau redaman untuk memperkirakan parameter model seperti yang dinyatakan dalam Persamaan (2.25) berhubungan dengan meredam ketidakstabilan yang mungkin

timbul karena data yang terbatas pada inversi termasuk yang tidak ditentukan (Akmam & Silvia, 2015).

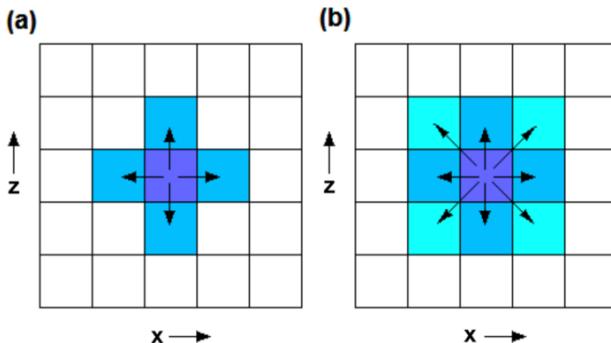
Proses iterasi bilangan dikurangi dengan memodifikasi inversi *Occam* dengan memotong nilai singular, namun metode inversi ini tidak dapat menemukan lapisan tipis konduktif dan lapisan konduktif yang ditutupi oleh lapisan resistif. Masalah lain adalah hasil dari inversi resistivitas yang menghasilkan sedikit perubahan dalam nilai parameter model yang menyebabkan perubahan besar dalam hasil inversi. Kondisi ini akan diatasi dengan menggunakan inversi *Occam* yang dimasukkan ke dalam persamaan 2.25 sebagai pengatur proses penghitungan faktor redaman. Metode Occam merupakan pengembangan dari metode *Marquardt-Levenberg* dengan menambahkan parameter delta untuk smoothing berdasarkan regulasi tikhonov orde 1 (Degroot-Hedlin & Constable, 1990). Faktor redaman untuk inversi ditunjukkan pada persamaan 2.26.

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q = J^T g \tag{2.26}$$

F dalam persamaan 2.26 merupakan fungsi *smoothing* yang diberikan dalam proses inversi. Persamaan dari fungsi *smoothing* yaitu

$$F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z \tag{2.27}$$

Dimana C_x, C_y, C_z adalah matriks *smoothing* yang masing-masing memiliki arah x, y, dan z dan $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ adalah pembobotan relatif yang diikutsertakan dalam filter *smoothing*.



Gambar 2.10 Hubungan model *cells* dengan roughness *filter* pada model 2-D. (a) berarah horisontal-vertikal, (b) berarah diagonal (Loke, 2015)

2.2 Penelitian Terdahulu

Menurut (Karunia, 2012), penelitian bertujuan untuk dentifikasi aliran sungai bawah permukaan di Dusun Mudal, Desa Gebangharjo, Kecamatan Pracimantoro dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner-*

Schlumberger. Menunjukkan hasil lintasan ketujuh lapisan batuan karbonat berbentuk seperti lorong yang berada pada kedalaman sekitar 60meter dari permukaan dan memiliki resistivitas batuan karbonat sekitar 82,8 Ohm.m. Serta adanya pendugaan pola aliran sungai bawah tanah Luweng Sapen diduga menuju kearah utara dan kemudian ke selatan bercabang menjadi dua Lorong.

Menurut (Naufaldi et al., 2017), penelitian di Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan ini menggunakan metode geolistrik resistivitas pada pemodelan sungai bawah permukaan kawasan karst. Dalam penelitian ini dibuat 7 lintasan pengukuran yang tersebar dari luweng Kuniran hingga luweng Kedung Banteng. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa ada 4 lintasan yang teridentifikasi dilewati oleh sungai bawah permukaan dengan nilai resistivitas hasil inversi yang diinterpretasikan sebagai sungai bawah permukaan yaitu 20 ohm meter. Dan didapatkan hasil berupa pola aliran sungai bawah permukaan yang berasal dari Luweng Kuniran melewati Luweng Kedung Banteng dengan arah Timur Laut – Barat Daya.

Menurut (Nurfitriana, 2018), penelitian di Desa Dersono, Kecamatan Pringkuku, Kabupaten Pacitan ini menggunakan metode geolistrik resistivitas 2D dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* untuk mengidentifikasi pola aliran sungai bawah permukaan. Penelitian ini dilakukan dengan 6 lintasan yang tersebar didaerah manifestasi luweng (goa vertikal) yaitu Luweng Tanggung, luweng Winong, Luweng Tati dan Luweng Jomblang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sungai bawah permukaan di Desa Dersono, Kecamatan Pringkuku Kabupaten Pacitan diindikasikan berada pada kedalaman 6 sampai 16meter dengan nilai resistivitas 13,2 – 20 Ohm meter dengan indikasi arah sungai bawah permukaan dari Luweng Tati sampai Luweng Winong masih dikontrol oleh Sesar Barong yang berarah Timur Laut-Barat Daya.

Menurut (Hardyani, 2018), penelitian dilakukan di Desa Dersono, Kecamatan Pringkuku, Kabupaten Pacitan. Pengambilan data dilakukan sebanyak 14 titik yang dibuat memotong dugaan arah sungai bawah permukaan dengan metode VES. Berdasarkan hasil analisis data geolistrik VES di kawasan karst Desa Dersono, Pacitan dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat anomali nilai resistivitas rendah ke tinggi yakni sekitar 5782,4 Ohm.m dan 3239,8 Ohm.m dan diidentifikasi sebagai rongga-rongga atau gua kosong sebanyak dua tingkat yang berada kedalaman sekitar 15-25 meter dan 35-40 meter. Rongga-rongga atau gua kosong tersebut diduga berkembang karena proses pelarutan batuan yang terjadi pada zona vadus atau di atas muka air tanah.

Menurut (Amrin, 2018), penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi kemenerusan sistem sungai bawah tanah menggunakan metode VLF di daerah karst di Kuniran, Pacitan menyatakan bahwa Terdapat 6 lintasan pengukuran, dimana 4 lintasan Panjang 350-400 meter dengan jarak antara lintasan 10 meter dan 2 lintasan dengan Panjang 600-700 meter dengan jarak antar lintasan 25 meter. Data yang diperoleh berupa data tilt dan elips dengan frekuensi 22.300 dan 19.600, hasil dari pengolahan ini merupakan penampang

Rapat Arus Ekuivalen. Rapat Arus Ekuivalen sebanding dengan nilai konduktivitas, jika nilai Rapat Arus Ekuivalen tinggi maka nilai konduktivitas tinggi. Anomali dengan konduktivitas tinggi dianggap sebagai rongga berisi air penuh, nilai anomali Rapat Arus Ekuivalen tinggi berkisar 4,07-13,96 yang tersebar pada kedalaman 10-50 meter, arah kemenerusan sistem sungai bawah tanah timur-barat.

Menurut (Hamdan & Vafidis, 2009), karakteristik kawasan karst memiliki kompleksitas struktur yang tinggi sehingga menyebabkan permasalahan dalam interpretasi resistivitas 2D. penelitian ini bertujuan untuk optimasi metode inversi yang tepat dalam interpretasi data resistivitas 2D pada kawasan karst . Metode inversi yang digunakan adalah *combined inversion*, *smoothness constrained*, dan *robust inversion* yang diterapkan pada konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dan *Dipole-dipole*. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa hasil *combined inversion* dan *smoothness constrained* memberikan hasil yang hampir serupa. Sedangkan metode *robust inversion* mampu menggambarkan zona resistivitas berupa bentukan rongga membundar yang mengindikasikan struktur karst berupa polje.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

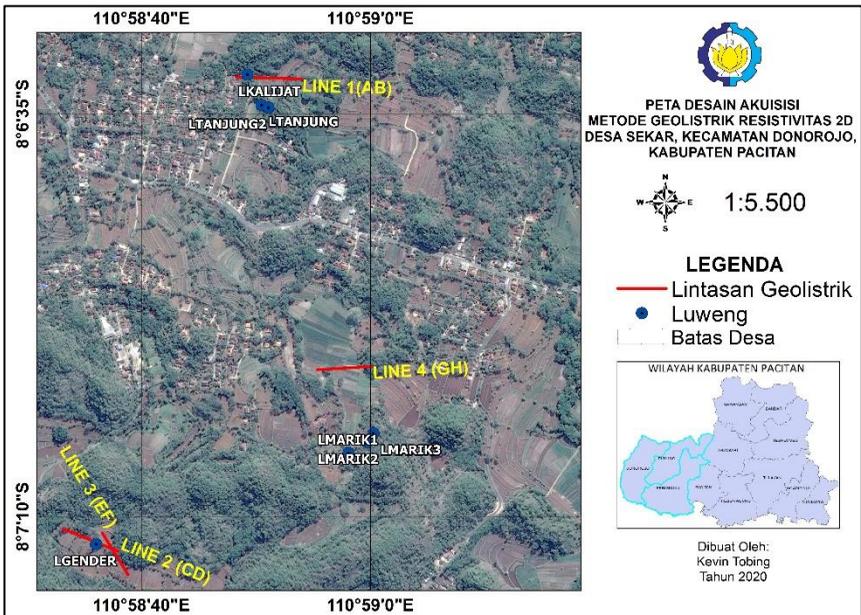
Penelitian dilaksanakan pada tanggal 23 sampai 26 Agustus 2019. Lokasi penelitian di Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan. Adanya manifestasi lapangan berupa luweng (gua vertikal), sungai patah dan sumber air pada lokasi penelitian, sehingga terdapat dugaan sungai bawah permukaan. Adapun manifestasi luweng yang ditemukan antara lain Luweng Kalijati, Luweng Tanjung, Luweng Marik, dan Luweng Gender.

3.2 Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini, peralatan yang digunakan antara lain : instrumen geolistrik *Resistivity Meter* EDAK, *accumulator* sebesar 12V sebagai sumber tegangan, empat buah rol kabel sebagai penghubung instrumen *resistivity meter* dengan elektroda, 35 buah elektroda sebagai media mentransmisikan arus listrik ke dalam bumi dan mengukur beda potensial yang timbul dan empat buah palu elektroda sebagai alat untuk menancapkan elektroda ke dalam tanah. Adapun peralatan pendukung lainnya yaitu: peta lokasi penelitian, *datasheet*, alat tulis, dua buah rol meteran 100 m, GPS, kompas geologi, *Handy Talky* sebanyak 2 buah, AVO meter, *tool kit*, dan satu buah laptop. Selain peralatan diatas, dalam penelitian ini juga digunakan beberapa perangkat lunak pendukung antara lain: Microsoft Excel, Google Earth, Notepad, Res2DINV dan Leapfrog.

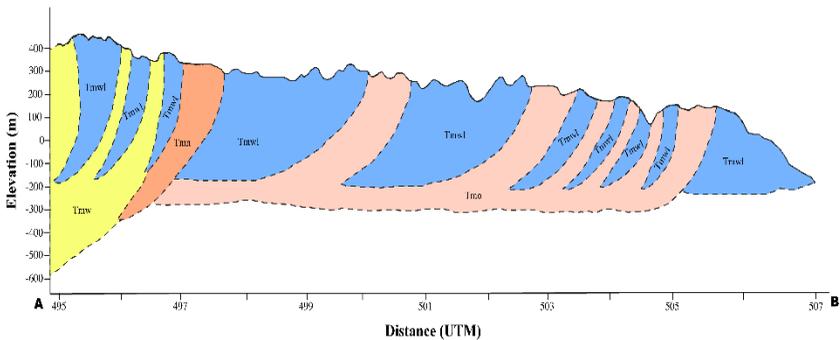
3.3 Desain Akuisisi

Lokasi pengambilan data pada penelitian ini terdiri dari 4 lintasan dalam tiga lokasi. Berikut adalah desain akuisisi pada lokasi penelitian.



Gambar 3.1 Peta desain akuisisi penelitian

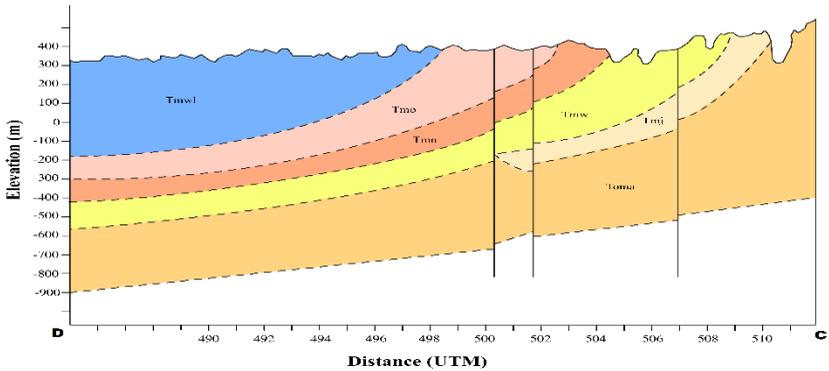
Berdasarkan peta geologi pada bab sebelumnya (gambar 2.1) terdapat dua sayatan penampang geologi berarah Barat Laut-Tenggara dan Timur-Barat yang cenderung searah lintasan pengukuran seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.2 Sayatan penampang geologi A-B berarah Barat Laut-Tenggara daerah penelitian (H Samodra & Gafoer, 1992 yang telah dimodifikasi)

Gambar 3.2 diatas merupakan penampang geologi berarah Barat Laut-Tenggara. Berdasarkan penampang geologi diatas dapat dilihat bahwa terdiri dari

beberapa formasi penyusun batuan. Namun pada daerah penelitian tersusun atas Formasi Wonosari (Tmw1) yang ditandai dengan warna biru muda. Formasi ini diperkirakan memiliki ketebalan hingga 600-800 m (Haryono & Adji, 2004).



Gambar 3.3 Sayatan penampang geologi C-D berarah Timur-Barat daerah penelitian (H Samodra & Gafoer, 1992 yang telah dimodifikasi)

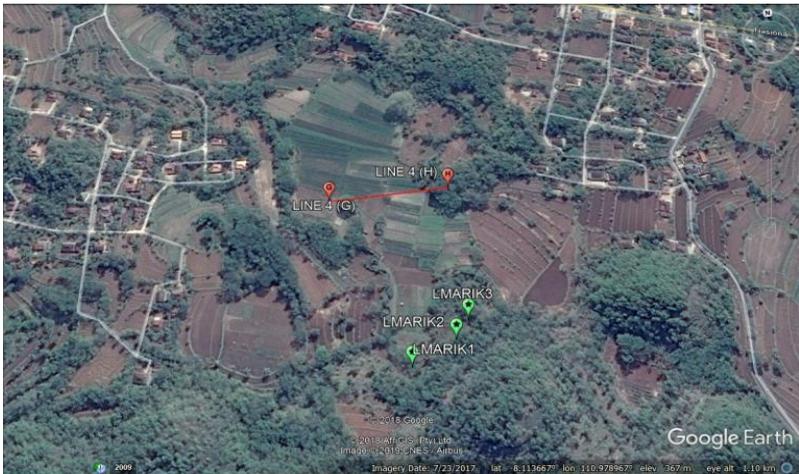
Gambar 3.3 merupakan sayatan penampang geologi C-D berarah Timur-Barat berdasarkan peta geologi pada gambar 2.1. Daerah penelitian tersusun atas Formasi Wonosari (Tmw1). Formasi Wonosari didominasi oleh batuan adalah Batugamping terumbu, Batugamping berlapis, Batugamping mengeping, Batugamping pasiran, dan Napal.



Gambar 3.4 Desain Akuisisi lintasan 1 pada lokasi 1. Marker hijau menunjukkan manifestasi luweng/goa, marker merah menunjukkan titik akhir dan awal lintasan geolistrik, dan line merah menunjukkan lintasan pengukuran



Gambar 3.5 Desain Akuisisi lintasan 2 dan 3 pada lokasi 2. Marker hijau menunjukkan manifestasi luweng/goa, marker merah menunjukkan titik akhir dan awal lintasan geolistrik, dan line merah menunjukkan lintasan pengukuran geolistrik.



Gambar 3.6 Desain Akuisisi lintasan 4 pada lokasi 3. Marker hijau menunjukkan manifestasi luweng/goa, marker merah menunjukkan titik akhir dan awal lintasan geolistrik, dan line merah menunjukkan lintasan pengukuran geolistrik.

Gambar 3.1 menunjukkan desain akuisisi secara keseluruhan dalam penelitian ini. Pembuatan desain ini untuk mengcover manifestasi luweng sehingga diperoleh dugaan aliran sungai bawah permukaan. Empat lintasan yang

dibuat tersebar dalam 3 lokasi yang berbeda. Jarak antar lokasi adalah sebagai berikut :

- Lokasi 1 - Lokasi 2 = +- 1.3 km
- Lokasi 1 - Lokasi 3 = +- 1 km
- Lokasi 2 - Lokasi 3 = +- 800 m

Tabel 3.1 Koordinat lintasan pengukuran

No	Line	Koordinat Awal		Koordinat Akhir		Elevasi (m)
		X	Y	X	Y	
1	Line 1	- 8.108889°	110.981667°	-8.108838°	110.980076°	378
2	Line 2	-8.120278°	110.977222°	-8.119745°	110.975872°	342
3	Line 3	- 8.120846°	110.977447°	-8.119850°	110.976817°	343
4	Line 4	-8.115901°	110.982049°	-8.115832°	110.983364°	355

Berikut adalah penjelasan desain akuisisi setiap lintasan:

- ***Lintasan 1***

Panjang lintasan 1 yang diukur sebesar 170 m yang membentang dari arah timur ke barat dengan nilai azimuth lintasan 271.82° SW. Pembuatan arah lintasan bertujuan untuk memotong pendugaan aliran sungai bawah permukaan. Spasi elektroda pada lintasan 1 sebesar 5 m. Kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang relatif datar yang berada di kebun warga. Lintasan pengukuran berada diantara manifestasi Luweng Kalijati dan Luweng Tanjung. Akuisisi data di lintasan 1 dilakukan pada tanggal 11 Agustus 2019. Untuk gambaran kondisi lapangan lintasan 1 dapat dilihat pada Gambar 3.4.

- ***Lintasan 2***

Lintasan 2 membentang dari arah Tenggara-Barat Laut dengan nilai azimuth lintasan 112.54° SE. Untuk panjang lintasan dibentang sejauh 170 m. Letak lintasan 2 berada didekat manifestasi Luweng Gender dan adanya beberapa amblesan. Pembuatan arah lintasan bertujuan untuk memotong pendugaan aliran sungai bawah permukaan yang berasal dari Luweng Kalijati. Pada lintasan 2 spasi elektroda pada yang digunakan adalah 5 m. Kemudian kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang relatif datar yang berada di zona lemah atau dolina dan area lahan warga. Pengambilan data pada lintasan 2 dilakukan pada tanggal 12 Agustus 2019. Gambar 3.5 menunjukkan kondisi lapangan lintasan 2.

- ***Lintasan 3***

Pengukuran di lintasan 3 dilakukan sepanjang 130 m berarah Tenggara-Barat Laut dengan nilai azimuth lintasan 327.87° NW. Spasi elektroda yang digunakan

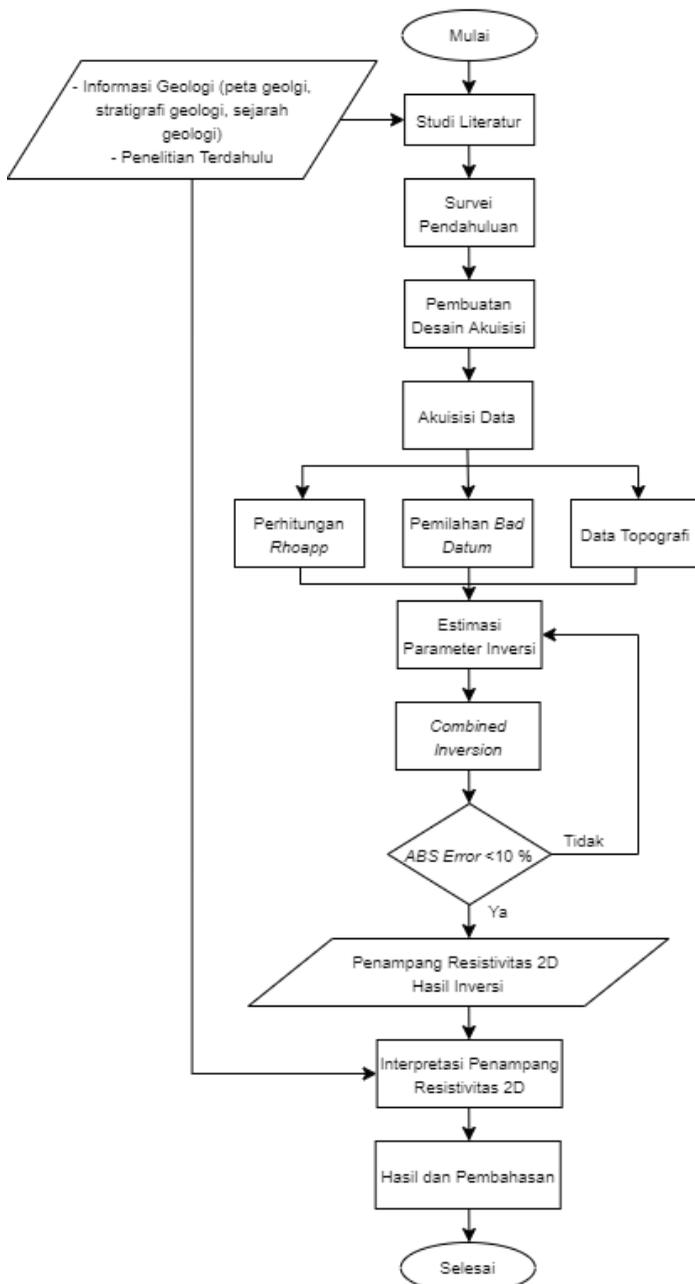
pada lintasan 3 adalah 5 m. Pembuatan arah lintasan bertujuan untuk memotong pendugaan aliran sungai bawah permukaan yang berasal dari Luweng Marik. Kemudian kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang relatif datar yang berada di zona lemah atau dolina sebagai lahan warga. Lintasan pengukuran berada cenderung dekat dengan manifestasi Luweng Gender. Pengambilan data pada lintasan 3 dilakukan pada tanggal 12 Agustus 2019. Gambaran kondisi lapangan lintasan 3 dapat dilihat pada Gambar 3.5.

- ***Lintasan 4***

Lintasan 4 berada di dekat manifestasi Luweng Marik 1, 2, dan 3. Pembuatan lokasi lintasan 4 bertujuan untuk mendapatkan dugaan adanya sungai bawah permukaan yang terhubung dari Luweng Kalijati menuju Luweng Marik 1, 2, dan 3. Panjang lintasan 4 adalah 145 m yang membentang dari Barat-Timur dengan nilai azimuth lintasan 86.58° SE. Lalu untuk spasi elektroda yang digunakan adalah 5 m. Sedangkan kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang relatif datar yang berada di lahan warga berupa sawah sesudah dipanen. Lintasan pengukuran berada diantara manifestasi Luweng Marik dan Luweng Tanjung. Akuisisi data pada lintasan 4 dilakukan pada tanggal 13 Agustus 2019. Gambar 3.6 menunjukkan gambaran kondisi lapangan padan lintasan 4.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut langkah-langkah dalam pengerjaan penelitian seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.7 dibawah ini:



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Studi Literatur

Dalam studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi dan referensi terkait penelitian yang dilakukan meliputi data geologi, penelitian terdahulu yang pernah dilakukan serta penelitian metode resistivitas di daerah karst. Melalui studi literatur akan dirumuskan teori pendukung dan bagaimana penelitian ini dilakukan semestinya.

3.5.2 Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan merupakan tahapan untuk memperoleh gambaran daerah penelitian sebelum pengambilan data dilakukan. Dalam survei pendahuluan, hal yang dilakukan adalah mencari *point of interest* berupa manifestasi luweng. Keberadaan manifestasi luweng-luweng di lapangan dapat digunakan acuan untuk dugaan sistem aliran sungai bawah permukaan untuk menentukan lintasan pengukuran. Informasi yang diperoleh dari survei pendahuluan akan digunakan penulis untuk merancang desain akuisisi.

3.5.3 Desain Akuisisi

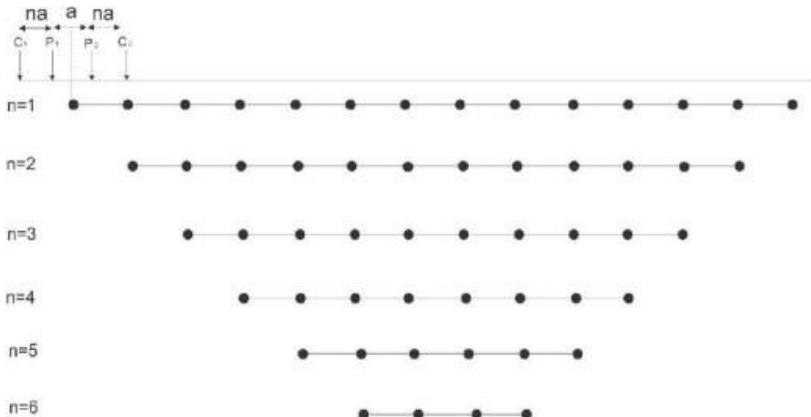
Informasi yang diperoleh dari survei pendahuluan digunakan untuk merancang desain akuisisi pengambilan data. Pembuatan desain akuisisi berdasarkan dugaan kemenerusan sistem aliran sungai bawah permukaan antar manifestasi luweng. Terdapat 4 lintasan pengukuran yang berada di 3 lokasi berbeda. Lintasan 1 dengan panjang lintasan sebesar 170 m, lintasan 2 dengan panjang lintasan sebesar 160 m, lintasan 3 dengan panjang lintasan sebesar 130 m dan lintasan 4 dengan panjang lintasan 145 m. Tiap-tiap lintasan pengukuran memiliki spasi elektroda yang sama yaitu 5 m.

3.5.4 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di lokasi berdasarkan desain akuisisi yang telah dibuat. Dalam pengambilan data, metode yang digunakan adalah metode resistivitas 2D dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Pemilihan konfigurasi ini berdasarkan target yang diinginkan. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan salah satu konfigurasi metode geolistrik yang memiliki jangkauan penetrasi kedalaman yang cukup baik, resolusi vertikal yang baik dan tingkat sensitif terhadap heterogenitas secara lateral cukup baik. Karakteristik konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dianggap cocok untuk mencari target penelitian berupa goa / rongga bawah permukaan tanah. Proses akuisisi data berlangsung pada tanggal 11 sampai 13 Agustus 2019.

Data yang diperoleh dari pengambilan data berupa beda potensial (V) yang terukur dari elektroda potensial, besar arus listrik (I) yang dialirkan ke bumi, faktor geometri (k) sesuai konfigurasi yang digunakan, datum point, dan Rhoapp sebagai nilai tahanan jenis litologi. Setelah data beda potensial (V) dan besar

arus listrik (I) diperoleh dari pengukuran data di lapangan dilakukan *quality control* berupa memvalidasi nilai Rho_{app} pada data $n = 1$ dengan keadaan geologi di lapangan. Data yang diperoleh dari akuisisi akan digunakan untuk tahap pengolahan data. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan 4 buah elektroda yang terdiri dari C_1 dan C_2 sebagai elektroda arus, P_1 dan P_2 sebagai elektroda potensial yang diletakkan pada satu garis lurus. Kemudian dialirkan arus listrik kedalam bumi melalui elektroda arus sehingga akan terukur beda potensial pada elektroda potensial. Visualisasi pseudosection konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Sebaran data Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.

3.5.5 Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari akuisisi data akan digunakan dalam pengolahan data. Data yang digunakan sebagai *input* antara lain beda potensial (V), besar arus listrik (I), faktor geometri (k), datum point, spasi elektroda dan n . Langkah pertama dalam pengolahan data adalah dilakukan perhitungan Rho_{app} . Kemudian dilakukan analisis *bad datum* untuk mengurangi data diluar *trend* yang dapat membuat nilai *error* tinggi. Selanjutnya memasukkan data topografi yang diperoleh saat akuisisi data dilakukan. Lalu dilakukan penentuan parameter inversi yaitu *damping factor* untuk proses *combined inversion* yang optimal pada target struktur karst yang kompleks. Proses inversi pada penelitian ini menggunakan parameter *damping factor* antara lain: 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.25, 0.5, 0.8, 1 dan 1.5. Pencarian solusi optimum dilakukan secara iteratif hingga mencapai nilai *error* yang terkecil hingga mendekati nol. Saat proses iterasi parameter *damping factor* akan berkurang sebesar setengah dari inisial *damping factor* awal untuk tiap iterasi (Loke, 2015). *Output* yang diperoleh dari pengolahan data adalah penampang 2D resistivitas semu (ρ). Persebaran nilai resistivitas semu (ρ) akan ditampilkan berupa penampang 2D. Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan beberapa perangkat lunak seperti Google Earth

Pro, Ms. Excel, Notepad, Res2DINV dan Leapfrog. Model 2D lateral persebaran Persebaran nilai resistivitas semu (ρ) yang didapatkan dari perangkat lunak Res2DINV kemudian akan diinterpretasi lebih lanjut.

3.5.6 Analisis dan Interpretasi Data

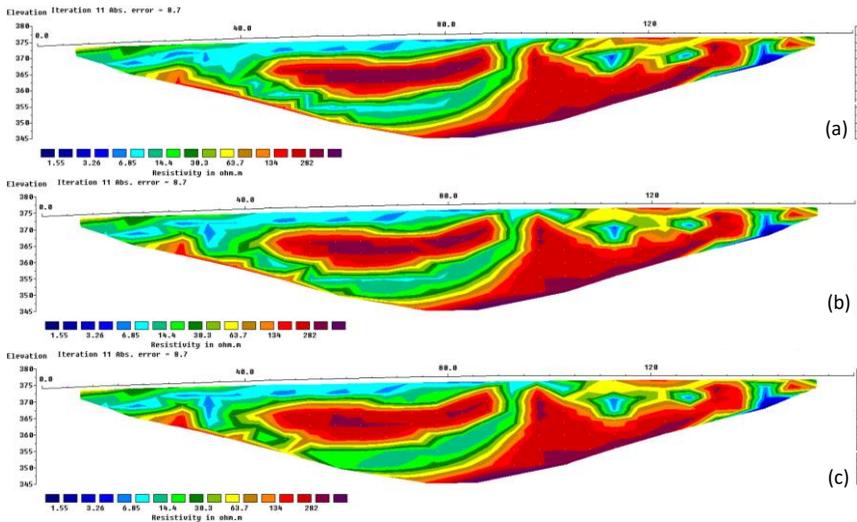
Model penampang 2D resistivitas semu (ρ) yang diperoleh akan dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil analisis akan menentukan interpretasi terhadap anomali tiap lintasan yang didasarkan literatur dan teori pendukung untuk menentukan dugaan sungai bawah permukaan. Analisis kuantitatif dilakukan pada kinerja metode *combined inversion* untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan. Sedangkan analisis kualitatif dilakukan dengan menginterpretasi distribusi nilai resistivitas semu tiap lintasan.

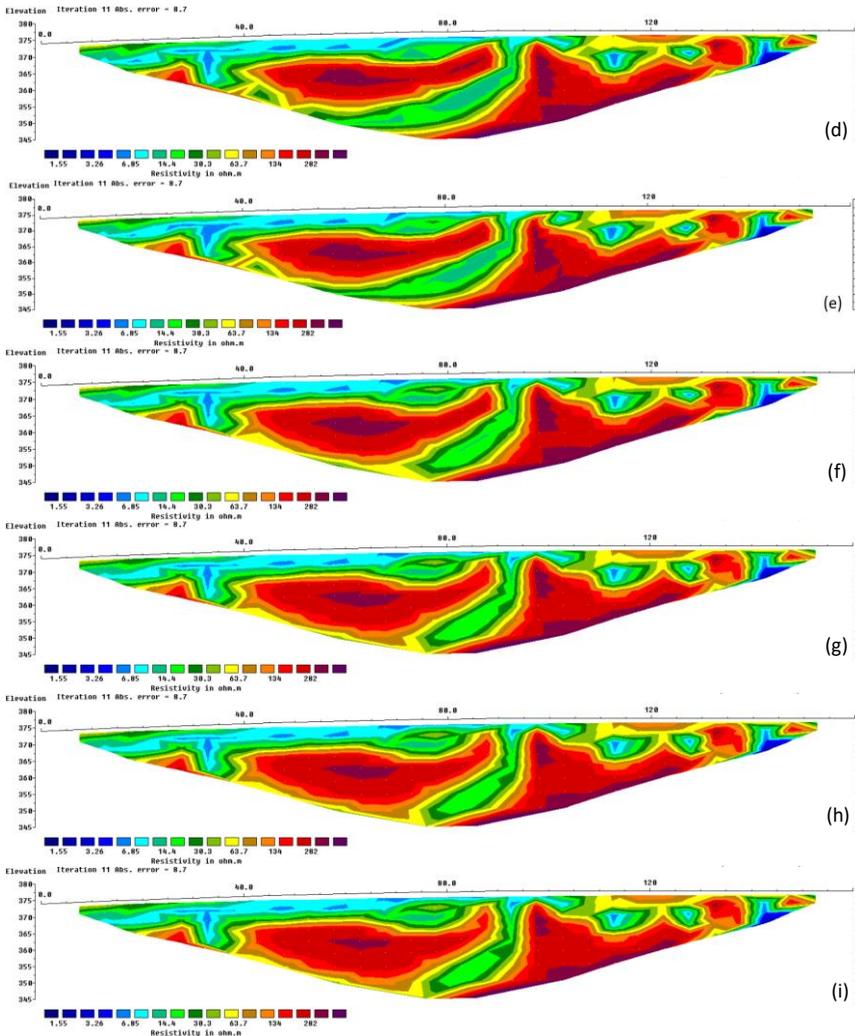
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan *Combined Inversion* berdasarkan Parameter Inversi

Teknik inversi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kombinasi Marquardt dan Occam bertujuan untuk meminimalisir terjadinya distorsi pemodelan *body* anomali dengan nilai resistivitas rendah akibat variasi kontras struktur dengan nilai resistivitas tinggi sehingga diperoleh pemetaan struktur bagian bawah permukaan dengan baik. Metode ini menghasilkan model yang memiliki variasi nilai resistivitas *smooth* pada target struktur kompak dimana ketebalan struktur target lebih kecil daripada kedalaman (Loke, 2015).

Salah satu parameter penting dalam metode *Combined Inversion* adalah *damping factor* (Faktor teredam). Penggunaan parameter *Damping factor* bertujuan untuk mengoptimasi proses inversi dalam memperkirakan model dengan meredam ketidakstabilan karena karakteristik data pada inversi. Kompleksitas struktur kawasan karst sebagai alasan bahwa data input memiliki karakter berbeda dengan wilayah lainnya dengan kontras variasi distribusi nilai resistivitas yang tinggi dan rendah. Parameter *damping factor* yang digunakan masing-masing adalah 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.5, 0.8, 1, dan 1.5. Penentuan nilai *damping factor* berdasarkan *trial and error* dengan acuan yang dianjurkan berdasarkan referensi yaitu dalam rentang 0.05 sampai 0.025 (Loke, 2015), kemudian dilakukan pengujian nilai *damping factor* diluar rentang berdasarkan referensi yaitu 0.5 sampai 1.5. Proses inversi yang dilakukan hingga iterasi ke-11.

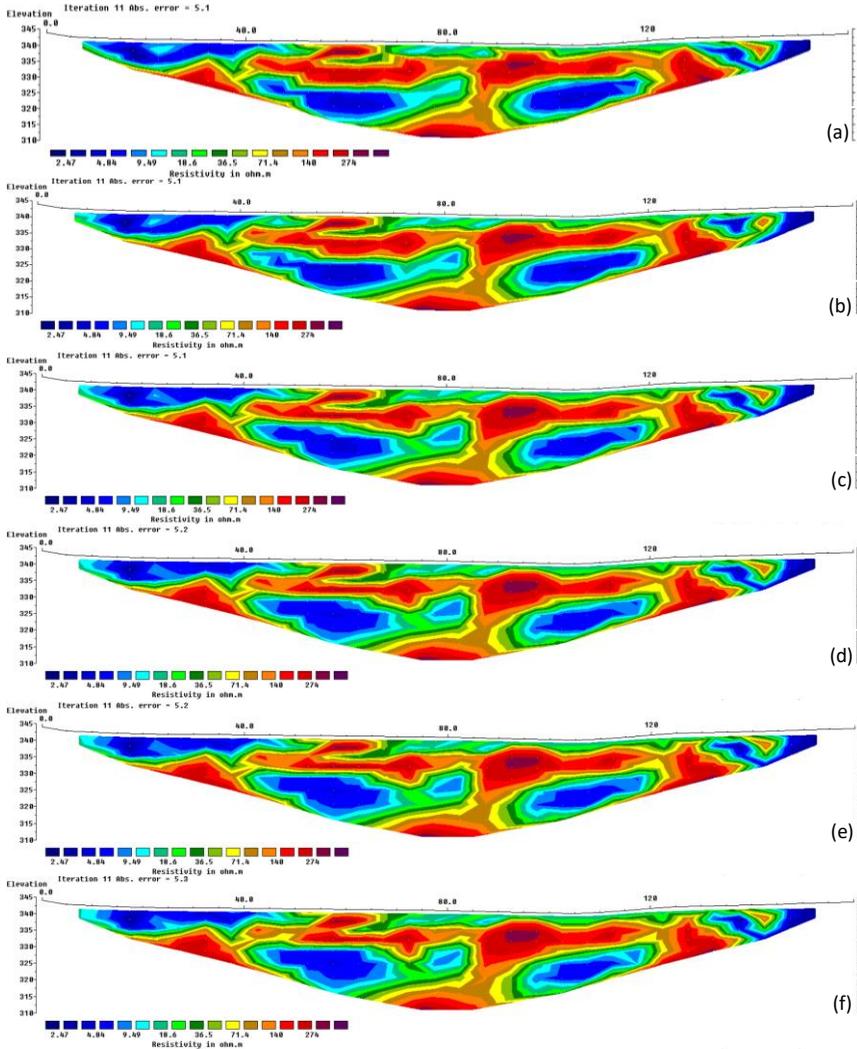


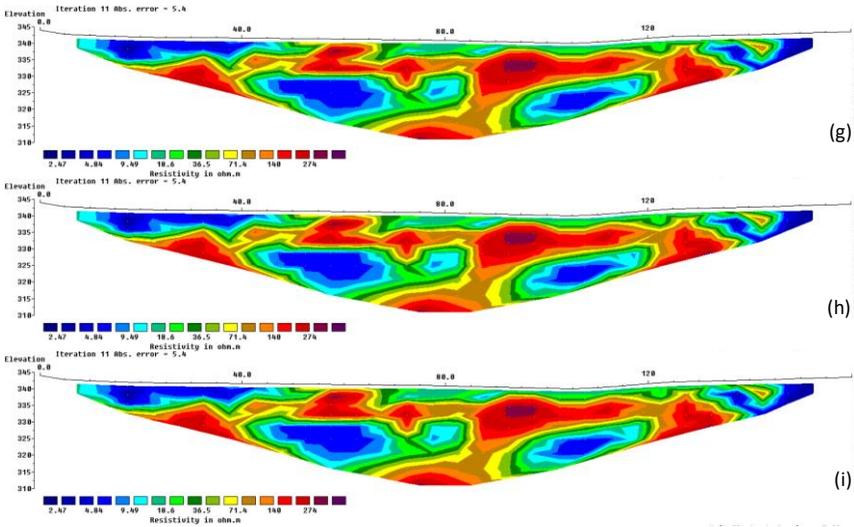


Gambar 4.1 Penampang resistivitas 2D lintasan 1 hasil inversi tiap nilai *damping factor*. (a) Hasil *damping factor* 0.05; (b) Hasil *damping factor* 0.1; (c) Hasil *damping factor* 0.15; (d) Hasil *damping factor* 0.2; (e) Hasil *damping factor* 0.25; (f) Hasil *damping factor* 0.5; (g) Hasil *damping factor* 0.8; (h) Hasil *damping factor* 1; (i) Hasil *damping factor* 1.5

Pada gambar 4.1 menunjukkan hasil inversi penampang resistivitas 2D pada lintasan 1. Perbedaan nilai *damping factor* yang diterapkan pada proses inversi menghasilkan model penampang resistivitas 2D yang hampir sama dalam

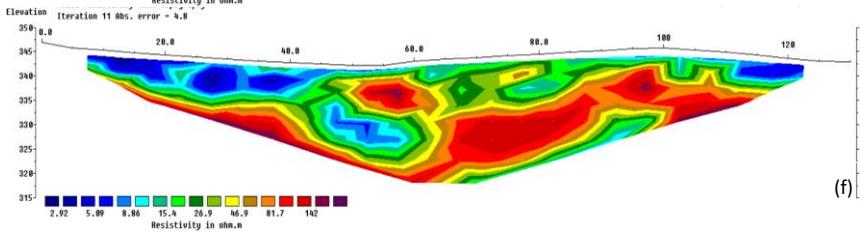
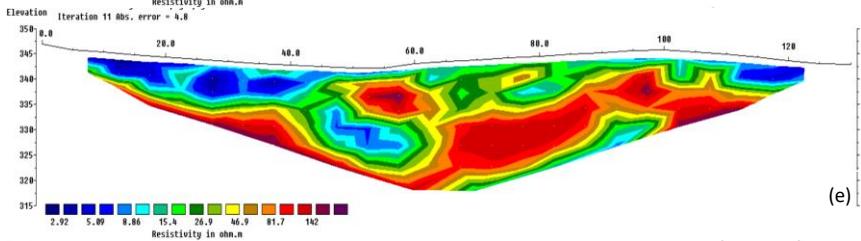
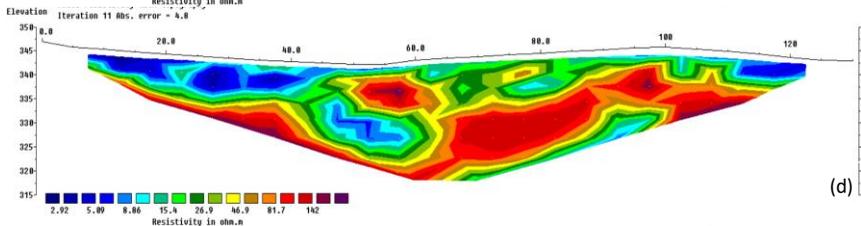
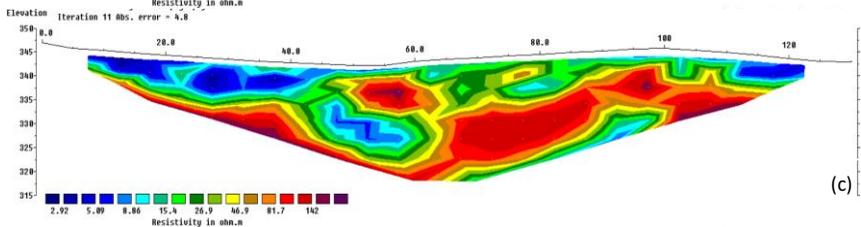
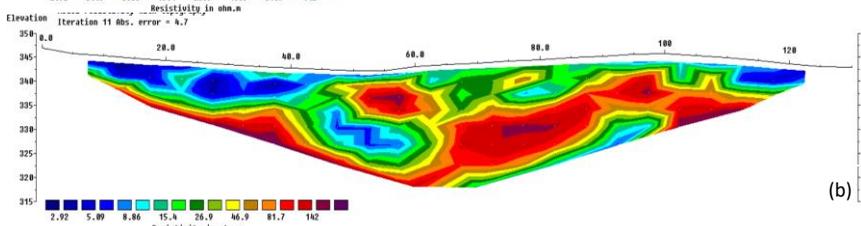
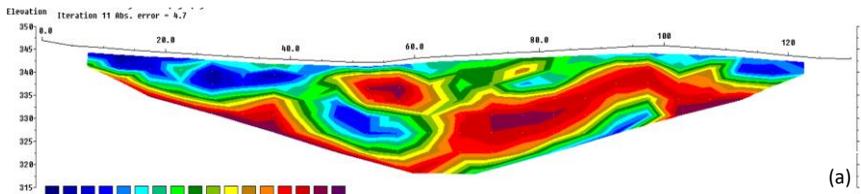
rentang nilai 1.55-282 Ohm.m dengan kedalaman yang diperoleh hingga 31.3 meter. Secara umum hasil inversi dengan perbedaan nilai *damping factor* menunjukkan variasi distribusi nilai resistivitas dan model sistem perlapisan batuan bawah permukaan yang relatif sama. Dari penampang lintasan 1 hal yang membedakan adalah nilai *abs error* dan resolusi sebaran nilai resistivitas. Nilai *abs error* yang diperoleh pada lintasan 1 untuk tiap *damping factor* berkisar antara 8.69-8.72%.

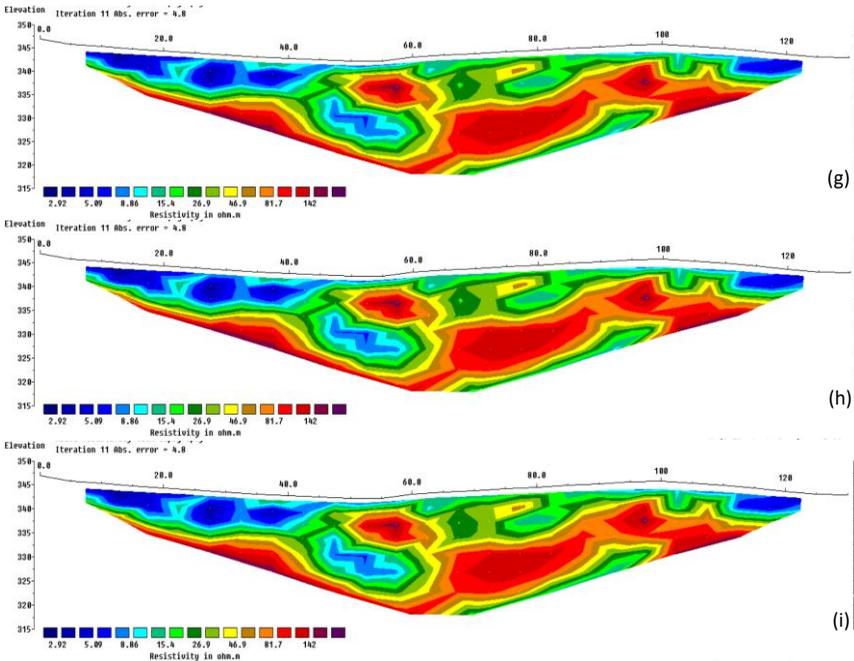




Gambar 4.2 Penampang resistivitas 2D lintasan 2 hasil inversi tiap nilai *damping factor*. (a) Hasil *damping factor* 0.05; (b) Hasil *damping factor* 0.1; (c) Hasil *damping factor* 0.15; (d) Hasil *damping factor* 0.2; (e) Hasil *damping factor* 0.25; (f) Hasil *damping factor* 0.5; (g) Hasil *damping factor* 0.8; (h) Hasil *damping factor* 1; (i) Hasil *damping factor* 1.5

Dari gambar 4.2 dapat dilihat hasil inversi penampang resistivitas 2D pada lintasan 2 dengan variasi nilai *damping factor*. Penampang yang dihasilkan menunjukkan kedalaman yang diperoleh hingga 32.5 meter dan rentang sebaran nilai resistivitas antara 2.47-274 Ohm.m. Hasil inversi dengan perbedaan nilai *damping factor* menunjukkan variasi distribusi nilai resistivitas dan model sistem pelapisan batuan bawah permukaan yang relatif sama. Hasil inversi yang diperoleh menunjukkan bahwa dapat meminimalisir terdistorsinya nilai resistivitas rendah akibat adanya nilai resistivitas yang tinggi. Hal ini dibuktikan dengan perbedaan nilai *damping factor* yang diterapkan, masing-masing menampilkan adanya dua anomali dengan nilai resistivitas yang rendah yaitu bekisar antara 2.47-9 Ohm.m pada kedalaman 17.3-26.2 meter di bawah permukaan tanah yang berada pada jarak 45-80 meter dan 85-120 meter yang terlapiasi lapisan dengan nilai resistivitas tinggi. Variasi nilai *abs error* yang dihasilkan tiap nilai *damping factor* menunjukkan relatif sama. Variasi kontras nilai resistivitas tinggi dan rendah menggambarkan kompleksitas struktur karst berupa anomali yang berbentuk rongga berdasarkan hasil inversi tiap nilai *damping factor* pada lintasan 2. Nilai *abs error* yang diperoleh pada lintasan 2 untuk tiap *damping factor* berkisar antara 5.08-5.42%.

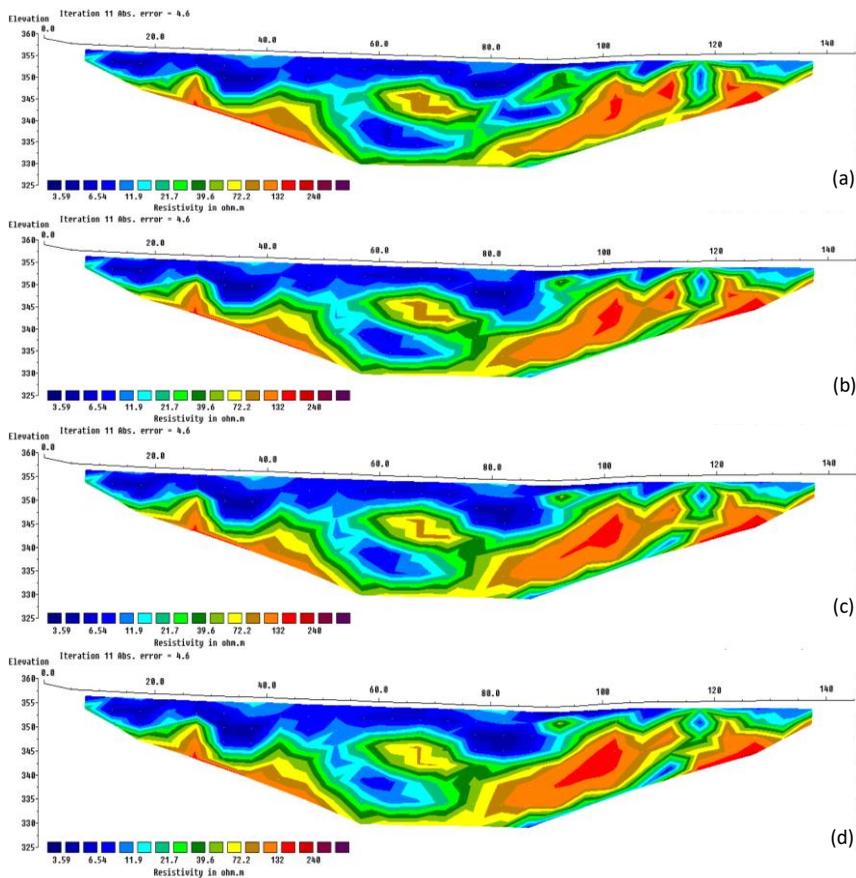


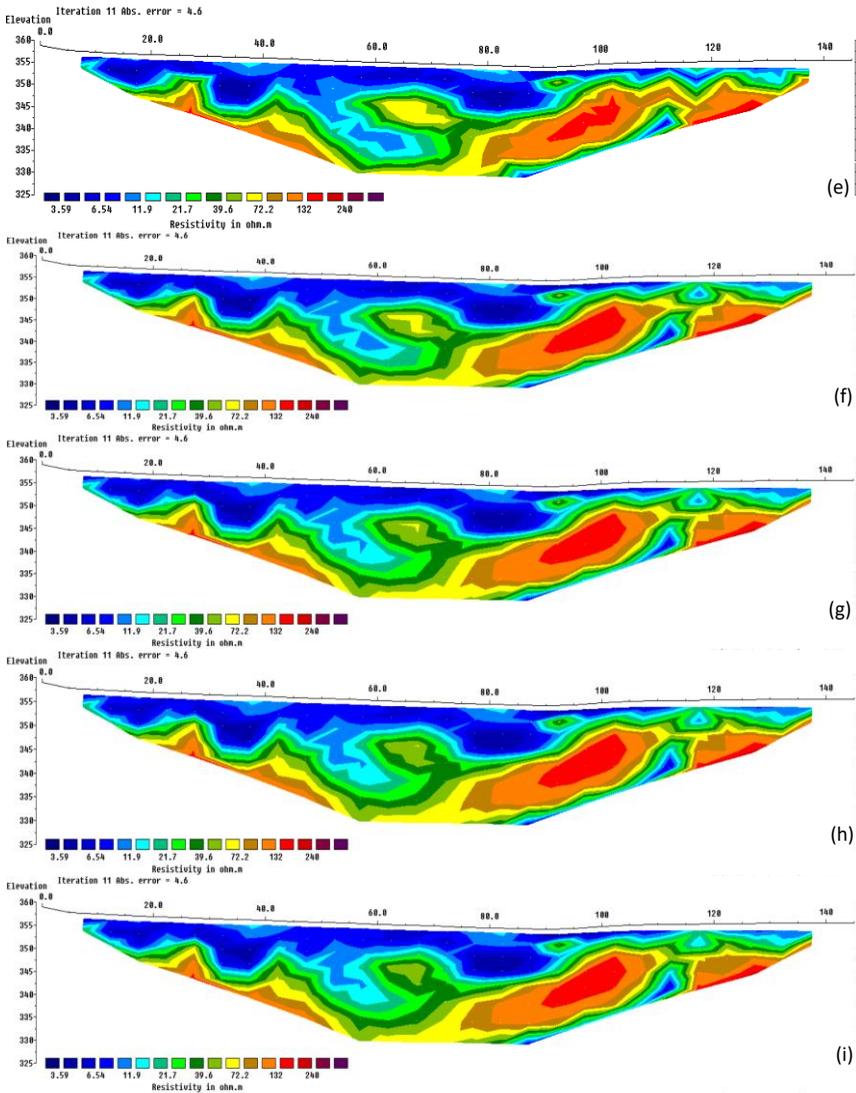


Gambar 4.3 Penampang resistivitas 2D lintasan 3 hasil inversi tiap nilai *damping factor*. (a) Hasil *damping factor* 0.05; (b) Hasil *damping factor* 0.1; (c) Hasil *damping factor* 0.15; (d) Hasil *damping factor* 0.2; (e) Hasil *damping factor* 0.25; (f) Hasil *damping factor* 0.5; (g) Hasil *damping factor* 0.8; (h) Hasil *damping factor* 1; (i) Hasil *damping factor* 1.5

Berdasarkan gambar 4.3 bahwa hasil inversi penampang resistivitas 2D pada lintasan 3 menunjukkan kedalaman yang diperoleh hingga 30meter dan rentang sebaran nilai resistivitas antara 2.92-142 Ohm.m. Lalu hasil inversi variasi nilai *damping factor* menunjukkan distribusi nilai resistivitas dan model sistem perlapisan batuan bawah permukaan yang relatif sama hanya menunjukkan perbedaan yang minor. Berbeda seperti lintasan sebelumnya karakteristik *data input* pada lintasan 3 memiliki nilai resistivitas semu relatif rendah. Sehingga untuk menggambarkan variasi sebaran nilai resistivitas digunakan rentang nilai resistivitas yang lebih rendah sehingga dapat ditampilkan struktur lapisan penyusun batuan bawah permukaan. Perbedaan nilai *damping factor* yang diterapkan, masing-masing menampilkan adanya dua anomali dengan nilai resistivitas yang rendah yaitu bekisar antara 5-10 Ohm.m pada kedalaman 10-30 meter di bawah permukaan tanah yang berada pada jarak 45-60meter dan 65-100meter yang terlapiasi lapisan dengan nilai resistivitas tinggi. Variasi nilai *abs error* yang dihasilkan tiap nilai *damping factor* menunjukkan relatif sama. Nilai *abs error* yang diperoleh pada lintasan 3 untuk tiap *damping factor* berkisar

antara 4.74-4.79%. Secara umum, hasil inversi untuk tiap nilai *damping factor* mampu menunjukkan kompleksitas struktur karst yang ditandai adanya kontras lapisan batuan penyusun dengan nilai resistivitas tinggi dan lapisan batuan penyusun dengan nilai resistivitas rendah serta menggambarkan anomali berupa rongga-rongga melalui minimalisir terdistorsinya nilai resistivitas rendah akibat nilai resistivitas tinggi disekitarnya.





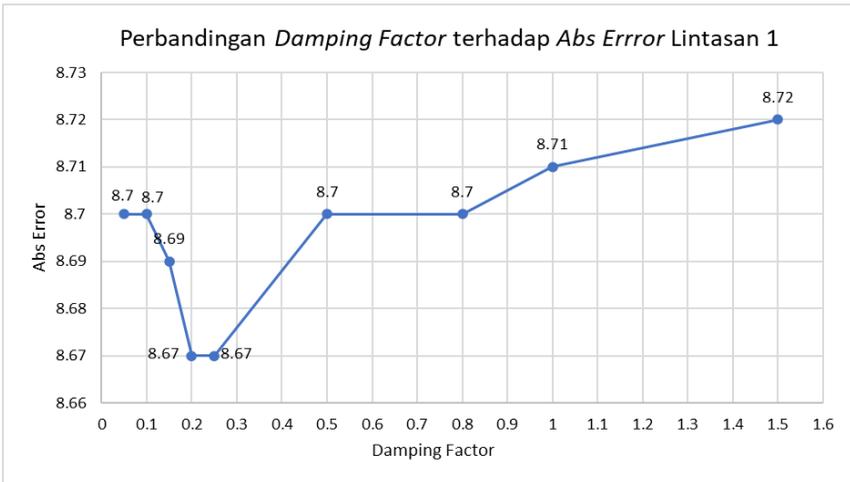
Gambar 4.4 Penampang resistivitas 2D lintasan 4 hasil inversi tiap nilai *damping factor*. (a) Hasil *damping factor* 0.05; (b) Hasil *damping factor* 0.1; (c) Hasil *damping factor* 0.15; (d) Hasil *damping factor* 0.2; (e) Hasil *damping factor* 0.25; (f) Hasil *damping factor* 0.5; (g) Hasil *damping factor* 0.8; (h) Hasil *damping factor* 1; (i) Hasil *damping factor* 1.5

Gambar 4.4 diatas menunjukkan hasil inversi penampang resistivitas 2D pada lintasan 4. Penampang yang dihasilkan menunjukkan kedalaman yang diperoleh hingga 31meter dan rentang sebaran nilai resistivitas antara 3.59-240 Ohm.m. Hasil inversi dengan perbedaan nilai *damping factor* menunjukkan variasi distribusi nilai resistivitas dan model sistem perlapisan batuan bawah permukaan yang relatif sama. Namun pada hasil inversi dengan *damping factor* 0.25 sampai 1.5 (gambar 4.1 (e), (f), (g), (h) dan (i)) menunjukkan adanya perubahan visualisasi penampang resistivitas 2D pada posisi jarak 50-70 meter di kedalaman 13-21 meter berupa rongga dengan nilai resistivitas rendah kemudian menyatu dengan lapisan diatasnya. Perbedaan nilai *damping factor* yang diterapkan, masing-masing menampilkan adanya anomali dengan nilai resistivitas yang rendah yaitu bekisar antara 3.59-12 Ohm.m pada kedalaman 17-30 meter di bawah permukaan tanah yang berada pada jarak 85-115meter yang terlapiasi lapisan dengan nilai resistivitas tinggi. Variasi nilai *abs error* yang dihasilkan tiap nilai *damping factor* menunjukkan relatif sama. Nilai *abs error* yang diperoleh pada lintasan 4 untuk tiap *damping factor* berkisar antara 4.58-4.64%. Secara umum, hasil inversi untuk tiap nilai *damping factor* mampu menunjukkan kompleksitas struktur karst yang ditandai adanya kontras lapisan batuan penyusun dengan nilai resistivitas tinggi dan lapisan batuan penyusun dengan nilai resistivitas rendah serta menggambarkan anomali berupa rongga-rongga.

4.1.1 Analisis Hasil Inversi Berdasarkan Nilai *Abs Error*

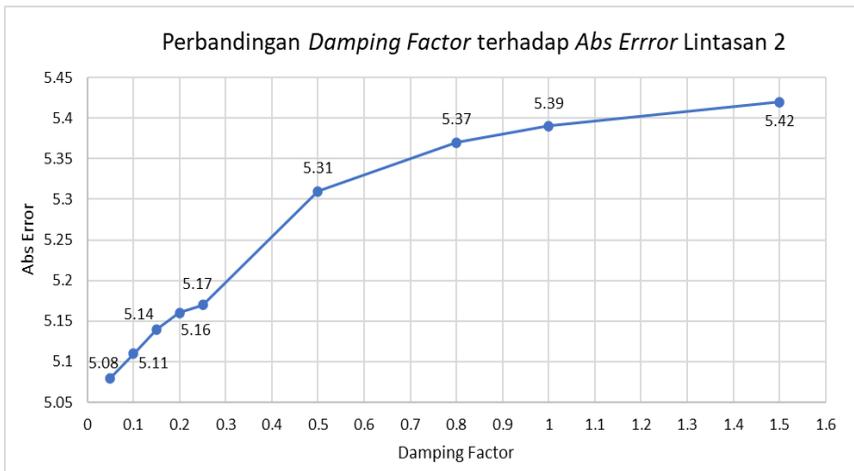
Nilai *abs error* hasil inversi dapat menyatakan persentase kesalahan nilai resistivitas semu hasil pengukuran dengan nilai resistivitas hasil perhitungan yang ditampilkan dalam model. Berdasarkan penelitian Willmott & Matsuura, 2005 nilai *abs error* dapat digunakan sebagai studi evaluasi model. Penggunaan nilai *abs error* sebagai indikator karena metode ini menghasilkan besar nilai *error* yang lebih natural sehingga tidak menimbulkan ambiguitas sebesar RMSE. Akibat adanya nilai $n^{1/2}$ akan berpengaruh terhadap perhitungan rata-rata *error* pada RMSE (Chai & Draxler, 2014; Willmott & Matsuura, 2005).

Melalui analisis berdasarkan nilai *abs error* dapat diuji nilai *damping factor* yang optimal untuk identifikasi sungai bawah permukaan di Kawasan karst. Indikator hasil yang baik adalah nilai *abs error* yang dihasilkan kecil atau mendekati nol. Artinya perhitungan dan hasil obeservasi semakin mendekati sama dan lebih akurat terhadap kondisi geologi. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai *abs error* yang diperoleh menggunakan parameter *damping factor* yang berbeda pada iterasi ke-11. Hal ini bertujuan untuk memperoleh *damping factor* yang menghasilkan persentase *abs error* yang paling kecil.



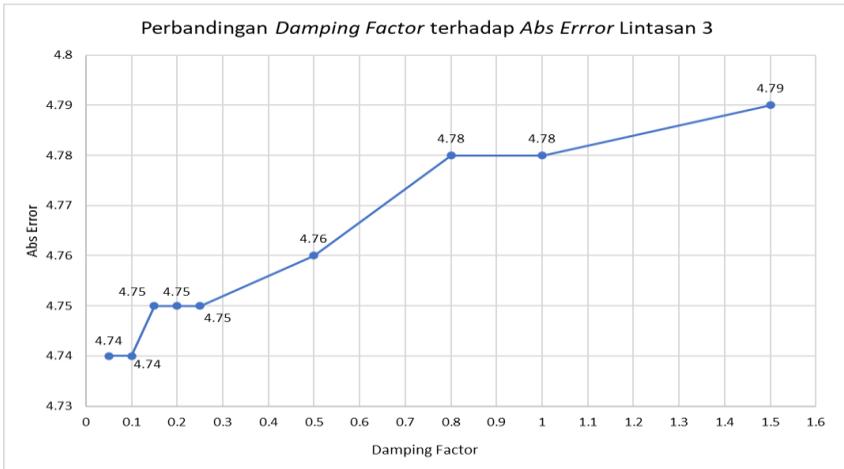
Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai *damping factor* terhadap *abs error* lintasan 1

Berdasarkan grafik diatas, dapat diamati bahwa nilai *abs error* mengalami penurunan pada *damping factor* 0.05 hingga *damping factor* 0.2. Kemudian mengalami kenaikan nilai *abs error* saat *damping factor* 0.25 sampai 1.5. Dapat dilihat bahwa adanya kesamaan nilai *abs error* yang diperoleh dengan *damping factor* yang berbeda. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan reduksi *damping factor* dalam proses inversi per-iterasi sehingga pada iterasi ke-11 menghasilkan persentase *abs error* yang sama (Cui et al., 2017; Loke, 2015). Perubahan nilai *abs error* menyatakan bahwa *damping factor* dapat mempengaruhi keakuratan hasil inversi dengan karakteristik data tertentu. Hasil inversi lintasan 1 berdasarkan gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai *damping factor* 0.2 dan 0.25 menghasilkan nilai *abs error* terkecil dibanding nilai *damping factor* yang lainnya, dengan masing-masing *abs error* yang dihasilkan adalah 8.67. Sehingga untuk lintasan 1, dapat dikatakan parameter nilai *damping factor* yang optimal untuk identifikasi sungai bawah permukaan adalah 0.2 dan 0.25. Melihat analisis hasil inversi lintasan 1 diperoleh dua *damping factor* yang menghasilkan *abs error* yang lebih kecil, maka penentuan *damping factor* yang lebih optimal untuk data lintasan 1 akan dibahas pada subbab selanjutnya.



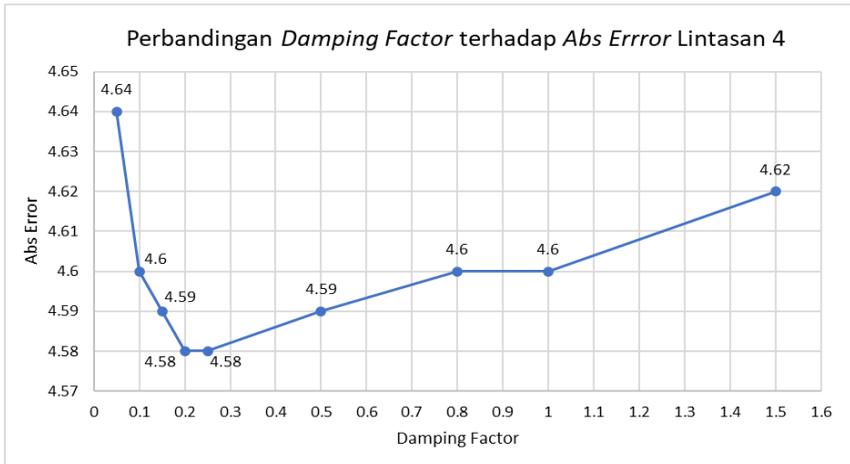
Gambar 4.6 Grafik perbandingan nilai *damping factor* terhadap *abs error* lintasan 2

Melalui grafik diatas, dapat diamati bahwa nilai *abs error* mengalami kenaikan secara terus menerus seiring naiknya nilai *damping factor*. Hal ini disebabkan karakteristik data input yang tidak banyak *noise* sehingga cukup dengan nilai *damping factor* yang kecil mampu meredam proses inversi dengan hasil *abs error* yang kecil atau mendekati nol. Berdasarkan karakteristik data pada lintasan 2 menunjukkan hubungan antara variasi nilai *damping factor* terhadap nilai *abs error* adalah berbending lurus. Hasil inversi lintasan 2 berdasarkan gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai *damping factor* 0.05 menghasilkan nilai *abs error* terkecil dibanding nilai *damping factor* yang lainnya, dengan *abs error* yang dihasilkan adalah 5.08. Sehingga untuk lintasan 2, dapat dikatakan parameter nilai *damping factor* yang optimal untuk identifikasi sungai bawah permukaan adalah 0.05.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan nilai *damping factor* terhadap *abs error* lintasan 3

Dari grafik perbandingan diatas, dapat diamati bahwa terjadi peningkatan secara bertahap pada *damping factor* tertentu. Secara umum nilai *abs error* yang dihasilkan pada iterasi ke-11 mengalami kenaikan seiring naiknya *damping factor* yang diterapkan pada proses inversi. Namun pada *damping factor* 0.05 dan 0.1 menghasilkan persentase *abs error* yang sama, kemudian pada *damping factor* 0.15, 0.2 dan 0.25 memiliki nilai *abs error* yang sama dan juga pada *damping factor* 0.8 dan 1. Hal ini disebabkan oleh perbedaan reduksi *damping factor* per-iterasi saat proses inversi. Jika dilihat grafik perbandingan pada gambar 4.7 menunjukkan hubungan yang relatif sama seperti hasil perbandingan pada lintasan 2 (gambar 4.6). Berdasarkan desain akuisisi penelitian, bahwa lintasan 2 dan 3 berada pada wilayah yang sama membentuk garis potong, sehingga terjadi kemiripan hasil yang diperoleh. Karakteristik data pada lintasan 3 dapat dinyatakan tidak banyak mengandung *noise*. Hal itu didukung dengan gambar 4.7, melalui penggunaan *damping factor* yang kecil yaitu 0.05 dan 0.1 mendapatkan hasil inversi dengan persentase *abs error* yang lebih kecil dibandingkan dengan *damping factor* lainnya yaitu diperoleh 4.74%. Sehingga nilai *damping factor* 0.05 dan 0.1 dianggap optimal dalam inversi pada data lintasan 3. Penentuan diantara kedua *damping factor* tersebut yang lebih optimal akan dibahas pada sub bab selanjutnya.



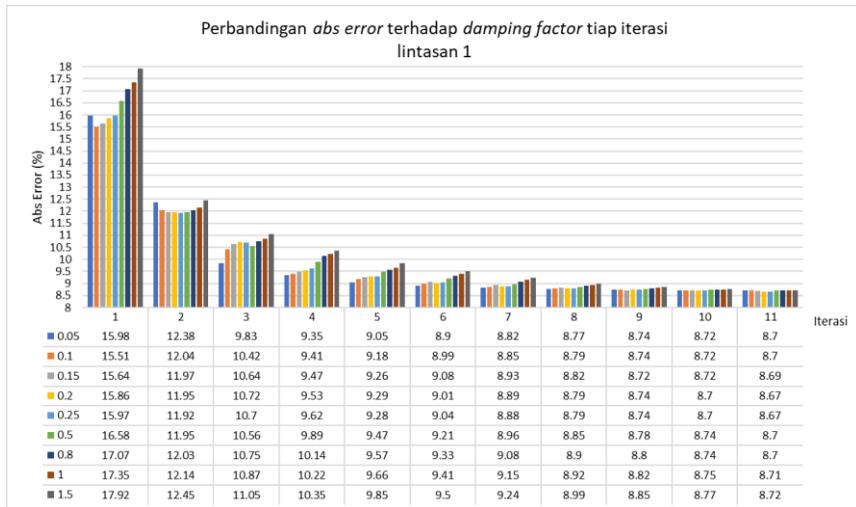
Gambar 4.8 Grafik perbandingan nilai *damping factor* terhadap *abs error* lintasan 4

Melalui grafik perbandingan diatas, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *abs error* mulai dari mulai dari *damping factor* 0.05 sampai 0.2. kemudian mengalami kenaikan kembali saat *damping factor* 0.25 sampai 1.5. Hal ini menunjukkan parameter *damping factor* yang bersifat *trial and error* untuk optimasi proses inversi dengan karakter data input tertentu. Dapat dilihat bahwa adanya kesamaan persentase *abs error* meskipun *damping factor* berbeda seperti lintasan sebelumnya. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan reduksi *damping factor* per-iterasi saat proses inversi. Berdasarkan grafik perbandingan tersebut bahwa *damping factor* 0.2 dan 0.25 menghasilkan persentase *abs error* yang lebih rendah yaitu 4.58%. Sehingga dapat dikatakan bahwa *damping factor* 0.2 dan 0.25 adalah yang lebih optimal saat proses inversi untuk menghasilkan model yang lebih akurat.

4.1.2 Analisis Hasil Inversi Berdasarkan Proses Iterasi

Analisis pendukung pengujian keakuratan perlu dilakukan perbandingan persentase *abs error* tiap iterasi untuk mendapatkan informasi kinerja *damping factor* yang lebih optimal dalam proses inversi. Iterasi merupakan suatu proses optimasi perhitungan ulang dari data untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Melalui tahap iterasi akan melakukan optimalisasi dalam mengurangi perbedaan antara resistivitas hasil perhitungan dengan resistivitas hasil obeservasi yang menyesuaikan blok model. Proses iterasi ini bekerja dengan cara menyelesaikan solusi perhitungan matriks Jacobian secara iteratif dimana perubahan terbesar terjadi akan diperkirakan untuk perhitungan kembali di iterasi selanjutnya, hingga mendekati perhitungan inisial model awal dan perhitungan respon model (Tsourlos et al., 1998). Proses iterasi dilakukan secara

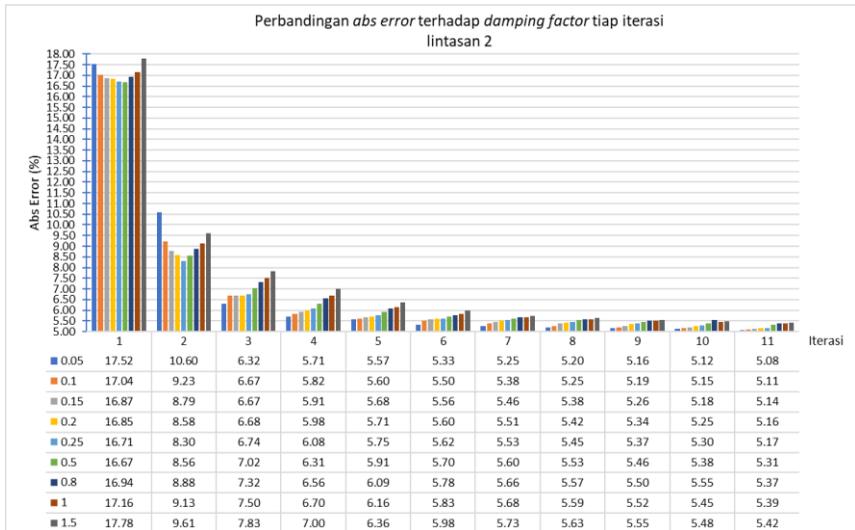
berulang sampai nilai *abs error* yang diperoleh tidak berubah secara signifikan (Loke, 2015). Pada penelitian ini, hal tersebut terjadi pada iterasi ke-11. Ukuran kinerja tiap iterasi diberikan dalam persentase nilai *abs error*. Sehingga berdasar pada analisis per-iterasi, didapatkan penentuan *damping factor* yang optimal dalam proses inversi. Penentuan *damping factor* yang optimal pada inversi dilakukan berdasarkan nilai *abs error* yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan *damping factor* lainnya dan perolehan persentase perubahan terbesar untuk total iterasi.



Gambar 4.9 Histogram perbandingan nilai *abs error* terhadap *damping factor* tiap iterasi pada lintasan 1

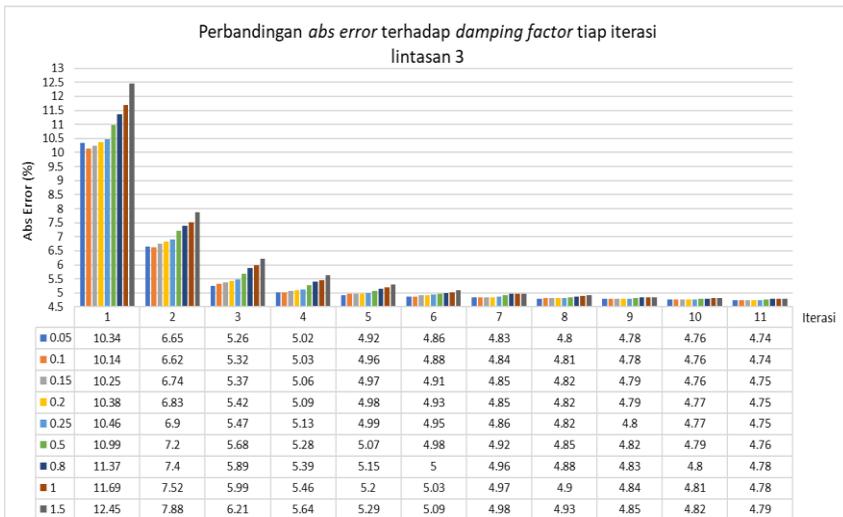
Pada gambar 4.9 menunjukkan histogram dari nilai *abs error* yang dihasilkan dari masing-masing nilai *damping factor* untuk setiap iterasi. Berdasarkan nilai yang diperoleh, masing-masing nilai *abs error* yang diperoleh pada iterasi ke-11 telah memenuhi batas toleransi yaitu $<10\%$. Sehingga penampang resistivitas 2D lintasan 1 dapat dijadikan acuan untuk menentukan target sungai bawah permukaan. Secara umum, tren *abs error* tiap iterasi yang ditunjukkan mengalami penurunan secara signifikan hingga iterasi ke-8. Setelah iterasi ke-8 sampai iterasi ke-11 fluktuasi nilai *abs error* tiap *damping factor* dapat dikatakan stabil sehingga penurunan nilai *abs error* tidak signifikan. Perhitungan secara statistik ini menunjukkan bahwa pada lintasan 1, terdapat dua *damping factor* yang optimal adalah berdasarkan nilai *abs error* pada iterasi ke-11, yaitu 0.2 dan 0.25. Dalam menentukan kedua *damping factor* mana yang lebih optimal maka dilihat dari persentase perubahan penurunan *damping factor* secara iteratif. Maka dari itu, diperoleh bahwa *damping factor* yang lebih optimal adalah 0.25 yang menghasilkan *abs error* 8.67% dengan penurunan *abs error*

total yang dihasilkan sebesar 45.71% sedangkan *damping factor* 0.2 mengalami penurunan *abs error* sebesar 45.33%. Berdasarkan penurunan tersebut dapat dikatakan bahwa hasil inversi dengan *damping factor* 0.25 menghasilkan kinerja yang lebih optimal.



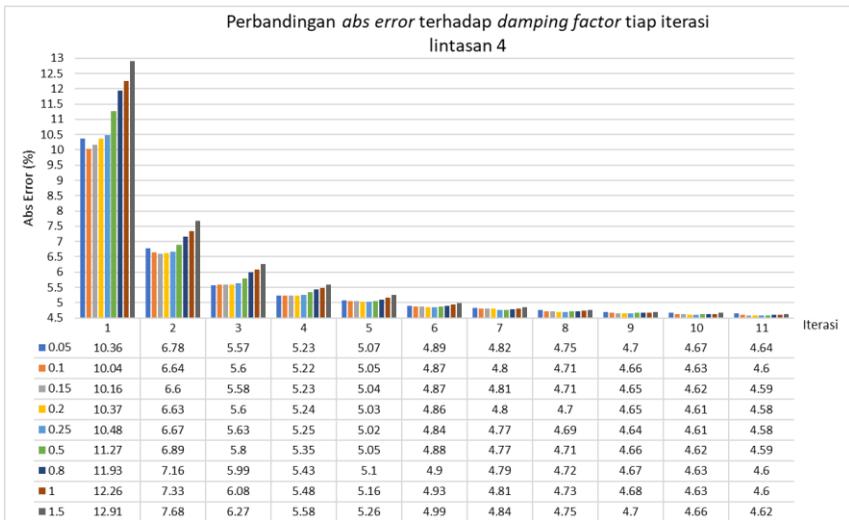
Gambar 4.10 Histogram perbandingan nilai *abs error* terhadap *damping factor* tiap iterasi pada lintasan 2

Berdasarkan histogram diatas, masing-masing nilai *abs error* yang diperoleh pada iterasi ke-11 telah memenuhi batas toleransi yaitu $<10\%$. Secara umum, penurunan nilai *abs error* terjadi secara konstan hingga iterasi ke-9 menunjukkan perubahan iterasi terlihat stabil. Kestabilan proses inversi dilihat berdasarkan perubahan nilai *abs error* yang sudah tidak signifikan. Jika dilihat dari tren penurunan nilai *abs error* tiap iterasi pada *damping factor* 0.05 menunjukkan hasil inversi menghasilkan nilai *abs error* yang relatif lebih kecil daripada *abs error* yang dihasilkan *damping factor* lainnya sejak iterasi ketiga hingga mencapai perubahan yang tidak signifikan pada iterasi ke-8. Dari perhitungan secara statistik ini menunjukkan bahwa pada lintasan 2, *damping factor* yang optimal adalah 0.05 menghasilkan *abs error* 5.08%. Penerapan *damping factor* tersebut ke dalam inversi mampu menurunkan *abs error* total yang dihasilkan sebesar 71%. Perubahan penurunan *abs error* yang relatif besar dapat dikatakan bahwa *damping factor* tersebut berpengaruh dalam proses inversi yang menghasilkan kinerja lebih optimal.



Gambar 4.11 Histogram perbandingan nilai *abs error* terhadap *damping factor* tiap iterasi pada lintasan 3

Berdasarkan gambar 4.11 menunjukkan bahwa adanya tren penurunan *abs error* seiring dengan naiknya *damping factor* tiap iterasi. Hal ini dapat disebabkan oleh keadaan inisial model resistivitas awal yang bersifat tidak banyak mengandung *noise*, karena apabila data awal tidak mengandung banyak *noise*, maka *damping factor* harus diturunkan. Secara umum, masing-masing *damping factor* menyebabkan penurunan *abs error* yang konstan sejak iterasi ke-1 hingga iterasi ke-7. Pada iterasi ke-8 sampai iterasi ke-11 menunjukkan perubahan *abs error* yang tidak signifikan, artinya model resistivitas sebenarnya hampir mendekati model inisial awal resistivitas (hasil observasi). Secara statistik, *damping factor* 0.05 dan 0.1 menghasilkan *abs error* yang relatif lebih kecil dibanding lainnya, dimana masing-masing menghasilkan *abs error* sebesar 4.74%. Kemudian penentuan *damping factor* yang lebih optimal berdasarkan persentase perubahan penurunan *abs error* yang diperoleh untuk tiap iterasi. Jika dihitung secara persentase, didapatkan *damping factor* 0.05 dan 0.1, masing-masing menghasilkan persentase penurunan *abs error* sebesar 54.16% dan 53.25%. Sehingga persentase ini dikaitkan dengan *abs error* pada iterasi ke-11 bahwa *damping factor* 0.05 adalah yang optimal untuk proses inversi pada lintasan 3. Jika dilihat histogram lintasan 3 dan lintasan 2 memiliki hubungan terkait *abs error* dan *damping factor* untuk tiap iterasi yang relatif sama. Hal ini didukung dengan desain akuisisi lintasan 3 dan lintasan 2 merupakan lintasan yang saling memotong di sekitar manifestasi luweg di lapangan.



Gambar 4.12 Histogram perbandingan nilai *abs error* terhadap *damping factor* tiap iterasi pada lintasan 4

Dari histogram diatas dapat dilihat bahwa, tren penurunan *abs error* tiap iterasi secara konstan dimulai iterasi ke-1 hingga iterasi ke-6 untuk masing-masing *damping factor*. Kemudian pada iterasi ke-7 hingga iterasi ke-11 perubahan *abs error* yang terjadi tidak terlalu signifikan. Hal ini didukung dengan tren *abs error* yang dihasilkan oleh tiap *damping factor* sudah berada dalam range toleransi *abs error* yaitu $<10\%$ sejak iterasi ke-2. Jika dihitung secara statistik, *damping factor* 0.2 dan 0.25 menghasilkan *abs error* yang sama pada iterasi ke-11 yaitu 4.58%. Sehingga perlu dilakukan perhitungan persentase perubahan *abs error* dari *damping factor* yang terjadi. Maka diperoleh persentase perubahan *abs error* dari *damping factor* 0.2 sebesar 55.83%, sedangkan *damping factor* 0.25 menghasilkan persentase sebesar 56.3%. Sehingga secara kinerja per-iterasi, *damping factor* 0.25 lebih optimal dalam proses inversi pada lintasan 4 untuk identifikasi sungai bawah permukaan.

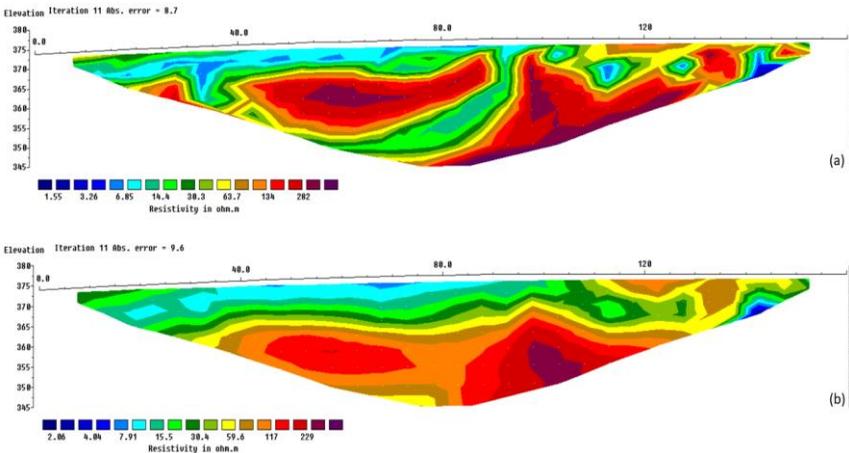
Analisis perbandingan *abs error* terhadap *damping factor* untuk tiap iterasi memberikan pembahasan bahwa proses inversi dipengaruhi oleh model resistivitas awal (hasil observasi). Apabila semakin besar selisih model resistivitas awal terhadap model resistivitas sebenarnya maka akan menghasilkan nilai *abs error* yang besar. Selain itu, *damping factor* yang dimasukkan dalam proses inversi juga mempengaruhi hasil akhir *abs error*. Dapat dilihat bahwa, penentuan nilai *damping factor* yang tepat dapat menstabilkan kinerja proses inversi. Maka dari itu fluktuasi tren perubahan *abs error* terhadap *damping factor* dipengaruhi oleh karakteristik data inisial model resistivitas. Jika kumpulan data mengandung banyak *noise*, maka harus menggunakan faktor redaman yang

relatif lebih besar. Jika kumpulan data tidak mengandung banyak *noise*, gunakan faktor redaman awal yang lebih kecil.

Keempat histogram perbandingan tersebut menjelaskan bahwa pada lintasan 1 parameter *damping factor* yang optimal adalah 0.25. Kemudian untuk lintasan 2 parameter *damping factor* yang optimal adalah 0.05. Lalu untuk lintasan 3 parameter *damping factor* yang optimal adalah 0.05, sedangkan pada lintasan 4 parameter *damping factor* yang optimal adalah 0.25.

4.2 Analisis Perbandingan *Combined Inversion* dengan Inversi Konvensional

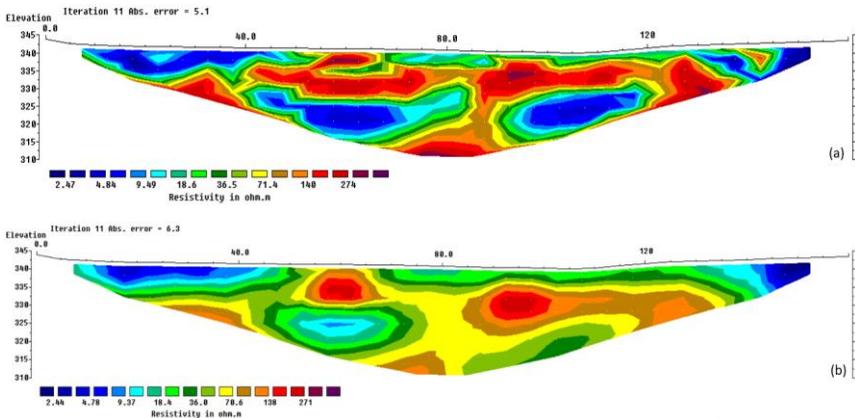
Pebandingan yang dilakukan antara metode *combined inversion* dan inversi konvensional, dimana inversi konvensional yang digunakan adalah metode *least-square smoothness constrain*. Perbandingan dilakukan menggunakan parameter yang sama untuk menghasilkan penampang resistivitas 2D. Hasil *combined inversion* menggunakan parameter *damping factor* yang paling optimal berdasarkan analisis sebelumnya. Sehingga dapat dianalisis perbedaan model penampang resistivitas 2D yang dihasilkan.



Gambar 4.13 Perbandingan penampang resistivitas 2D hasil *combined inversion* dan inversi konvensional lintasan 1. (a) penampang resistivitas 2D hasil *combined inversion*; (b) penampang resistivitas 2D hasil inversi konvensional

Penampang resistivitas 2D berdasarkan gambar 4.13 menunjukkan hasil inversi kedua metode pada lintasan 1. Pada gambar 4.13a merupakan penampang resistivitas 2D hasil *combined inversion*, nilai *abs error* yang dihasilkan dari *combined inversion* adalah 8.67% yang berhenti diiterasi ke-11. Nilai resistivitas yang dihasilkan metode *combined inversion* berada pada range 1.55-282 Ohm.m.

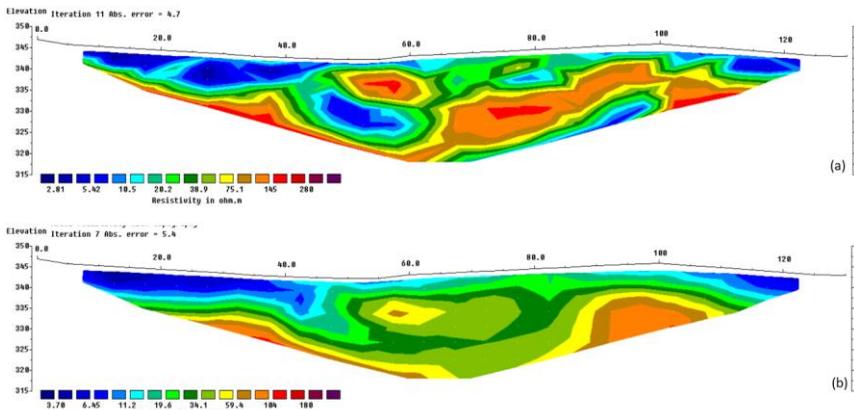
Gambar 4.13b adalah hasil inversi dari metode konvensional, dimana nilai *abs error* yang dihasilkan sebesar 9.61% pada iterasi ke-11, lalu nilai resistivitas yang dihasilkan berada pada range antara 2.06-229 Ohm.m. Selain itu, model penampang kedua metode inversi menggambarkan sebaran kontur resistivitas yang cukup berbeda. Metode *combined inversion* mampu menggambarkan bentuk batas-batas variasi resistivitas yang kompleks di struktur karst, sedangkan metode konvensional menggambarkan secara perlapisan dengan hasil yang lebih halus. Secara kuantitatif berdasarkan nilai *abs error* yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa metode *combined inversion* mendapatkan nilai *abs error* yang lebih baik. Kemudian secara kualitatif model resistivitas 2D yang dihasilkan metode *combined inversion* mampu menggambarkan struktur karstifikasi dengan range distribusi nilai resistivitas yang lebih variatif dan kontur resistivitas yang lebih sensitive terhadap kontras tinggi dan rendahnya nilai resistivitas serta mampu melokalisir anomali resistivitas rendah sebagai dugaan sungai bawah permukaan.



Gambar 4.14 Perbandingan penampang resistivitas 2D hasil *combined inversion* dan inversi konvensional lintasan 2. (a) penampang resistivitas 2D hasil *combined inversion*; (b) penampang resistivitas 2D hasil inversi konvensional

Gambar 4.14 menunjukkan model resistivitas 2D hasil kedua metode inversi pada lintasan 2. Berdasarkan gambar diatas dapat dianalisis perbedaan yang diperoleh. Pada gambar 4.14a menunjukkan model resistivitas hasil metode *combined inversion* tersebut diolah dengan menggunakan iterasi sebanyak 11 kali dengan persentase *abs error* sebesar 5.08%. Lalu nilai resistivitas berada dalam range antara 2.47-274 Ohm.m. Hasil inversi konvensional ditampilkan pada gambar 4.14b diatas, dapat dilihat bahwa penampang resistivitas 2D memperoleh persentase *abs error* sebesar 6.25% yang berhenti pada iterasi ke-

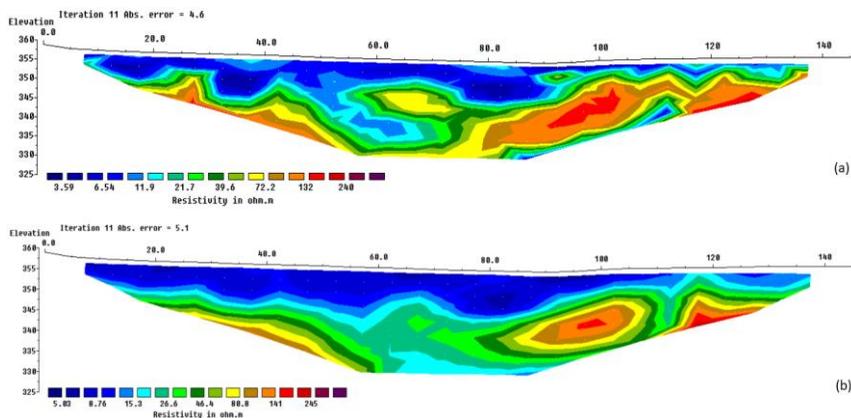
11. Berdasarkan penggunaan metode inversi konvensional, diperoleh model resistivitas memiliki nilai resistivitas dalam range 2.44-271 Ohm.m. Berdasarkan persentase *abs error*, bahwa hasil inversi dengan metode *combined inversion* mendapatkan persentase yang lebih kecil untuk iterasi ke-11. Kemudian terdapat perbedaan pemetaan sebaran nilai resistivitas kedua model. Pada metode *combined inversion* menunjukkan adanya dua anomali dengan nilai resistivitas rendah sebagai indikasi sungai bawah permukaan yang terlapsi struktur dengan resistivitas tinggi pada kedalaman +/- 15meter sedangkan hasil metode konvensional menunjukkan hanya satu anomali resistivitas rendah pada kedalaman yang sama. Berdasarkan perbandingan nilai *abs error* menunjukkan metode *combined inversion* memperoleh persentase yang lebih kecil dan menunjukkan bahwa adanya kesesuaian dengan sistem lapisan penyusun batuan bawah permukaan dan mampu memetakan batas resistivitas yang tajam.



Gambar 4.15 Perbandingan penampang resistivitas 2D hasil *combined inversion* dan inversi konvensional lintasan 3. (a) penampang resistivitas 2D hasil *combined inversion*; (b) penampang resistivitas 2D hasil inversi konvensional

Gambar 4.15a merupakan penampang resistivitas metode *combined inversion* pada lintasan 3. Hasil tersebut memperoleh nilai *abs error* pada iterasi ke-11 sebesar 4.74%. Nilai resistivitas yang dihasilkan berada dalam range 2.81-280 Ohm.m. Hasil model inversi menunjukkan adanya dua zona anomali yang terlihat pada kedalaman +/- 15 dengan nilai resistivitas rendah sebagai indikasi sungai bawah permukaan. Pada pembahasan sebelumnya, hal ini mendukung adanya kemiripan zona anomali yang teridentifikasi pada lintasan 2 dan 3. Pada gambar 4.15b menunjukkan model resistivitas dari metode konvensional pada lintasan 3. Berdasarkan penggunaan metode inversi konvensional, proses inversi berhenti diiterasi ke-7. Nilai *abs error* yang diperoleh sebesar 5.38% pada iterasi

ke-7. Hal tersebut disebabkan proses inversi *least square* melakukan inversi dengan pendekatan linear. Pada kasus ini adanya set data yang *outliers* maka akan mempengaruhi hasil inversi akan mirip atau dekat dengan garis regresi. Kemudian nilai resistivitas yang dihasilkan berada dalam range 3.7-180 Ohm.m. Namun hasil inversi konvensional tidak menunjukkan adanya zona anomali dengan resistivitas rendah seperti hasil metode *combined inversion*. Berdasarkan perbandingan nilai *abs error*, metode *combined inversion* menghasilkan persentase kesalahan yang lebih kecil dan mampu menggambarkan batas yang tajam antar kontras resistivitas.



Gambar 4.16 Perbandingan penampang resistivitas 2D hasil *combined inversion* dan inversi konvensional lintasan 4. (a) penampang resistivitas 2D hasil *combined inversion*; (b) penampang resistivitas 2D hasil inversi konvensional

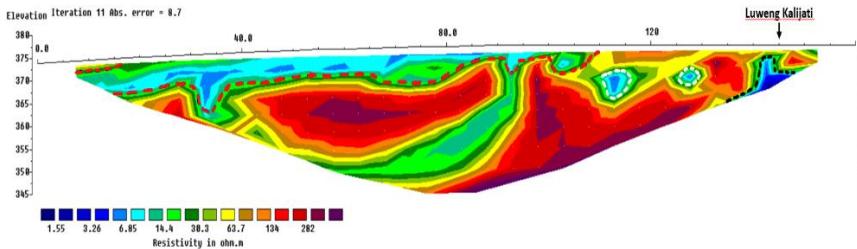
Gambar 4.16 merupakan penampang resistivitas hasil inversi kedua metode. Pada gambar 4.16a didapatkan model hasil metode *combined inversion* dilakukan sebanyak 11 iterasi dengan nilai *abs error* sebesar 4.58%. Metode *combined inversion* menghasilkan model resistivitas dengan range antara 3.59-240 Ohm.m. Pada model tersebut dapat diamati terdapat zona anomali resistivitas rendah pada kedalaman 17meter dibawah permukaan yang tertutupi batuan dengan resistivitas tinggi. Sedangkan pada gambar 4.16b merupakan hasil inversi konvensional. Persentase nilai *abs error* yang diperoleh sebesar 5.06% pada iterasi ke-11. Kemudian nilai resistivitas berada dalam range 5.03-245 Ohm.m. Model ini belum sempurna menggambarkan zona anomali resistivitas rendah pada kedalaman 17meter dibawah permukaan dibandingkan hasil metode *combined inversion*. Hal tersebut disebabkan adanya fungsi *smoothness* pada proses inversi. Berdasarkan perbandingan nilai *abs error*, metode *combined inversion* menghasilkan persentase kesalahan yang lebih kecil dan mampu menggambarkan batas yang tajam antar kontras resistivitas.

Kompleksitas struktur kawasan karst menyebabkan persebaran data menjadi tidak terdistribusi normal sehingga menyebabkan proses inversi tidak stabil. Adanya parameter *damping factor* dalam metode *combined inversion* dapat menyelesaikan permasalahan sehingga proses inversi menjadi stabil. Secara kuantitatif diperoleh untuk keempat lintasan metode *combined inversion* menghasilkan persentase kesalahan yang lebih kecil. Hal ini disebabkan metode *combined inversion* sensitif terhadap adanya *outliers* karena pada dasarnya metode ini identik dengan inversi non-linear teredam. Kombinasi antara metode gradien dan metode Gauss-Newton dapat meminimalisir terjadinya *overshoot* (solusi telah melampaui daerah linearnya) sehingga model yang diperoleh dapat mendekati solusi. Dalam hal ini, inversi menggunakan istilah redaman dapat meredam ketidakstabilan proses inversi (Grandis, 2009). Hal ini dikarenakan metode *combined inversion* melakukan pendekatan numerik (pendekatan linier) terhadap model sintetik dengan evaluasi model berupa misfit, faktor *smoothing*, partubrasi model, dan nilai *error*.

Secara kualitatif metode *combined inversion* lebih sensitif terhadap batas-batas tajam antar variasi zona resistivitas tinggi dan rendah sehingga baik dalam menggambarkan struktur karst. Sedangkan pada metode inversi konvensional adanya fungsi *smoothness* menyebabkan perbedaan nilai resistivitas struktur lapisan batuan bawah permukaan secara lebih halus. Dalam hal ini kondisi litologi kawasan karst dengan target anomali sungai bawah permukaan yang berasosiasi dengan nilai resistivitas yang rendah akan memiliki kontras yang tajam terhadap Batugamping disekitarnya. Fungsi *smoothing* dapat meminimalisir distorsi arus akibat kontras variasi nilai resistivitas yang tajam karena komponen matriks *smoothness* berasosiasi dengan selisih parameter model yang berdekatan secara horizontal dan vertikal.

4.3 Analisis Penampang Resistivitas 2D Berdasarkan Distribusi Nilai Resistivitas

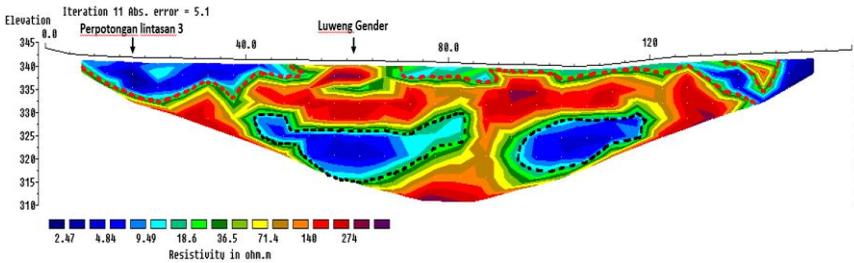
Berdasarkan William E. Kelly dan Stanislav Mares dalam Kuswanto, 2005, untuk interpretasi dan pemodelan di kawasan karst menjelaskan bahwa terdapat empat jenis tipe lapisan batuan berdasarkan nilai resistivitas, yaitu : (1) lapisan dekat permukaan seperti *top soil* ataupun dolina (nilai resistivitas puluhan Ohm.m), (2) Batugamping yang mengalami proses pelarutan (nilai resistivitas ratusan Ohm.m), (3) Batugamping yang terisi oleh air (nilai resistivitas puluhan hingga ratusan Ohm.m) dan (4) Batugamping pejal (nilai resistivitas ribuan Ohm.m). Interpretasi berdasarkan warna yang ditampilkan pada model penampang sebagai indikator nilai resistivitas yang beracu pada tabel resistivitas pada gambar 2.9. Analisis data ini dilakukan sesuai dengan informasi geologi dan data penelitian terdahulu pada kawasan karst. Melalui analisis rentang resistivitas dapat melokalisir dugaan sungai bawah permukaan pada kawasan karst. Penampang 2D resistivitas masing-masing dianalisis sebagai berikut:



Gambar 4.17 Penampang resistivitas 2D lintasan 1 yang berada didekat Luweng Kalijati dengan arah azimuth lintasan 271.82° SW

Gambar 4.17 merupakan penampang resistivitas hasil inversi pada lintasan 1. Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa kedalaman maksimal yang diperoleh adalah 31.3meter yang berada antara elevasi 345-375 mdpl. Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa lapisan yang dekat dengan permukaan diindikasikan sebagai *top soil* dengan nilai resistivitas 5-10 Ohm.m yang membentang dari posisi 10-110 meter dari pusat bentangan dengan ketebalan sekitar 10 meter. Kemudian muncul lapisan batuan dengan nilai resistivitas 150-282 Ohm.m pada posisi jarak 110-160meter yang diindikasikan sebagai Batugamping melapisi dibawah lapisan *top soil* mulai kedalaman 10 meter hingga 31 meter.

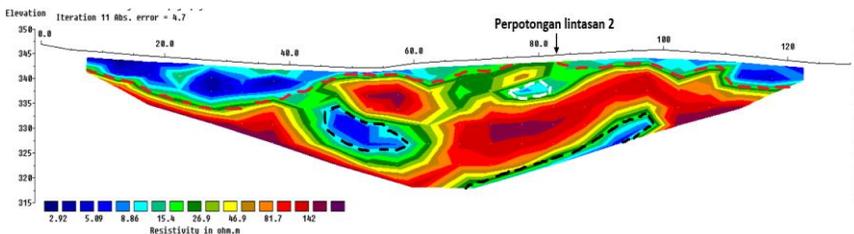
Hasil inversi pada lintasan 1 menunjukkan adanya indikasi anomali sungai bawah permukaan dengan nilai resistivitas 1.55-6 Ohm.m mulai kedalaman 5-15meter pada posisi jarak 135-150meter dari pusat bentangan (ditunjukkan garis putus-puts hitam). Hal ini didukung dengan keberadaan manifestasi Luweng Kalijati pada posisi jarak 145meter dari pusat bentangan. Selain itu ditemukan dua zona anomali pada posisi jarak 110-118meter mulai kedalaman 6-10meter dan pada posisi jarak 125-130meter mulai kedalaman 5-8meter (ditunjukkan garis putus-putus putih) yang diindikasikan sebagai *paleochannel*. *Paleochannel* atau saluran/sungai purba adalah aliran/saluran sisa sungai yang terbentuk dan menoreh batuan karbonat di sekitarnya pada masa lampau, lalu diisi endapan sedimen muda berupa tanah (Sadikin, Adang; Wawan, 2013). Hal tersebut dapat terjadi karena adanya proses pelarutan air yang menyebabkan terjadi proses karstifikasi sehingga air menggerus lapisan karbonat sekitarnya dan membentuk rongga atau celah.



Gambar 4.18 Penampang resistivitas 2D lintasan 2 yang berada didekat manifestasi Luweng Gender dengan arah azimuth lintasan 112.54° SE

Gambar 4.18 merupakan penampang resistivitas hasil inversi pada lintasan 2. Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa kedalaman maksimal yang diperoleh adalah 32.5meter yang berada antara elevasi 310-342.5 mdpl. Lapisan permukaan diindikasi sebagai lapisan *top soil* dengan nilai resistivitas 2.48-10 Ohm.m hingga kedalaman 10 meter pada jarak 0-50 meter lalu diikuti pada jarak 70-160 meter dari pusat bentangan. Kemudian pada jarak 50-70meter tersingkap lapisan batuan dengan nilai resistivitas 140-280 Ohm.m yang diindikasikan sebagai Batugamping yang melapisi dibawah lapisan *top soil* hingga kedalaman 32.5 meter. Pada jarak 135-145meter muncul di permukaan adanya batuan karbonat hingga kedalaman 11 meter.

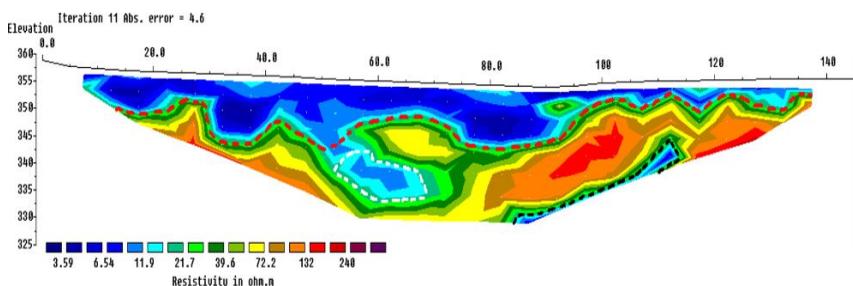
Hasil inversi lintasan 2 menunjukkan adanya indikasi dua anomali sungai bawah permukaan dengan nilai resistivitas 2.47-9 Ohm.m ditandai dengan garis putus-putus hitam. Anomali pertama berada pada jarak 40-80meter mulai kedalaman 15-30 meter. Hal tersebut didukung dengan manifestasi Luweng Gender di permukaan yang berada pada jarak 62meter dari pusat bentangan. Anomali resistivitas rendah diduga adanya air yang menginfiltrasi melalui Luweng Gender sehingga air terakumulasi dalam dasar goa/rongga. Lalu anomali kedua berada pada posisi jarak 93-120meter mulai kedalaman 18-30 meter dibawah permukaan.



Gambar 4.19 Penampang resistivitas 2D lintasan 3 yang berada didekat Luweng Gender dengan arah azimuth lintasan 327.87° NW

Gambar 4.19 merupakan penampang resistivitas hasil inversi pada lintasan 3. Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa kedalaman maksimal yang diperoleh adalah 30meter yang berada antara elevasi 315-345 mdpl. Lapisan permukaan diindikasi sebagai lapisan *top soil* dengan nilai resistivitas 2.92-10 Ohm.m hingga kedalaman 10 meter. Lalu lapisan dengan nilai resistivitas 47-150 Ohm.m diindikasi sebagai lapisan Batugamping melapisi dibawah lapisan *top soil* mulai kedalaman 5-30 meter. Lapisan Batugamping pada lintasan 3 cenderung memiliki nilai resistivitas lebih rendah dibanding lintasan 2 dikarenakan lapisan ini cenderung bersifat lebih *porous* menyebabkan terendapkan sedimen akibat proses pelarutan dalam lapisan tersebut.

Hasil inversi pada lintasan 3 menunjukkan adanya indikasi dua anomali resistivitas rendah sebagai dugaan sungai bawah permukaan (ditunjukkan garis putus-putus hitam) dengan nilai resistivitas 3-10 Ohm.m. Anomali pertama berada pada jarak 45-60meter dari pusat bentangan mulai kedalaman 10-20 meter. Lalu anomali kedua berada pada jarak 70-100meter mulai kedalaman 15-30meter dibawah permukaan. Kemudian pada lintasan 3 terdapat adanya indikasi *paleochannel* pada jarak 75-83meter mulai kedalaman 5-8meter yang ditunjukkan dengan garis putus-putus putih.



Gambar 4.20 Penampang resistivitas 2D lintasan 4 yang berada didekat manifestasi Luweng Marik 1, 2 dan 3 dengan arah azimuth 86.58° SE

Gambar 4.20 merupakan penampang resistivitas hasil inversi pada lintasan 4. Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa kedalaman maksimal yang diperoleh adalah 31meter yang berada antara elevasi 325-356 mdpl. Diindikasikan lapisan *top soil* melapisi permukaan dengan nilai resistivitas 3.59-11 Ohm.m hingga kedalaman 11 meter. Lalu diikuti lapisan dengan nilai resistivitas 40-250 Ohm.m yang diindikasi sebagai lapisan Batugamping mulai kedalaman 4-31meter dibawah permukaan.

Hasil inversi lintasan 4 menunjukkan adanya indikasi anomali sungai bawah permukaan yang ditunjukkan garis putus-putus hitam dengan nilai resistivitas 3-10 Ohm.m. Dugaan sungai bawah permukaan berada pada jarak 85-115meter dari pusat bentangan mulai kedalaman 16-31meter dibawah

permukaan. Selain itu, terdapat anomali yang menunjukkan adanya indikasi *paleochannel* pada jarak 52-70meter dari pusat bentangan mulai kedalaman 13-24meter yang ditunjukkan dengan garis putus-putus putih.

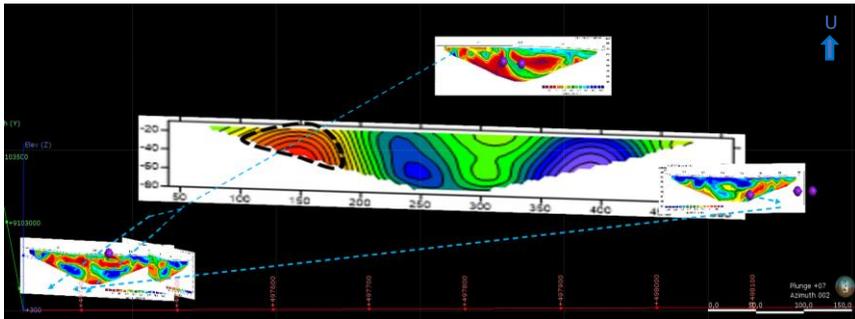
Dari hasil analisis tiap lintasan menunjukkan litologi batuan pada daerah pengukuran didominasi oleh *top soil* sebagai lapisan penutup di permukaan dan litologi Batugamping melapisi dibawahnya. Hal tersebut sesuai dengan data geologi pada daerah penelitian yang disebutkan oleh (H Samodra & Gafoer, 1992) bahwa penyusun Formasi Wonosari berupa Batugamping terumbu, Batugamping berlapis, Batugamping mengeping, Batugamping pasir, dan Napal. Keadaan kondisi pengukuran yang berada di daerah lahan persawahan yang terletak diantara perbukitan karst (dolina) mendukung analisis interpretasi tiap lintasan.

Hasil interpretasi menunjukkan keberadaan dugaan sungai bawah permukaan berada pada anomali resistivitas rendah antara 1.55-10 Ohm.m. Anomali ini membentuk rongga. Bentuk ini disebut konduit. Berdasarkan penelitian (Bahri et al., 2019) menyebutkan sistem perkembangan sungai bawah permukaan di sekitar daerah penelitian termasuk zona vadus, dimana terjadi karena pergerakan air secara vertikal melalui zona rekahan atau zona epikarst batuan atau lubang di permukaan seperti luweng. Rongga sebagai konduit tersebut dapat berupa saluran sungai bawah permukaan maupun hanya berupa kantung-kantung air. Diduga anomali yang membentuk konduit dapat berkembang membentuk saluran sungai bawah permukaan (Haryono & Adji, 2004).

Adanya indikasi *paleochannel* dapat menjadi penunjuk bahwa tingkat pelarutan akibat proses karstifikasi masih berlangsung. Hal tersebut dapat terjadi karena pada lokasi penelitian terdapat zona lemah yang membuat air mengalir masuk melalui celah-celah dan melarutkan lapisan batuan karbonat disekitarnya secara terus menerus dalam kurun waktu yang lama sehingga membentuk sungai bawah permukaan. Hal ini mendukung terkait teori pembentukan sungai bawah permukaan.

4.4 Korelasi Antar Lintasan

Berdasarkan interpretasi hasil inversi dapat diidentifikasi hubungan dugaan sungai bawah permukaan melalui menghubungkan anomali resistivitas rendah tiap lintasan. Dari analisis sebelumnya diduga pola aliran sungai bawah permukaan seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.21 Korelasi hasil penampang resistivitas 2D dan metode VLF-EM antar lintasan

Gambar 4.21 menunjukkan hubungan anomali resistivitas rendah antar lintasan metode geolistrik dan metode VLF. Dari gambar diatas ditunjukkan hubungan anomali resistivitas sebagai indikasi sungai bawah permukaan dari Luweng Kalijati dekat lintasan 1 hingga Luweng Gender dekat lintasan 2 dan 3 berarah NE-SW. Hal tersebut dikonfirmasi dengan hasil penampang Rapat Arus Ekuivalensi (RAE) penelitian (Luhri, 2020) menggunakan metode VLF-EM bahwa ditemukan anomali bersifat konduktif pada posisi jarak 100-200 meter mulai kedalaman 20 meter sebagai indikasi sungai bawah permukaan. Pada lintasan 4 diduga anomali resistivitas rendah mengalir menuju manifestasi Luweng Marik 1, 2, dan 3 lalu membentuk saluran sungai bawah permukaan yang terhubung menuju Luweng Gender berarah NE-SW. Indikasi asal aliran sungai bawah permukaan pada lintasan 4 tidak terkonfirmasi terhubung dari Luweng Kalijati karena pada hasil inversi VLF-EM tidak menunjukkan adanya anomali konduktif menuju lintasan 4.

Interpretasi penulis dalam mengindikasikan arah hubungan sungai bawah permukaan antar manifestasi luweng didukung dengan penelitian terdahulu yang berada di Desa Pringkuku bagian Selatan dari Desa Sekar. Hasil penelitian sebelumnya (Aliyan et al., 2018; Bahri et al., 2019) menyatakan bahwa adanya pola aliran sungai berarah NE-SW yang diduga masih terkontrol oleh sesar disekitar daerah penelitian. Indikasi arah aliran tersebut didukung dengan adanya perbedaan elevasi (tabel 3.1) dimana elevasi tertinggi berada di lintasan 1 dekat dengan Luweng Kalijati dan elevasi terendah di lintasan 2 dan 3 dekat dengan Luweng Gender yang dapat menunjukkan hubungan aliran sungai bawah permukaan antar manifestasi luweng. Selain itu, ilustrasi hubungan indikasi sungai bawah permukaan berdasarkan zona lemah atau dikenal dengan dolina sebagai jalur aliran (Doerfliger et al., 1999; Haryono & Adji, 2004).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan interpretasi data, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil *combined inversion* tiap lintasan menunjukkan bahwa lintasan 1 *damping factor* yang optimal adalah 0.25 dengan nilai *abs error* 8.67% dan perubahan persentase *error* sebesar 45.71%. Lintasan 2 *damping factor* yang optimal adalah 0.05 dengan nilai *abs error* 5.08% dan perubahan persentase *error* sebesar 71%. Lintasan 3 *damping factor* yang optimal adalah 0.05 dengan nilai *abs error* 5.08% dan perubahan persentase *error* sebesar 54.16%. Lintasan 4 *damping factor* yang optimal adalah 0.25 dengan nilai *abs error* 5.58% dan perubahan persentase *error* sebesar 56.3%.
2. Sungai bawah permukaan di Desa Sekar Kecamatan Donorojo, Pacitan teridentifikasi dengan nilai resistivitas antara 1.55-10 Ohm.m.
3. Teridentifikasi hubungan sungai permukaan yang berasal dari Luweng Kalijati menuju Luweng Gender dan Luweng Marik 1, 2 dan 3 menuju Luweng Gender berarah NE-SW.

5.2 Saran

Saran penulis yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Lintasan pengukuran yang lebih panjang untuk mendapatkan penetrasi lebih dalam.
2. Lokasi lintasan pengukuran berada di dolina sehingga besar kemungkinannya ditemukan sungai bawah permukaan.
3. Perlunya metode analisis isotop untuk mengetahui kemenerusan aliran sungai bawah permukaan antar luweng.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El Aal, A. (2017). Identification and characterization of near surface cavities in Tuwaiq Mountain Limestone, Riyadh, KSA, “detection and treatment.” *Egyptian Journal of Petroleum*, 26(1), 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.04.004>
- Akman, A., & Silvia, D. (2015). *Physics Optimization of Least Squares Methods Smooth Constraint Using Occam's Inversion Geoelectric Resistivity Dipole-Dipole Configuration for Estimation Slip Surface Copyright FMIPA UNP © 2015*. 154–161.
- Aliyan, S. A., Bahri, A. S., & Widodo, A. (2018). *Identifikasi Kontrol Struktur Geologi Terhadap Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan di Kawasan Karst Pringkuku, Pacitan*.
- Amrin, I. (2018). *Identifikasi Kemenerusan Sistem Sungai Bawah Tanah Daerah Karst Menggunakan Metode Very Low Frequency (VLF) di Kuniran, Pacitan*.
- Arsyad, A. Q. (2017). *Identifikasi Persebaran Air Lindi Di Tpa Ngipik Kabupaten Gresik Dengan Menggunakan Metode Resistivitas 2d Konfigurasi Wenner-Schlumberger*. 114. <http://repository.its.ac.id/42009/>
- Bahri, A. S., Hardyani, P. V., Utama, W., Hilyah, A., Purwanto, M. S., & Fajar, M. H. M. (2019). Controlling factors of underground river system of karst region in Pacitan Regency, East Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 311(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/311/1/012033>
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? -Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Cui, M., Zhao, Y., Xu, B., & Gao, X. wei. (2017). A new approach for determining damping factors in Levenberg-Marquardt algorithm for solving an inverse heat conduction problem. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 107, 747–754. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.11.101>
- Degroot-Hedlin, C., & Constable, S. (1990). Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55(12), 1613–1624. <https://doi.org/10.1190/1.1442813>
- Doerfliger, N., Jeannin, P. Y., & Zwahlen, F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: A new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39(2), 165–176. <https://doi.org/10.1007/s002540050446>
- Fauzi, I., & Imp, N. I. M. (2012). *Geomorfologi Karst*. 1–4.
- Ford, D., & Williams, P. (2013). Karst Hydrogeology and Geomorphology. *Karst*

- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika* (Issue 80).
- Hamdan, H., & Vafidis, A. (2009). Inversion techniques to improve the resistivity images over karstic structures. *Near Surface 2009 - 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, September 2009*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20147076>
- Handayani, A. (2009). *Analisis Potensi Sungai Bawah Tanah di Gua Seropan dan Gua Semuluh Untuk Pendataan Sumberdaya Air Kawasan Karst di Kecamatan Semanu Kabupaten Gunung Kidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 20017*.
- Hardyani, P. V. (2018). *Identifikasi Perkembangan Sistem Sungai Bawah Permukaan Kawasan Karst Dersono Pacitan Menggunakan Metode VES (Vertical Electrical Sounding)*.
- Haryono, E., & Adji, T. N. (2004). *Bahan Ajar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*.
- Karunia, D. N. (2012). *Identifikasi Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan Di Daerah Muda, Gebangharo, Pracimantoro Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger*. Universitas Sebelas Maret.
- Kuswanto. (2005). Aplikasi Metoda Res-2D Untuk Eksplorasi Air Bawah Tanah. *Pusat Pengkajian Dan Penerapan Teknologi Pengembangan Sumberdaya Mineral – BPPT, 1(2)*, 226–234.
- Loke, M. H. (2015). *Tutorial: 2D and 3D electrical imaging surveys. February*. <http://www.geotomosoft.com/coursenotes.zip>
- Naufaldi, F., Hilyah, A., B, A. S., Geofisika, D. T., Teknik, F., Lingkungan, S., & Sepuluh, I. T. (2017). *Identifikasi sungai bawah permukaan menggunakan metode resistivitas 2d di kawasan karst pacitan*. 1–4.
- Nurfitriana, I. (2018). *Identifikasi Sungai Bawah Permukaan Dengan Metode Resistivitas 2D Konfigurasi Wenner Schlumberger Kawasan Karst Desa Dersono, Pacitan* (Vol. 10, Issue 2).
- Reynolds, J. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*.
- Sadikin, Adang; Wawan, H. (2013). Sub Surface River Flow Mapping By Electrical Resistivity in Gunungkidul Area (Pemetaan Alur Sungai Bawah Permukaan Sub Surface River Flow Mapping By Electrical Resistivity in. *Jurnal Sumber Daya Air*, 9(March 2013), 13–24.
- Samodra, H., & Gafoer, S. (1992). *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa*.
- Samodra, Hanang. (2003). *Nilai strategis kawasan kars di indonesia dan usaha pengelolaannya secara berkelanjutan (*)*. 1–170.
- Surono, B. T. (1992). *Peta Geologi Lembar Surakarta-Girontoro*.
- Telford. (1990). Applied geophysics (second edition). In *Cambridge University Press* (Vol. 69, Issues 1–2). [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(91\)90163-C](https://doi.org/10.1016/0031-9201(91)90163-C)

- Tsourlos, P. I., Szymanski, J. E., & Tsokas, G. N. (1998). A smoothness constrained algorithm for the fast 2-D inversion of DC resistivity and induced polarization data. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 1(1), 3–13.
- Van Bemmelen, R. W. (1949). The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. In *Government Printing Office, The Hague* (pp. 545–547; 561–562).
<https://doi.org/10.1109/VR.2018.8447558>
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79–82.
<https://doi.org/10.3354/cr030079>
- Yuspancana, B. D., Purwanto, M. S., Bahri, A. S., & Utama, W. (2019). Integrasi Data Resistivitas 2D Dengan Parameter Fisis Dan Mekanis Tanah Untuk Evaluasi Daya Dukung Tanah (Studi Kasus : Ruas Jalan Kawasan Jiipe, Manyar, Gresik). *Jurnal Geosaintek*, 5(2), 84.
<https://doi.org/10.12962/j25023659.v5i2.5403>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

1. Kondisi lintasan 1 di daerah Luweng Kalijati



2. Kondisi lintasan 2 di daerah Luweng Gender



3. Kondisi lintasan 3 di daerah Luweng Gender



4. Kondisi lintasan 4 di daerah Luweng Marik



5. Hasil *running combined inversion* lintasan 1

```
1. GEOWIN - Display Settings Window - C:\Users\NUGOLAHM21\Documents\GEOWIN21\april penggabahan lint 1\Mainline 101.wc 5.0 8.19 DF.DRW
File | Display options | Change display settings | Edit data | Print | Exit
Plotting speed recent file: C:\Users\NUGOLAHM21\Documents\GEOWIN21\april penggabahan lint 1\Mainline 101.wc 5.0 8.19 DF.DRW

LINE 0.0
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner Schlumberger array
Total number of data points is 234.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 40.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorting data points.
Number of data levels is 15.
Number of electrodes is 33.
Flattening inversion results.
The model has 9 layers and 188 blocks.
Iteration 1 | Abs. error | 15.38.
Iteration 2 | Abs. error | 12.38.
Iteration 3 | Abs. error | 9.83.
Iteration 4 | Abs. error | 9.26.
Iteration 5 | Abs. error | 8.86.
Iteration 6 | Abs. error | 8.86.
Iteration 7 | Abs. error | 8.82.
Iteration 8 | Abs. error | 8.77.
Iteration 9 | Abs. error | 8.74.
Iteration 10 | Abs. error | 8.72.
Iteration 11 | Abs. error | 8.70.
Iteration 12 | Abs. error | 8.68.
Iteration 13 | Abs. error | 8.68.
Iteration 14 | Abs. error | 8.67.
Iteration 15 | Abs. error | 8.66.
Iteration 16 | Abs. error | 8.65.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.746.
Inversion consistency information present.
Heating of the file has been completed.
```

Gambar 1 hasil *running* dengan *damping factor* 0.05

```
1. GEOWIN - Display Settings Window - C:\Users\NUGOLAHM21\Documents\GEOWIN21\april penggabahan lint 1\Mainline 101.wc 5.0 8.19 DF.DRW
File | Display options | Change display settings | Edit data | Print | Exit
Plotting speed recent file: C:\Users\NUGOLAHM21\Documents\GEOWIN21\april penggabahan lint 1\Mainline 101.wc 5.0 8.19 DF.DRW

LINE 0.0
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner Schlumberger array
Total number of data points is 234.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 40.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorting data points.
Number of data levels is 15.
Number of electrodes is 33.
Flattening inversion results.
The model has 9 layers and 188 blocks.
Iteration 1 | Abs. error | 15.21.
Iteration 2 | Abs. error | 12.66.
Iteration 3 | Abs. error | 10.47.
Iteration 4 | Abs. error | 9.41.
Iteration 5 | Abs. error | 9.18.
Iteration 6 | Abs. error | 8.95.
Iteration 7 | Abs. error | 8.95.
Iteration 8 | Abs. error | 8.78.
Iteration 9 | Abs. error | 8.74.
Iteration 10 | Abs. error | 8.72.
Iteration 11 | Abs. error | 8.70.
Iteration 12 | Abs. error | 8.68.
Iteration 13 | Abs. error | 8.67.
Iteration 14 | Abs. error | 8.66.
Iteration 15 | Abs. error | 8.65.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.746.
Inversion consistency information present.
Heating of the file has been completed.
```

Gambar 2 hasil *running* dengan *damping factor* 0.10

```
1. GEOWIN - Display Settings Window - C:\Users\NUGOLAHM21\Documents\GEOWIN21\april penggabahan lint 1\Mainline 101.wc 5.0 8.19 DF.DRW
File | Display options | Change display settings | Edit data | Print | Exit
Plotting speed recent file: C:\Users\NUGOLAHM21\Documents\GEOWIN21\april penggabahan lint 1\Mainline 101.wc 5.0 8.19 DF.DRW

LINE 0.0
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner Schlumberger array
Total number of data points is 234.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 40.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorting data points.
Number of data levels is 15.
Number of electrodes is 33.
Flattening inversion results.
The model has 9 layers and 188 blocks.
Iteration 1 | Abs. error | 15.64.
Iteration 2 | Abs. error | 11.97.
Iteration 3 | Abs. error | 10.64.
Iteration 4 | Abs. error | 9.47.
Iteration 5 | Abs. error | 9.26.
Iteration 6 | Abs. error | 9.26.
Iteration 7 | Abs. error | 9.03.
Iteration 8 | Abs. error | 8.92.
Iteration 9 | Abs. error | 8.75.
Iteration 10 | Abs. error | 8.72.
Iteration 11 | Abs. error | 8.69.
Iteration 12 | Abs. error | 8.68.
Iteration 13 | Abs. error | 8.66.
Iteration 14 | Abs. error | 8.65.
Iteration 15 | Abs. error | 8.64.
Iteration 16 | Abs. error | 8.63.
Iteration 17 | Abs. error | 8.62.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.746.
Inversion consistency information present.
Heating of the file has been completed.
```

Gambar 3 hasil *running* dengan *damping factor* 0.15

6. Hasil *running combined inversion* lintasan 2

```
RES2DINV - Display Sections Window - GISEMESTER B.TA'DRIFT TA KEPN/PENGOLAHAN13 april pengalahan line 2Uline 2 CI wa SC 0.05 DF INV
File Display sections Change display settings Edit data Print Exit

Reading most recent file GISEMESTER B.TA'DRIFT TA KEPN/PENGOLAHAN13 april pengalahan line 2Uline 2 CI wa SC 0.05 DF INV

LINE C-D
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner Schlumberger array.
Total number of data points is 230.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 140.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Starting data points.
Number of data levels is 15.
Number of electrodes is 33.
Reading inversion results.
The model has 9 layers and 180 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 17.52.
Iteration 2 : Abs. error 15.68.
Iteration 3 : Abs. error 6.32.
Iteration 4 : Abs. error 5.71.
Iteration 5 : Abs. error 5.67.
Iteration 6 : Abs. error 5.23.
Iteration 7 : Abs. error 5.25.
Iteration 8 : Abs. error 5.28.
Iteration 9 : Abs. error 5.15.
Iteration 10 : Abs. error 5.12.
Iteration 11 : Abs. error 5.08.
Iteration 12 : Abs. error 5.05.
Iteration 13 : Abs. error 5.02.
Iteration 14 : Abs. error 5.00.

Topographical data present in inversion file.
Damage topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 3.017.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```

Gambar 9 hasil *running* dengan *damping factor* 0.05

```
RES2DINV - Display Sections Window - GISEMESTER B.TA'DRIFT TA KEPN/PENGOLAHAN13 april pengalahan line 2Uline 2 CI wa SC 0.1 DF INV
File Display sections Change display settings Edit data Print Exit

Reading most recent file GISEMESTER B.TA'DRIFT TA KEPN/PENGOLAHAN13 april pengalahan line 2Uline 2 CI wa SC 0.1 DF INV

LINE C-D
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner Schlumberger array.
Total number of data points is 230.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 140.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Starting data points.
Number of data levels is 15.
Number of electrodes is 33.
Reading inversion results.
The model has 9 layers and 180 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 17.04.
Iteration 2 : Abs. error 9.23.
Iteration 3 : Abs. error 6.67.
Iteration 4 : Abs. error 5.82.
Iteration 5 : Abs. error 5.68.
Iteration 6 : Abs. error 5.58.
Iteration 7 : Abs. error 5.38.
Iteration 8 : Abs. error 5.25.
Iteration 9 : Abs. error 5.15.
Iteration 10 : Abs. error 5.11.
Iteration 11 : Abs. error 5.08.
Iteration 12 : Abs. error 5.05.
Iteration 13 : Abs. error 5.02.
Iteration 14 : Abs. error 5.00.
Iteration 15 : Abs. error 5.00.

Topographical data present in inversion file.
Damage topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 3.018.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```

Gambar 10 hasil *running* dengan *damping factor* 0.1

```
RES2DINV - Display Sections Window - GISEMESTER B.TA'DRIFT TA KEPN/PENGOLAHAN13 april pengalahan line 2Uline 2 CI wa SC 0.15 DF INV
File Display sections Change display settings Edit data Print Exit

Reading most recent file GISEMESTER B.TA'DRIFT TA KEPN/PENGOLAHAN13 april pengalahan line 2Uline 2 CI wa SC 0.15 DF INV

LINE C-D
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner Schlumberger array.
Total number of data points is 230.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 140.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Starting data points.
Number of data levels is 15.
Number of electrodes is 33.
Reading inversion results.
The model has 9 layers and 180 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 16.87.
Iteration 2 : Abs. error 8.78.
Iteration 3 : Abs. error 6.67.
Iteration 4 : Abs. error 5.81.
Iteration 5 : Abs. error 5.68.
Iteration 6 : Abs. error 5.66.
Iteration 7 : Abs. error 5.46.
Iteration 8 : Abs. error 5.38.
Iteration 9 : Abs. error 5.28.
Iteration 10 : Abs. error 5.18.
Iteration 11 : Abs. error 5.14.
Iteration 12 : Abs. error 5.10.
Iteration 13 : Abs. error 5.07.
Iteration 14 : Abs. error 5.04.
Iteration 15 : Abs. error 5.01.
Iteration 16 : Abs. error 4.99.

Topographical data present in inversion file.
Damage topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 3.018.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```

Gambar 11 hasil *running* dengan *damping factor* 0.15

```
RES201V - Display Sections Window - G:\SEMESTER B\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN15 april pengalahan line 2\Line 2 CI wa SC 0.2 DF.INV
File Display sections Change display settings Edit data Print Exit

Heading most recent file G:\SEMESTER B\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN15 april pengalahan line 2\Line 2 CI wa SC 0.2 DF.INV

LINE C/D
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wessner-Schlumberger array
Total number of data points is 236.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 145.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Starting data points.
Number of data levels is 15.
Number of electrodes is 33.
Heading inversion results.
The model has 9 layers and 180 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 18.85.
Iteration 2 : Abs. error 8.58.
Iteration 3 : Abs. error 4.88.
Iteration 4 : Abs. error 5.38.
Iteration 5 : Abs. error 5.71.
Iteration 6 : Abs. error 5.65.
Iteration 7 : Abs. error 5.51.
Iteration 8 : Abs. error 5.42.
Iteration 9 : Abs. error 5.34.
Iteration 10 : Abs. error 5.25.
Iteration 11 : Abs. error 5.16.
Iteration 12 : Abs. error 5.12.
Iteration 13 : Abs. error 5.05.
Iteration 14 : Abs. error 5.05.
Iteration 15 : Abs. error 5.03.
Iteration 16 : Abs. error 5.00.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 3.813.
Inversion constraints information present.
Heading of file has been completed.
```



Gambar 12 hasil *running* dengan *damping factor* 0.2

```
RES201V - Display Sections Window - G:\SEMESTER B\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN15 april pengalahan line 2\Line 2 CI wa SC 0.25 DF.INV
File Display sections Change display settings Edit data Print Exit

Heading most recent file G:\SEMESTER B\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN15 april pengalahan line 2\Line 2 CI wa SC 0.25 DF.INV

LINE C/D
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wessner-Schlumberger array
Total number of data points is 236.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 145.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Starting data points.
Number of data levels is 15.
Number of electrodes is 33.
Heading inversion results.
The model has 9 layers and 180 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 16.71.
Iteration 2 : Abs. error 8.30.
Iteration 3 : Abs. error 5.74.
Iteration 4 : Abs. error 6.08.
Iteration 5 : Abs. error 5.75.
Iteration 6 : Abs. error 5.62.
Iteration 7 : Abs. error 5.53.
Iteration 8 : Abs. error 5.45.
Iteration 9 : Abs. error 5.37.
Iteration 10 : Abs. error 5.30.
Iteration 11 : Abs. error 5.17.
Iteration 12 : Abs. error 5.13.
Iteration 13 : Abs. error 5.10.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 3.822.
Inversion constraints information present.
Heading of file has been completed.
```



Gambar 13 hasil *running* dengan *damping factor* 0.25

```
RES201V - Display Sections Window - G:\SEMESTER B\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN15 april pengalahan line 2\Line 2 CI wa SC 0.50 DF.INV
File Display sections Change display settings Edit data Print Exit

Heading most recent file G:\SEMESTER B\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN15 april pengalahan line 2\Line 2 CI wa SC 0.50 DF.INV

LINE C/D
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wessner-Schlumberger array
Total number of data points is 236.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 145.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Starting data points.
Number of data levels is 15.
Number of electrodes is 33.
Heading inversion results.
The model has 9 layers and 180 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 16.67.
Iteration 2 : Abs. error 8.56.
Iteration 3 : Abs. error 7.62.
Iteration 4 : Abs. error 6.31.
Iteration 5 : Abs. error 5.91.
Iteration 6 : Abs. error 5.78.
Iteration 7 : Abs. error 5.68.
Iteration 8 : Abs. error 5.53.
Iteration 9 : Abs. error 5.46.
Iteration 10 : Abs. error 5.38.
Iteration 11 : Abs. error 5.31.
Iteration 12 : Abs. error 5.24.
Iteration 13 : Abs. error 5.14.
Iteration 14 : Abs. error 5.10.
Iteration 15 : Abs. error 5.07.

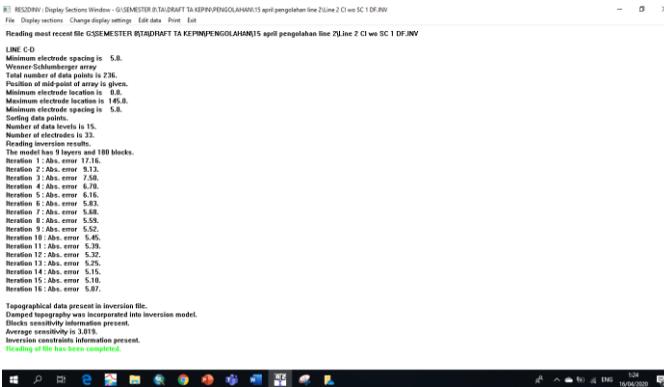
Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 3.820.
Inversion constraints information present.
Heading of file has been completed.
```



Gambar 14 hasil *running* dengan *damping factor* 0.5



Gambar 15 hasil *running* dengan *damping factor* 0.8



Gambar 16 hasil *running* dengan *damping factor* 1



Gambar 17 hasil *running* dengan *damping factor* 1.5

7. Hasil *running* combined inversion lintasan 3

```
RESQWIN: Display Section: Window - GISEMESTER B (TAJDIRAFT TA KEPINPENGOLAHAN)14 april pengolahanLine 7(C) wa SC 0.05 DF INV
File | Display section | Change display settings | Edit data | Print | Exit
Reading most recent file GISEMESTER B (TAJDIRAFT TA KEPINPENGOLAHAN)14 april pengolahanLine 7(C) wa SC 0.05 DF INV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array
Total number of data points is 154.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 115.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorting data points.
Number of data levels is 12.
Number of electrodes is 27.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 128 blocks.
Iteration 1: Abs. error 10.34.
Iteration 2: Abs. error 6.55.
Iteration 3: Abs. error 5.26.
Iteration 4: Abs. error 5.02.
Iteration 5: Abs. error 4.92.
Iteration 6: Abs. error 4.86.
Iteration 7: Abs. error 4.83.
Iteration 8: Abs. error 4.80.
Iteration 9: Abs. error 4.78.
Iteration 10: Abs. error 4.76.
Iteration 11: Abs. error 4.74.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.518.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```

Gambar 18 hasil *running* dengan *damping factor* 0.05

```
RESQWIN: Display Section: Window - GISEMESTER B (TAJDIRAFT TA KEPINPENGOLAHAN)14 april pengolahanLine 7(C) wa SC 0.1 DF INV
File | Display section | Change display settings | Edit data | Print | Exit
Reading most recent file GISEMESTER B (TAJDIRAFT TA KEPINPENGOLAHAN)14 april pengolahanLine 7(C) wa SC 0.1 DF INV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array
Total number of data points is 154.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 115.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorting data points.
Number of data levels is 12.
Number of electrodes is 27.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 128 blocks.
Iteration 1: Abs. error 10.14.
Iteration 2: Abs. error 6.62.
Iteration 3: Abs. error 5.32.
Iteration 4: Abs. error 5.03.
Iteration 5: Abs. error 4.96.
Iteration 6: Abs. error 4.88.
Iteration 7: Abs. error 4.84.
Iteration 8: Abs. error 4.81.
Iteration 9: Abs. error 4.78.
Iteration 10: Abs. error 4.76.
Iteration 11: Abs. error 4.74.
Iteration 12: Abs. error 4.73.
Iteration 13: Abs. error 4.71.
Iteration 14: Abs. error 4.70.
Iteration 15: Abs. error 4.69.
Iteration 16: Abs. error 4.67.
Iteration 17: Abs. error 4.66.
Iteration 18: Abs. error 4.66.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.514.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```

Gambar 19 hasil *running* dengan *damping factor* 0.1

```
RESQWIN: Display Section: Window - GISEMESTER B (TAJDIRAFT TA KEPINPENGOLAHAN)14 april pengolahanLine 7(C) wa SC 0.15 DF INV
File | Display section | Change display settings | Edit data | Print | Exit
Reading most recent file GISEMESTER B (TAJDIRAFT TA KEPINPENGOLAHAN)14 april pengolahanLine 7(C) wa SC 0.15 DF INV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array
Total number of data points is 154.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 115.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorting data points.
Number of data levels is 12.
Number of electrodes is 27.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 128 blocks.
Iteration 1: Abs. error 10.25.
Iteration 2: Abs. error 6.74.
Iteration 3: Abs. error 5.37.
Iteration 4: Abs. error 5.06.
Iteration 5: Abs. error 4.97.
Iteration 6: Abs. error 4.91.
Iteration 7: Abs. error 4.86.
Iteration 8: Abs. error 4.82.
Iteration 9: Abs. error 4.79.
Iteration 10: Abs. error 4.76.
Iteration 11: Abs. error 4.75.
Iteration 12: Abs. error 4.73.
Iteration 13: Abs. error 4.71.
Iteration 14: Abs. error 4.70.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.513.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```

Gambar 20 hasil *running* dengan *damping factor* 0.15

```

RES2091 - Display Sections Window - G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\14 april pengolah\Line 3\CI we SC 0.2 DF.INV
File Display sections Change display settings Edit data Print Exit
Heading most recent file G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\14 april pengolah\Line 3\CI we SC 0.2 DF.INV

LINE E-F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wiener Schlumberger array.
Total number of data points is 154.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 115.0.
Maximum electrode location is 0.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorted data points.
Number of data levels is 12.
Number of electrodes is 27.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 128 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 10.30.
Iteration 2 : Abs. error 6.83.
Iteration 3 : Abs. error 5.42.
Iteration 4 : Abs. error 5.09.
Iteration 5 : Abs. error 4.90.
Iteration 6 : Abs. error 4.93.
Iteration 7 : Abs. error 4.85.
Iteration 8 : Abs. error 4.82.
Iteration 9 : Abs. error 4.79.
Iteration 10 : Abs. error 4.77.
Iteration 11 : Abs. error 4.75.
Iteration 12 : Abs. error 4.73.
Iteration 13 : Abs. error 4.71.
Iteration 14 : Abs. error 4.70.
Iteration 15 : Abs. error 4.69.
Iteration 16 : Abs. error 4.69.
Iteration 17 : Abs. error 4.67.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensibility information present.
Average sensibility is 2.517.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.

```

Gambar 21 hasil *running* dengan *damping factor* 0.2

```

RES2091 - Display Sections Window - G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\14 april pengolah\Line 3\CI we SC 0.25 DF.INV
File Display sections Change display settings Edit data Print Exit
Heading most recent file G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\14 april pengolah\Line 3\CI we SC 0.25 DF.INV

LINE E-F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wiener Schlumberger array.
Total number of data points is 154.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 115.0.
Maximum electrode location is 0.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorted data points.
Number of data levels is 12.
Number of electrodes is 27.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 128 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 10.06.
Iteration 2 : Abs. error 6.90.
Iteration 3 : Abs. error 5.47.
Iteration 4 : Abs. error 5.13.
Iteration 5 : Abs. error 4.95.
Iteration 6 : Abs. error 4.95.
Iteration 7 : Abs. error 4.86.
Iteration 8 : Abs. error 4.82.
Iteration 9 : Abs. error 4.80.
Iteration 10 : Abs. error 4.77.
Iteration 11 : Abs. error 4.75.
Iteration 12 : Abs. error 4.73.
Iteration 13 : Abs. error 4.72.
Iteration 14 : Abs. error 4.70.
Iteration 15 : Abs. error 4.69.
Iteration 16 : Abs. error 4.68.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensibility information present.
Average sensibility is 2.518.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.

```

Gambar 22 hasil *running* dengan *damping factor* 0.25

```

RES2091 - Display Sections Window - G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\14 april pengolah\Line 3\CI we SC 0.5 DF.INV
File Display sections Change display settings Edit data Print Exit
Heading most recent file G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\14 april pengolah\Line 3\CI we SC 0.5 DF.INV

LINE E-F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wiener Schlumberger array.
Total number of data points is 154.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 115.0.
Maximum electrode location is 0.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorted data points.
Number of data levels is 12.
Number of electrodes is 27.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 128 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 10.30.
Iteration 2 : Abs. error 7.20.
Iteration 3 : Abs. error 5.88.
Iteration 4 : Abs. error 5.28.
Iteration 5 : Abs. error 5.07.
Iteration 6 : Abs. error 4.98.
Iteration 7 : Abs. error 4.92.
Iteration 8 : Abs. error 4.85.
Iteration 9 : Abs. error 4.82.
Iteration 10 : Abs. error 4.79.
Iteration 11 : Abs. error 4.76.
Iteration 12 : Abs. error 4.74.
Iteration 13 : Abs. error 4.73.
Iteration 14 : Abs. error 4.71.
Iteration 15 : Abs. error 4.70.
Iteration 16 : Abs. error 4.69.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensibility information present.
Average sensibility is 2.528.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.

```

Gambar 23 hasil *running* dengan *damping factor* 0.5

```
RES2091 | Display Sections Window - G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPENGENGOLAHAN\14 april pengelaha\Line 3(C) wa SC 0.8 DF.MV
File | Display sections | Change display settings | Edit data | Print | Exit
Reading most recent file G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPENGENGOLAHAN\14 april pengelaha\Line 3(C) wa SC 0.8 DF.MV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.8.
Wenner-Schlumberger array.
Total number of data points is 154.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.8.
Maximum electrode location is 115.8.
Minimum electrode spacing is 5.8.
Sorting data points.
Number of data levels is 12.
Number of electrodes is 27.
Reading inversion results.
This model has 8 layers and 120 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 11.37.
Iteration 2 : Abs. error 7.40.
Iteration 3 : Abs. error 6.89.
Iteration 4 : Abs. error 5.39.
Iteration 5 : Abs. error 5.15.
Iteration 6 : Abs. error 5.00.
Iteration 7 : Abs. error 4.86.
Iteration 8 : Abs. error 4.80.
Iteration 9 : Abs. error 4.83.
Iteration 10 : Abs. error 4.80.
Iteration 11 : Abs. error 4.78.
Iteration 12 : Abs. error 4.75.
Iteration 13 : Abs. error 4.74.
Iteration 14 : Abs. error 4.72.
Iteration 15 : Abs. error 4.70.
Iteration 16 : Abs. error 4.69.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensibility information present.
Average sensibility is 2.521.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```

Gambar 24 hasil *running* dengan *damping factor* 0.8

```
RES2091 | Display Sections Window - G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPENGENGOLAHAN\14 april pengelaha\Line 3(C) wa SC 1 DF.MV
File | Display sections | Change display settings | Edit data | Print | Exit
Reading most recent file G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPENGENGOLAHAN\14 april pengelaha\Line 3(C) wa SC 1 DF.MV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.8.
Wenner-Schlumberger array.
Total number of data points is 154.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.8.
Maximum electrode location is 115.8.
Minimum electrode spacing is 5.8.
Sorting data points.
Number of data levels is 12.
Number of electrodes is 27.
Reading inversion results.
This model has 8 layers and 120 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 11.03.
Iteration 2 : Abs. error 7.52.
Iteration 3 : Abs. error 5.90.
Iteration 4 : Abs. error 5.46.
Iteration 5 : Abs. error 5.20.
Iteration 6 : Abs. error 5.03.
Iteration 7 : Abs. error 4.97.
Iteration 8 : Abs. error 4.90.
Iteration 9 : Abs. error 4.84.
Iteration 10 : Abs. error 4.81.
Iteration 11 : Abs. error 4.78.
Iteration 12 : Abs. error 4.76.
Iteration 13 : Abs. error 4.74.
Iteration 14 : Abs. error 4.72.
Iteration 15 : Abs. error 4.71.
Iteration 16 : Abs. error 4.69.
Iteration 17 : Abs. error 4.68.
Iteration 18 : Abs. error 4.67.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensibility information present.
Average sensibility is 2.521.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```

Gambar 25 hasil *running* dengan *damping factor* 1

```
RES2091 | Display Sections Window - G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPENGENGOLAHAN\14 april pengelaha\Line 3(C) wa SC 1.5 DF.MV
File | Display sections | Change display settings | Edit data | Print | Exit
Reading the G:\SEMESTER 8\TAJDRAFT TA KEPENGENGOLAHAN\14 april pengelaha\Line 3(C) wa SC 1.5 DF.MV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.8.
Wenner-Schlumberger array.
Total number of data points is 154.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.8.
Maximum electrode location is 115.8.
Minimum electrode spacing is 5.8.
Sorting data points.
Number of data levels is 12.
Number of electrodes is 27.
Reading inversion results.
This model has 8 layers and 120 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 12.46.
Iteration 2 : Abs. error 7.88.
Iteration 3 : Abs. error 6.21.
Iteration 4 : Abs. error 5.64.
Iteration 5 : Abs. error 5.29.
Iteration 6 : Abs. error 5.09.
Iteration 7 : Abs. error 4.98.
Iteration 8 : Abs. error 4.93.
Iteration 9 : Abs. error 4.89.
Iteration 10 : Abs. error 4.82.
Iteration 11 : Abs. error 4.79.
Iteration 12 : Abs. error 4.77.
Iteration 13 : Abs. error 4.76.
Iteration 14 : Abs. error 4.73.
Iteration 15 : Abs. error 4.71.
Iteration 16 : Abs. error 4.70.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensibility information present.
Average sensibility is 2.521.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```

Gambar 26 hasil *running* dengan *damping factor* 1.5

8. Hasil *running combined inversion* lintasan 4

```
RES2DINV - Display Sections Windows - GISEMESTER BTA/DRAFFT TA KEPN/PENGOLAHAN16 April pengalihan lint 4@line 4 CI vs SC 0.05 DF INV
File: Display sections - Change display settings - Edit data - Print - Exit
Reading most recent file GISEMESTER BTA/DRAFFT TA KEPN/PENGOLAHAN16 April pengalihan lint 4@line 4 CI vs SC 0.05 DF INV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array
Total number of data points is 196.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 130.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Setting data points.
Number of data levels is 14.
Number of electrodes is 30.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 154 blocks.
Iteration 1 - Abs. error 10.36.
Iteration 2 - Abs. error 6.78.
Iteration 3 - Abs. error 5.67.
Iteration 4 - Abs. error 5.23.
Iteration 5 - Abs. error 5.07.
Iteration 6 - Abs. error 4.89.
Iteration 7 - Abs. error 4.82.
Iteration 8 - Abs. error 4.75.
Iteration 9 - Abs. error 4.70.
Iteration 10 - Abs. error 4.67.
Iteration 11 - Abs. error 4.64.
Iteration 12 - Abs. error 4.62.
Iteration 13 - Abs. error 4.58.
Iteration 14 - Abs. error 4.58.
Iteration 15 - Abs. error 4.57.
Iteration 16 - Abs. error 4.55.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.778.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```



Gambar 26 hasil *running* dengan *damping factor* 0.05

```
RES2DINV - Display Sections Windows - GISEMESTER BTA/DRAFFT TA KEPN/PENGOLAHAN16 April pengalihan lint 4@line 4 CI vs SC 0.1 DF INV
File: Display sections - Change display settings - Edit data - Print - Exit
Reading most recent file GISEMESTER BTA/DRAFFT TA KEPN/PENGOLAHAN16 April pengalihan lint 4@line 4 CI vs SC 0.1 DF INV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array
Total number of data points is 196.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 130.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Setting data points.
Number of data levels is 14.
Number of electrodes is 30.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 154 blocks.
Iteration 1 - Abs. error 10.84.
Iteration 2 - Abs. error 6.64.
Iteration 3 - Abs. error 5.68.
Iteration 4 - Abs. error 5.22.
Iteration 5 - Abs. error 5.05.
Iteration 6 - Abs. error 4.87.
Iteration 7 - Abs. error 4.80.
Iteration 8 - Abs. error 4.71.
Iteration 9 - Abs. error 4.65.
Iteration 10 - Abs. error 4.63.
Iteration 11 - Abs. error 4.60.
Iteration 12 - Abs. error 4.58.
Iteration 13 - Abs. error 4.56.
Iteration 14 - Abs. error 4.55.
Iteration 15 - Abs. error 4.53.
Iteration 16 - Abs. error 4.52.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.727.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```



Gambar 27 hasil *running* dengan *damping factor* 0.1

```
RES2DINV - Display Sections Windows - GISEMESTER BTA/DRAFFT TA KEPN/PENGOLAHAN16 April pengalihan lint 4@line 4 CI vs SC 0.15 DF INV
File: Display sections - Change display settings - Edit data - Print - Exit
Reading most recent file GISEMESTER BTA/DRAFFT TA KEPN/PENGOLAHAN16 April pengalihan lint 4@line 4 CI vs SC 0.15 DF INV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array
Total number of data points is 196.
Position of mid-point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 130.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Setting data points.
Number of data levels is 14.
Number of electrodes is 30.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 154 blocks.
Iteration 1 - Abs. error 10.16.
Iteration 2 - Abs. error 6.68.
Iteration 3 - Abs. error 5.56.
Iteration 4 - Abs. error 5.23.
Iteration 5 - Abs. error 5.04.
Iteration 6 - Abs. error 4.87.
Iteration 7 - Abs. error 4.81.
Iteration 8 - Abs. error 4.71.
Iteration 9 - Abs. error 4.65.
Iteration 10 - Abs. error 4.62.
Iteration 11 - Abs. error 4.62.
Iteration 12 - Abs. error 4.57.
Iteration 13 - Abs. error 4.56.
Iteration 14 - Abs. error 4.54.

Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.727.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.
```



Gambar 28 hasil *running* dengan *damping factor* 0.15



Gambar 29 hasil *running* dengan *damping factor* 0.2



Gambar 30 hasil *running* dengan *damping factor* 0.25



Gambar 31 hasil *running* dengan *damping factor* 0.5

```

RESIDNY | Display Sections Window - G:\SEMESTER 8\TALE DRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\16 april pengalahan line 4\line 4 C\wo SC 0.8 DF.JNV
File | Display sections | Change display settings | Edit data | Print | Exit

Reading most recent file G:\SEMESTER 8\TALE DRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\16 april pengalahan line 4\line 4 C\wo SC 0.8 DF.JNV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array
Total number of data points is 196.
Position of mid point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 130.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorting data points.
Number of data levels is 14.
Number of electrodes is 38.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 154 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 11.93.
Iteration 2 : Abs. error 7.16.
Iteration 3 : Abs. error 5.95.
Iteration 4 : Abs. error 5.43.
Iteration 5 : Abs. error 5.16.
Iteration 6 : Abs. error 4.90.
Iteration 7 : Abs. error 4.78.
Iteration 8 : Abs. error 4.72.
Iteration 9 : Abs. error 4.67.
Iteration 10 : Abs. error 4.63.
Iteration 11 : Abs. error 4.64.
Iteration 12 : Abs. error 4.57.
Iteration 13 : Abs. error 4.58.
Iteration 14 : Abs. error 4.51.
Iteration 15 : Abs. error 4.51.
Iteration 16 : Abs. error 4.50.

Topographical data present in inversion file.
Distorted topography was incorporated into inversion model.
Checks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.718.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.

```

Gambar 32 hasil *running* dengan *damping factor* 0.8

```

RESIDNY | Display Sections Window - G:\SEMESTER 8\TALE DRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\16 april pengalahan line 4\line 4 C\wo SC 1 DF.JNV
File | Display sections | Change display settings | Edit data | Print | Exit

Reading most recent file G:\SEMESTER 8\TALE DRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\16 april pengalahan line 4\line 4 C\wo SC 1 DF.JNV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array
Total number of data points is 196.
Position of mid point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 130.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorting data points.
Number of data levels is 14.
Number of electrodes is 38.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 154 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 12.76.
Iteration 2 : Abs. error 7.33.
Iteration 3 : Abs. error 6.86.
Iteration 4 : Abs. error 5.48.
Iteration 5 : Abs. error 5.16.
Iteration 6 : Abs. error 4.93.
Iteration 7 : Abs. error 4.81.
Iteration 8 : Abs. error 4.73.
Iteration 9 : Abs. error 4.69.
Iteration 10 : Abs. error 4.63.
Iteration 11 : Abs. error 4.60.
Iteration 12 : Abs. error 4.57.
Iteration 13 : Abs. error 4.55.
Iteration 14 : Abs. error 4.51.
Iteration 15 : Abs. error 4.51.
Iteration 16 : Abs. error 4.50.
Iteration 17 : Abs. error 4.48.

Topographical data present in inversion file.
Distorted topography was incorporated into inversion model.
Checks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.718.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.

```

Gambar 33 hasil *running* dengan *damping factor* 1

```

RESIDNY | Display Sections Window - G:\SEMESTER 8\TALE DRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\16 april pengalahan line 4\line 4 C\wo SC 1.5 DF.JNV
File | Display sections | Change display settings | Edit data | Print | Exit

Reading most recent file G:\SEMESTER 8\TALE DRAFT TA KEPINPENGOLAHAN\16 april pengalahan line 4\line 4 C\wo SC 1.5 DF.JNV

LINE E F
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array
Total number of data points is 196.
Position of mid point of array is given.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 130.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Sorting data points.
Number of data levels is 14.
Number of electrodes is 38.
Reading inversion results.
The model has 8 layers and 154 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 12.91.
Iteration 2 : Abs. error 7.88.
Iteration 3 : Abs. error 6.27.
Iteration 4 : Abs. error 5.54.
Iteration 5 : Abs. error 5.26.
Iteration 6 : Abs. error 4.93.
Iteration 7 : Abs. error 4.84.
Iteration 8 : Abs. error 4.75.
Iteration 9 : Abs. error 4.70.
Iteration 10 : Abs. error 4.68.
Iteration 11 : Abs. error 4.62.
Iteration 12 : Abs. error 4.59.
Iteration 13 : Abs. error 4.56.
Iteration 14 : Abs. error 4.54.
Iteration 15 : Abs. error 4.52.
Iteration 16 : Abs. error 4.50.

Topographical data present in inversion file.
Distorted topography was incorporated into inversion model.
Checks sensitivity information present.
Average sensitivity is 2.721.
Inversion constraints information present.
Reading of file has been completed.

```

Gambar 33 hasil *running* dengan *damping factor* 1.5

12. Hasil *running* inversi konvensional lintasan 4

```
C:\Program Files\Geosoft\Surfer\bin\SURFER.EXE [C:\Program Files\Geosoft\Surfer\bin\SURFER.EXE] 4113.0.0.25 (1/1/2015)
File: Display options: Change display settings: Edit data: Print: Exit
Handling most recent file: C:\GEO\GEO\SEMESTER KEJADIDHSFT TA KEPPMPENGISLAHANS2 apil pengalihan inversi steadyLINE 4.LS.DC 8.25.DF.DWG

LINE 4
Minimum electrode spacing is 5.0.
Wenner-Schlumberger array.
Total number of data points is 110.
Position of mid-point of array is above.
Minimum electrode location is 0.0.
Maximum electrode location is 130.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Handling data points.
Number of data levels is 14.
Number of electrodes is 20.
Handling inversion results.
The model has 8 layers and 154 blocks.
Iteration 1: Abs. error 11.18.
Iteration 2: Abs. error 5.59.
Iteration 3: Abs. error 5.51.
Iteration 4: Abs. error 5.41.
Iteration 5: Abs. error 5.31.
Iteration 6: Abs. error 5.21.
Iteration 7: Abs. error 5.13.
Iteration 8: Abs. error 5.11.
Iteration 9: Abs. error 5.08.
Iteration 10: Abs. error 5.06.
Iteration 11: Abs. error 5.05.

Topographical data present in inversion file.
Classic topography was incorporated into inversion model.
Blocks conductivity information present.
Average conductivity is 2.000.
Inversion constraints information present.
Handling of file has been completed.
```

Gambar 37 hasil *running* inversi konvensional pada lintasan 4

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Kevin Christiardi Lumban Tobing lahir di Rantau Prapat, 20 Oktober 1999. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di SDN 10 Napal Putih, Bengkulu tahun kelulusan 2010, SMPN 2 Bengkulu (2010-2013), SMAN 4 Medan (2013-2016) lalu penulis menempuh perkuliahan di Teknik Geofisika ITS pada 2016. Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS, penulis aktif dalam organisasi dan mendapatkan beberapa pengalaman. Penulis aktif di organisasi antara lain : Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS sebagai staff Biro *Big Event* (2017-2018) dan sebagai Kepala Biro *Big Event* (2018-2019); *Society of Exploration Geophysicists* (SEG) ITS SC sebagai staff Departemen *Big Event* (2018) dan sebagai *Vice President* (2019-2020); dan PD Geo-Eklesia sebagai Koordinator Divisi Eksternal (2019). Penulis juga memiliki beberapa pengalaman dalam kepanitian antara lain : sebagai staff Sie Keamanan dan Perizinan di PETROLIDA 2017 yang diadakan oleh SPE ITS SC; sebagai staff Sie Transportasi dan Akomodasi di GEOSPHERE 2017 dan sebagai Wakil Ketua Pelaksana II di GEOSPHERE 2019 yang diadakan oleh HMTG ITS; dan sebagai Ketua Pelaksana Natal 2018 PD Geo-Eklesia. Selain itu penulis juga mempunyai riwayat pelatihan antara lain : LKMM tingkat Pra-TD yang diselenggarakan oleh BEM FTSP ITS (2016); dan LKMW yang diselenggarakan oleh BEM ITS (2016). Pada bidang akademik, penulis juga memiliki pengalaman pelatihan antara lain : *Field Camp* Sampang, Madura (2017) yang diselenggarakan oleh SEG ITS SC; *Field Trip* Wringinanom (2017) yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Geofisika ITS; *Petrophysics Training* 2019 yang diselenggarakan oleh HMTG ITS; Kuliah Lapangan Geologi Karang Sambung, Kebumen (2018) yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Geofisika ITS dan Kuliah Lapangan Terpadu Gondang, Bojonegoro (2019) yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Geofisika ITS. Selain itu penulis juga mendapatkan pengalaman Kerja Praktik di PT. Pertamina Hulu Energi (PHE) OSES pada tahun 2019. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tugas Akhir dapat menghubungi penulis melalui alamat e-mail tobingkevin65@yahoo.co.id.