



TESIS — RM5401

**EVALUASI POTENSI AKUIFER AIR TANAH DI
KAWASAN KARST DONOROJO, PACITAN
MENGUNAKAN METODE APLIS DAN
GEOLISTRIK VES**

**PUTRY VIBRY HARDYANI
NRP. 03311950010001**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc**

**Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2021**

“Halaman ini sengaja di kosongkan.”



TESIS — RM5401

**EVALUASI POTENSI AKUIFER AIR TANAH DI
KAWASAN KARST DONOROJO, PACITAN
MENGUNAKAN METODE APLIS DAN
GEOLISTRIK VES**

**PUTRY VIBRY HARDYANI
NRP. 03311950010001**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc**

**Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2021**

“Halaman ini sengaja di kosongkan.”



THESIS — RM5401

**EVALUATION OF GROUNDWATER AQUIFER
POTENTIAL IN KARST AREA DONOROJO,
PACITAN USING APPLIS AND VES GEOELECTRICAL
METHODS**

**PUTRY VIBRY HARDYANI
NRP. 03311950010001**

Supervisors

**Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc**

**Department of Geomatics Engineering
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Intitut Teknologi Sepuluh Nopember
2021**

“Halaman ini sengaja di kosongkan.”

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

PUTRY VIBRY HARDYANI

NRP : 03311950010001

Tanggal Ujian : 04 Agustus 2021

Periode Wisuda : September 2021

Disetujui oleh :

Pembimbing :

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

2. Dr.-Ing. Teguh Hariyanto, M.Sc
NIP. 19590819 198502 1 001

Penguji :

3. Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS
NIP. 19530527 198303 1 001

4. Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19800507 200312 1 001

5. Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001

Kepala Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan



Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 19800507 200312 1 001

“Halaman ini sengaja di kosongkan.”

EVALUASI POTENSI AKUIFER AIR TANAH DI KAWASAN KARST DONOROJO, PACITAN MENGGUNAKAN METODE APLIS DAN GEOLISTRIK VES

Mahasiswa Nama : Putry Vibry Hardyani
Mahasiswa ID : 03311950010001
Pembimbing 1 : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
Pembimbing 2 : Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc

ABSTRAK

Akuifer karst dapat menjadi sumber penyedia kebutuhan air terutama bagi masyarakat di kawasan karst Kecamatan Donorojo yang merupakan salah satu daerah krisis air di Kabupaten Pacitan. Namun, studi tentang potensi dan pengelolaan akuifer airtanah di kawasan karst tersebut masih terbatas, padahal hal ini penting sebagai salah satu dasar pengembangan kawasan karst yang berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo, Pacitan dengan menggunakan metode APLIS dan Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*). Metode APLIS menggunakan 5 parameter intrinsik yaitu ketinggian (*Altitude*), kemiringan lereng (*Slope*), litologi (*Lithology*), zona infiltrasi (*Infiltration*), dan tanah (*Soil*). Parameter tersebut kemudian diberi skor dan dibobot untuk mendapatkan distribusi atau zona potensi airtanah dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG). Sedangkan metode Geolistrik VES pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis potensi akuifer airtanah di bawah permukaan bumi ditinjau dari nilai resistivitas. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan konfigurasi *Schlumberger* sebanyak 25 titik pengukuran pada area seluas $\pm 124,65$ km² dengan panjang lintasan 250 s.d 600 meter. Hasil dari analisis pada penelitian ini menunjukkan zona potensi airtanah di wilayah studi menggambarkan empat zona berbeda yang meliputi tinggi (104,809 km²), sedang (0,712 km²), rendah (17,653 km²) dan sangat rendah (1,483 km²). Potensi akuifer airtanah secara umum ditemukan pada kedalaman <10 meter dan >50 meter yang tersusun atas Batugamping dan Batugamping konglomerat dengan range nilai resistivitas antara 30 s.d 170 Ohm.m. Nilai resistivitas batuan karbonat yang cukup rendah menunjukkan bahwa proses karstifikasi berkembang dengan baik, membentuk sistem akuifer karst tidak terbatas dan didominasi oleh lorong-lorong yang membentuk jaringan *conduit*. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil beberapa titik Geolistrik VES dengan hasil Geolistrik 2D dari penelitian terdahulu dan ditemukan potensi akuifer airtanah pada kedalaman yang sama. Akan tetapi, untuk pengembangan dan pemanfaatan lebih lanjut disarankan menggunakan data bor untuk menguji potensi akuifer airtanah tersebut secara lebih akurat.

Kata Kunci: Potensi Akuifer, Airtanah, Karst, SIG, Metode APLIS, Geolistrik VES

“Halaman ini sengaja di kosongkan.”

EVALUATION OF GROUNDWATER AQUIFER POTENTIAL IN KARST AREA DONOROJO, PACITAN USING APLIS AND VES GEOELECTRICAL METHODS

Mahasiswa Name : Putry Vibry Hardyani
Mahasiswa ID : 03311950010001
Supervisor 1 : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
Supervisor 2 : Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc

ABSTRACT

Karst aquifers can be a source of water, especially for community in the karst area of Donorojo District, which is one of Pacitan Regency's water crisis areas. However, study on the potential and management of karst groundwater aquifers is still limited, despite the fact that this is an important foundation for the development of a sustainable karst area. As a result, the goal of this study is to use APLIS and VES (Vertical Electrical Sounding) Geoelectrical methods to assess the potential of groundwater aquifers in the Donorojo karst area of Pacitan. Altitude, Slope, Lithology, infiltration zone, and Soil are the five intrinsic parameters used by the APLIS method. Using a Geographic Information System (GIS), these parameters are then scored and weighted to obtain the distribution or zone of groundwater potential. Meanwhile, the VES Geoelectrical method was used in this study to analyze of potential groundwater aquifers beneath the earth's surface based on resistivity value. As many as 25 measurement points were made using the Schlumberger configuration in an area of 124.65 km² with a track length of 250 to 600 meters. According to the results of this study, the groundwater potential zone in the study area is divided into four zones: high (104.809 km²), medium (0.712 km²), low (17.653 km²), and very low (1,483 km²). Potential groundwater aquifers are composed of limestone and conglomerate limestone with resistivity values ranging from 30 to 170 Ohm.m and are found at depths of 10 to 50 meters. Because carbonate rocks have a low resistivity, it is show that the karstification process is well developed, resulting in an Unconfined Karstic Aquifer system dominated by tunnels that form a conduit network. Validation was done by comparing the results of several VES Geoelectrical points with 2D Geoelectrical results from previous studies, which revealed the presence of groundwater aquifers at the same depth. However, for further development and utilization, it is recommended to use drill data to more accurately test the potential of the groundwater aquifer.

Keywords: Aquifer Potential, Karst, GIS, APLIS Method, VES Geoelectrical Method

“Halaman ini sengaja di kosongkan.”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya sehingga laporan Tesis dengan judul “Evaluasi Potensi Akuifer Air Tanah di Kawasan Karst Donorojo, Pacitan Menggunakan Metode APLIS dan Geolistrik VES” ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Tidak lupa penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan dari pihak yang telah berkontribusi dengan memberikan sumbangan baik secara moral ataupun secara materi. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Keluarga penulis, terutama kedua Orang Tua penulis (Bapak dan Ibu) dan Aadik yang dengan sepenuh hati selalu mendoakan dan mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
2. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya serta segenap jajarannya yang telah memberikan kemudahan selama mengikuti pendidikan di Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
3. Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil, Ph.D. selaku Koordinator Program Pasca Sarjana Departemen Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya .
4. Dr. Ayi Syaeful Bahri, S,Si., M.T dan Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc. selaku dosen pembimbing pertama dan kedua saya yang senantiasa memberikan masukan dan bimbingan dari awal masuk perkuliahan hingga selesainya penelitian tesis ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen serta karyawan Teknik Geomatika ITS atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama masa perkuliahan dan administrasi.
6. Putry Vibry Hardyani, S.T., atau “Diri Saya Sendiri”, terimakasih untuk tidak menyerah, tetap semangat, terus belajar dimanapun, kapanpun, dan dari siapapun “Everything will be okay in the end. If it’s not okay, it’s not the end”.

6. Teman-teman seperjuangan Pascasarjana Teknik Geomatika angkatan 2019 terutama Kos 3 Dara (Upik, Yuniar, Irena, Ririn) dan Toifa atas segala dukungan dan *reminder*-nya.
7. CV Safari Alam Teknik ; Mas Ujang, Mas Lutfi, Wafi, terutama Arya, terimakasih telah membantu penulis melakukan akuisisi dan pengolahan data.
8. Pak Nardi, Bu Desi, Mas Kipli, Sekar, Asti, dan Arfa yang telah membantu dan kebersamai penulis selama berada di Pacitan.
7. Tim Tugas Akhir Pacitan (Muthi, Talitha, Vidi dan Imam) terutama Muthi yang telah banyak membantu penulis selama penulisan tesis ini.
9. Noorfianda Bimo Prakoso Poetra (Nyong) yang ternyata tiba-tiba menjadi tempat berkeluh kesah penulis, terimakasih untuk selalu memberikan dukungan walaupun dari jauh.
8. Teman-teman Kos Muslimah (Isna, Tika, Viona) yang telah memberikan dukungan dari S1 sampai sekarang.
9. Bocil yang sudah mau direpotkan penulis dan menjadi editor dadakan.
10. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung hingga terselesainya penelitian ini.

Penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat berkontribusi dalam menambah pengetahuan dan pengalaman bagi para pembaca.

Penulis mengharapkan adanya saran sebagai pembelajaran bagi penulis untuk dapat menghasilkan karya ilmiah yang lebih baik lagi. Tidak lupa penulis sampaikan mohon maaf apabila ada kesalahan pada penulisan laporan ini. Demikian ucapan terima kasih ini, semoga laporan Tesis ini mampu memberi manfaat bagi pembaca maupun dunia akademik.

Surabaya, 17 Agustus 2021

Penulis

“Halaman ini sengaja di kosongkan.”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xx
BAB 1 PENDAHULUAN.....	37
1.1 Latar Belakang.....	37
1.2 Rumusan Masalah.....	39
1.3 Tujuan Penelitian	39
1.4 Manfaat Penelitian	40
1.5 Batasan Masalah	40
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	43
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian	43
2.6.1 Fisiografi Daerah Penelitian.....	43
2.6.2 Stratigrafi Daerah Penelitian	45
2.6.3 Struktur Geologi di Daerah Penelitian	46
2.6.4 Sejarah Geologi di Daerah Penelitian	47
2.2 Karst.....	48
2.2.1 Morfologi Karst.....	48
2.2.2 Klasifikasi Karst.....	51
2.3 Akuifer Karst	53

2.3.1	Klasifikasi Akuifer Karst	53
2.3.2	Bentuk dan Unsur Akuifer Karst.....	54
2.4	Hidrologi dan Hidrogeologi Karst	56
2.4.1	Hidrologi dan Hidrogeologi di Daerah Penelitian.....	58
2.5	Sistem Informasi Geografis	59
2.5.1	Metode APLIS.....	62
2.6	Metode Geolistrik	65
2.6.1	Metode VES (<i>Vertical Electrical Sounding</i>).....	68
2.7	Penelitian Terdahulu	69
BAB 3 METODE PENELITIAN		81
4.1	Lokasi Penelitian.....	81
4.2	Data dan Peralatan	82
3.2.1	Data	82
3.2.2	Peralatan	83
3.3	Metodologi Penelitian.....	84
3.3.1	Tahap Penelitian.....	84
3.3.2	Tahapan Pengolahan Data.....	87
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		95
4.1	Metode APLIS	95
4.1.1	Ketinggian (<i>Altitude</i>)	96
4.1.2	Kemiringan Lereng (<i>Slope</i>)	97
4.1.3	Litologi (<i>Lithology</i>).....	98
4.1.4	Zona Infiltrasi (<i>Infiltration Zone</i>)	100
4.1.5	Jenis Tanah (<i>Soil</i>).....	101
4.1.6	Zona Potensi Airtanah Berdasarkan Perhitungan Indeks APLIS	102
4.2	Metode Geolistrik	105

4.2.1 Hasil dan Interpretasi VES 1D	107
4.2.3 Validasi Potensi Akuifer Airtanah.....	134
4.2.4 Model 3D Akuifer di Kawasan Donorojo Pacitan.....	141
4.3 Analisis Potensi Akuifer Airtanah di Kawasan Karst Donorojo Pacitan	145
BAB V KESIMPULAN.....	149
5.1 Kesimpulan	149
5.2 Saran	150
DAFTAR PUSTAKA	151
LAMPIRAN	157

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi daerah penelitian yang secara umum tersusun atas Formasi Wuni (Tmw), Formasi Wonosari (Tmw), Formasi Nampol (Tmn), Formasi Jaten (Tmj) dan Batuan Intrusi (Tom) (Sumber : Surono, B.T. dan Sudarno, I., 1992 dengan modifikasi).....	43
Gambar 2.2 Stratigrafi daerah penelitian (Sumber : Surono, B.T. dan Sudarno, I., 1992).....	46
Gambar 2.3 Perbedaan bentuk dan batasan doline di daerah beriklim tropis dan sedang (Sumber : Fords & Williams, 1969).....	49
Gambar 2.4 Kenampakan Kegelkarst Gunungsewu dari foto udara dan lapangan (Sumber : Haryono & Adji, 2004).....	52
Gambar 2.5 Kenampakan karst labirin (Sumber : Haryono & Adji, 2017).....	52
Gambar 2.6 Kenampakan karst poligonal (Sumber : Haryono & Adji, 2017)..	53
Gambar 2.7 Model akuifer karst tidak terbatas (<i>Unconfined karstic aquifer</i>) (Sumber : Stevanović, 2015)	55
Gambar 2.8 Tiga komponen daerah tangkapan air kawasan karst yaitu Autogenik, Alogenik, dan Campuran (Sumber : Ford & Williams, 2007)	57
Gambar 2.9 Ilustrasi uraian sub-sistem GIS (Sumber : Prahasta, 2009)	60
Gambar 2.10 Komponen-komponen SIG (Sumber : Prahasta, 2009)	60
Gambar 2.11 Arus dan ekuipotensial hasil injeksi (Sumber : Reynolds, 2011) .	67
Gambar 2.12 Prinsip pengukuran metode geolistrik/resistivitas (Sumber : Reynolds, 2011).....	67
Gambar 2.13 Susunan elektroda Konfigurasi Schlumberger (Sumber : Hartyanto, 2020).....	69
Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian yang berada di Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur	81
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	84
Gambar 3.3 Desain pengukuran metode Geolistrik (Vertical Electrical Sounding) (Sumber data : Data survei pendahuluan penulis, 2021)	86
Gambar 3.4 Diagram alir pengolahan data metode APLIS	88
Gambar 3.5 Diagram alir pengolahan data metode VES.....	89

Gambar 3.6 Diagram alir analisis data	90
Gambar 4. 1 Peta ketinggian kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)	96
Gambar 4. 2 Peta kemiringan lereng kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)	97
Gambar 4. 3 Peta litologi kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)	99
Gambar 4. 4 Peta zona infiltrasi kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)	100
Gambar 4. 5 Peta jenis tanah kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)	101
Gambar 4. 6 Peta APLIS Indeks kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)	103
Gambar 4. 7 Hasil curve matching inversion titik 1A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi	108
Gambar 4. 8 (a) Interpretasi litologi titik 1A (b) Identifikasi akuifer di titik 1A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 2,5 s.d 5 meter dan 8 s.d 18 meter.....	109
Gambar 4. 9 Hasil curve matching inversion titik 5A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi	110
Gambar 4. 10 (a) Interpretasi litologi titik 5A (b) Identifikasi akuifer di titik 5A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 3,74 meter dan 15 meter.....	112
Gambar 4. 11 Hasil curve matching inversion titik 7A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi	113

Gambar 4. 12 (a) Interpretasi litologi titik 7A (b) Identifikasi akuifer di titik 7A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 7 meter dan Batugamping Konglomerat pada kedalaman 48 meter.....	114
Gambar 4. 13 Hasil curve matching inversion titik 9A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi.....	115
Gambar 4. 14 (a) Interpretasi litologi titik 9A (b) Identifikasi akuifer di titik 9A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 8 meter dan 50 meter	117
Gambar 4. 15 Hasil curve matching inversion titik 11A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 7 lapisan litologi.....	118
Gambar 4. 16 (a) Interpretasi litologi titik 11A (b) Identifikasi akuifer di titik 11A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 10 meter dan 60 s.d 80 meter.....	120
Gambar 4. 17 Hasil curve matching inversion titik 13A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi.....	121
Gambar 4. 18 (a) Interpretasi litologi titik 13A (b) Identifikasi akuifer di titik 13A ditemukan potensi akuifer non-karst yang tersusun atas Batupasir pada kedalaman sekitar 30 s.d 50 meter	123
Gambar 4. 19 Hasil curve matching inversion titik 16A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi.....	124
Gambar 4. 20 (a) Interpretasi litologi titik 16A (b) Identifikasi akuifer di titik 16A tidak ditemukan potensi akuifer karst.....	126
Gambar 4. 21 Hasil curve matching inversion titik 18A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi;	

sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 8 lapisan litologi.	127
Gambar 4. 22 (a) Interpretasi litologi titik 18A (b) Identifikasi akuifer di titik 18A tidak ditemukan potensi akuifer di titik ini.	128
Gambar 4. 23 Hasil curve matching inversion titik 22A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi.	129
Gambar 4. 24 (a) Interpretasi litologi titik 22A (b) Identifikasi akuifer di titik 22A ditemukan potensi akuifer Batugamping Napal-Tufan pada kedalaman <10 meter.	131
Gambar 4. 25 Hasil curve matching inversion titik 24A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 8 lapisan litologi.	132
Gambar 4. 26 (a) Interpretasi litologi titik 24A (b) Identifikasi akuifer di titik 24A ditemukan potensi akuifer Batugamping konglomerat pada kedalaman sekitar 4 meter dan pada kedalaman 60 meter.	133
Gambar 4. 27 Validasi data VES 6A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-3 berdasarkan perbedaan litologi.	135
Gambar 4. 28 Validasi data VES 6A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-3 berdasarkan analisis potensi akuifer (Sumber : Padlilah, 2021)	136
Gambar 4. 29 Validasi data VES 7A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-2 berdasarkan perbedaan litologi (Sumber : Padlilah, 2021)	138
Gambar 4. 30 Validasi data VES 7A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-2 berdasarkan analisis potensi akuifer (Sumber : Padlilah, 2021)	138
Gambar 4. 31 Validasi data VES 10A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-1 berdasarkan perbedaan litologi (Sumber : Padlilah, 2021)	139
Gambar 4. 32 Validasi data VES 10A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-1 berdasarkan analisis potensi akuifer (Sumber : Padlilah, 2021)	140
Gambar 4. 33 Model 3D plot log litologi hasil VES di kawasan karst Donorojo Pacitan	142

Gambar 4. 34 Model 3D litologi penyusun kawasan karst Donorojo Pacitan dari data geolistrik VES.....	143
Gambar 4. 35 Model 3D plot log dugaan potensi akuifer di kawasan karst Donorojo Pacitan.....	144
Gambar 4. 36 Model 3D dugaan potensi akuifer di kawasan karst Donorojo Pacitan.....	145
Gambar 4. 37 Luweng Marik (a) dan Luweng Grasak (b) yang merupakan salah satu tempat masuknya air permukaan menuju sistem sungai bawah permukaan di kawasan karst Donorojo, Pacitan (Sumber : Dokumentasi penulis)	146
Gambar 4. 38 Sumber mata air Kalitanjung (a) dan Sumber Situs Danyangan Kisen (b) (Sumber : Dokumentasi penulis)	148
Gambar 39 Hasil curve matching inversion titik 2A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi.....	157
Gambar 401 Hasil curve matching inversion titik 10A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi.....	167
Gambar 413 Hasil curve matching inversion titik 12A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 7 lapisan litologi.....	169
Gambar 425 Hasil curve matching inversion titik 14A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi.....	171
Gambar 437 Hasil curve matching inversion titik 15A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 7 lapisan litologi.....	173

Gambar 449 Hasil curve matching inversion titik 17A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi. 175

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penilaian untuk variabel: ketinggian, kemiringan, litologi, bentuk lahan infiltrasi, jenis tanah	63
Tabel 2.2 Klasifikasi zona potensi airtanah dengan metode APLIS	65
Tabel 2.3 Tabel Penelitian Terdahulu.....	69
Tabel 3.1 Klasifikasi dan skoring variabel ketinggian	91
Tabel 3.2 Klasifikasi dan skoring variabel lereng	91
Tabel 3.3 Klasifikasi dan skoring variabel litologi.....	92
Tabel 3.4 Klasifikasi dan skoring variabel zona infiltrasi	92
Tabel 3.5 Klasifikasi dan skoring variabel tanah Tanah	92
Tabel 3.6 Klasifikasi nilai imbuhan airtanah (R)	93
Tabel 4. 1 Luas zona imbuhan airtanah dengan metode APLIS	103
Tabel 4. 2 Interpretasi litologi batuan dengan nilai range resistivitas	106
Tabel 4. 3 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 1A.....	108
Tabel 4. 4 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 5A.....	111
Tabel 4. 5 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 7A.....	113
Tabel 4. 6 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 9A.....	116
Tabel 4. 7 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 11A.....	118
Tabel 4. 8 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 13A.....	121
Tabel 4. 9 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 16A.....	125
Tabel 4. 10 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 18A.....	127
Tabel 4. 11 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 22A.....	130
Tabel 4. 12 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 24A.....	132
Tabel 4. 13 Interpretasi penampang geolistrik 2D lintasan Dipole-3 pada titik VES 6A	136
Tabel 4. 14 Interpretasi penampang litologi dan identifikasi akuifer pada VES 6A	136
Tabel 4. 15 Interpretasi penampang geolistrik 2D lintasan Dipole-2 pada titik VES 7A	138

Tabel 4. 16 Interpretasi penampang litologi dan identifikasi akuifer pada VES 7A	139
Tabel 4. 17 Interpretasi penampang geolistrik 2D lintasan Dipole-1 pada titik VES 10A	140
Tabel 4. 18 Interpretasi penampang litologi dan identifikasi akuifer pada VES 10A	140

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan menjadi salah satu kawasan yang menarik untuk diteliti. Kawasan ini termasuk wilayah dengan krisis air di Kabupaten Pacitan dan membutuhkan solusi yang berkelanjutan (Widiyanti & Dittmann, 2014). Daerah penelitian berada dalam kawasan karst yang mempunyai tipe perkembangan sempurna (holokarst). Selain memiliki kondisi geologi yang kompleks, kawasan karst memiliki bentuk morfologi dan hidrologi yang unik tersusun oleh batuan mudah larut, seperti batuan karbonat dan evaporit, yang dapat mengarah ke pembentukan akuifer (Entezari dkk., 2020) (Zaree dkk., 2019) (De la Torre dkk., 2020). Menurut Basha & Zoghbi (2018) dalam (Yogafanny dkk., 2020), akuifer karst merupakan sumber air utama di banyak negara di dunia yang mana merupakan hal yang sangat penting di suatu daerah yang memiliki sumber daya air terbatas selama periode tertentu. Hal tersebut dapat memberi peluang untuk menjadikan akuifer karst sebagai sumber penyedia kebutuhan air terutama bagi masyarakat.

Oleh karenanya, studi dan pengelolaan formasi karst menjadi sangat penting karena kelimpahan dan potensinya dalam membentuk akuifer. Lapisan akuifer, jika dilihat dari segi fisisnya merupakan lapisan batuan yang memiliki porositas tertentu yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah yang cukup. Akuifer karst bertindak sebagai reservoir curah hujan alami yang besar, dan pelepasan mata air mencerminkan periode curah hujan yang tinggi, serta perubahan iklim jangka panjang (Chen et al. 2004) dalam (Entezari dkk., 2020). Salah satu parameter dasar dalam pengelolaan konsumsi dan pemeliharaan akuifer airtanah di kawasan karst adalah imbuhan akuifer (Hartmann dkk., 2013) dalam (Alem dkk., 2017). Selain itu, persebaran zona potensi akuifer, karakteristik akuifer, dan kualitas airtanah pembentuk akuiferya perlu diketahui (Omolaiye dkk., 2020).

Metode berbasis SIG, yang memanfaatkan atribut geografis dari parameter seperti geologi, ketinggian, kemiringan, jenis tanah, vegetasi dan curah hujan

tahunan rata-rata, sering digunakan untuk menentukan sebaran spasial imbuan formasi karst (Omolaiye dkk., 2020) (Andreo dkk., 2008) (Allocca dkk., 2014). Salah satu peningkatan metode SIG untuk mengetahui imbuan airtanah yang lebih realistis di lingkungan karst, berdasarkan variabel asli akuifer dan secara tidak langsung, yaitu Metode APLIS (*Altitude, Pendant or Slope, Lithology, Infiltration, Soil*) (Andreo dkk., 2008). Beberapa penelitian tentang penilaian imbuan airtanah di akuifer karst telah dilakukan menggunakan metode APLIS yang bertujuan untuk memperkirakan nilai imbuan permukaan dan menyajikan hasilnya sebagai peta distribusi spasial yang kemudian mencerminkan zona potensi airtanah di kawasan karst (Andreo dkk., 2008) (Alem dkk., 2017) (Entezari dkk., 2020) (Zaree dkk., 2019) (Yogafanny dkk., 2020). Aspek ini penting untuk pengelolaan dan perlindungan air tanah yang tepat dan berkelanjutan, baik dari segi kuantitas maupun kualitasnya (Andreo dkk., 2008) (Hartmann dkk., 2013).

Selain itu, pada wilayah yang memiliki geologi yang kompleks seperti di wilayah studi, penggunaan metode geofisika dalam penggambaran model bawah permukaan dan potensi akuifer sangat penting dilakukan, karena membantu untuk memahami heterogenitas hidrogeologis bawah permukaan yang tersembunyi. Penyelidikan dengan metode geofisika mampu mengestimasi keberadaan, kedalaman dan arah kemenerusan sungai bawah permukaan yang biasanya menjadi akuifer airtanah di kawasan karst (A. S. Bahri dkk., 2019). Salah satu metode geofisika yang paling banyak digunakan untuk eksplorasi airtanah adalah metode geolistrik resistivitas (Abdullahi dan Iheakanwa 2013; Kayode et al. 2016; Oyeyemi et al. 2018; Nwachukwu et al. 2019; Mehmood et al. 2020 dalam Omolaiye dkk., 2020). Prinsip metode ini adalah memanfaatkan adanya kontras resistivitas batuan target terhadap lingkungannya. Dengan informasi struktur bawah permukaan maka dapat menduga adanya potensi akifer dikawasan karst yang tersusun atas batuan karbonat. Metode geolistrik *Vertical Electrical Sounding* (VES) terbukti sangat populer dengan pencarian air tanah dan rekayasa investigasi karena kesederhanaan tekniknya (F. A. Bahri dkk., 2017). Metode Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dapat menentukan distribusi benda berlubang dan jenuh air, atau lapisan jenuh air pada profil kedalaman yang memiliki resolusi tinggi bahkan dalam jarak meter (Neumann dkk., 2009). Namun, ada beberapa faktor yang berpengaruh

terhadap kemunculan nilai resistivitas, dan diperlukan adanya interpretasi lanjutan menggunakan data lain yang tersedia.

Oleh karena itu, pada penelitian ini peneliti mencoba menggunakan Metode APLIS dan Geolistrik *Vertical Electrical Sounding* (VES) konfigurasi *Schlumberger* untuk mengevaluasi potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo, Pacitan. Harapannya hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan dan pemanfaatan potensi airtanah di kawasan karst Donorojo, Pacitan secara berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari latar belakang di atas adalah sebagai berikut,

1. Bagaimana menghitung nilai imbuhan airtanah dan memetakan zona potensi airtanah di kawasan karst Donorojo Pacitan menggunakan metode APLIS?
2. Bagaimana mengestimasi kedalaman dan ketebalan potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo Pacitan menggunakan metode Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*)?
3. Bagaimana mengevaluasi potensi akuifer karst Donorojo, Pacitan berdasarkan berdasarkan hasil metode APLIS dan Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*).

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari latar belakang di atas adalah sebagai berikut,

1. Menghitung nilai imbuhan airtanah dan memetakan zona potensi airtanah di kawasan karst Donorojo Pacitan menggunakan metode APLIS.
2. Mengestimasi kedalaman dan ketebalan potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo Pacitan menggunakan metode Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*).
3. Mengevaluasi potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo, Pacitan berdasarkan hasil metode APLIS dan geolistrik.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut,

1. Mengetahui nilai imbuan dan zona potensi airtanah dan di kawasan karst Donorojo Pacitan dari parameter ketinggian, kemiringan lereng, litologi, zona infiltrasi, dan jenis tanah.
2. Mengetahui estimasi kedalaman dan ketebalan akuifer karst kawasan karst Donorojo Pacitan menggunakan metode Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*).
3. Bagi akademisi, penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian terkait evaluasi potensi akuifer airtanah khususnya di kawasan karst dengan metode APLIS maupun Geolistrik VES.
4. Bagi masyarakat, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan dan pemanfaatan sumber airtanah di kawasan karst Donorojo, Pacitan secara berkelanjutan.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Wilayah kajian adalah di Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur.
2. Metode yang digunakan untuk mengetahui nilai imbuan akuifer airtanah dan memetakan zona potensi airtanah yaitu metode APLIS dimana parameter yang digunakan adalah *Altitude*, *Slope*, *Lithology*, *Infiltration Landforms*, dan *Soil*.
3. Parameter ketinggian (*Altitude*) dan kemiringan lereng (*slope*) didapatkan dari mengolah data DEMNAS.
4. Parameter litologi didapatkan dari dari peta geologi Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro Tahun 1992 Skala 1 : 250.000 oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi dalam bentuk peta digital.
5. Parameter zona infiltrasi (*Infiltration Landforms*) didapatkan dari Peta Geohidrologi Skala 1 : 100.000 yang diperoleh dari Badan Geologi, Pusat Geologi Air Tanah dan Lingkungan - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tahun 2018.

6. Parameter jenis tanah (*soil*) didapatkan dari Peta Jenis Tanah Kab. Pacitan Skala 1 : 50.000 oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) Kementerian Pertanian Republik Indonesia Tahun 2016.
7. Metode yang digunakan dalam menentukan pembobotan dan pengkelasan parameter imbuhan akuifer berdasarkan penelitian terdahulu oleh (Andreo dkk., 2008)
8. Metode geolistrik yang digunakan adalah metode *Vertical Electrical Sounding* digunakan untuk mengestimasi kedalaman dan ketebalan akuifer karst kawasan karst Donorojo Pacitan.
9. Konfigurasi yang digunakan pada metode geolistrik *Vertical Electrical Sounding* adalah konfigurasi *Schlumberger*.
10. Data DEM yang digunakan adalah data DEMNAS.
11. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil beberapa titik Geolistrik VES dengan hasil Geolistrik 2D dari penelitian terdahulu dan tidak menggunakan data bor.
12. Hasil akhir dari penelitian tesis kali ini adalah nilai imbuhan airtanah, zona potensi airtanah, serta estimasi ketebalan dan kedalaman potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo, Pacitan.

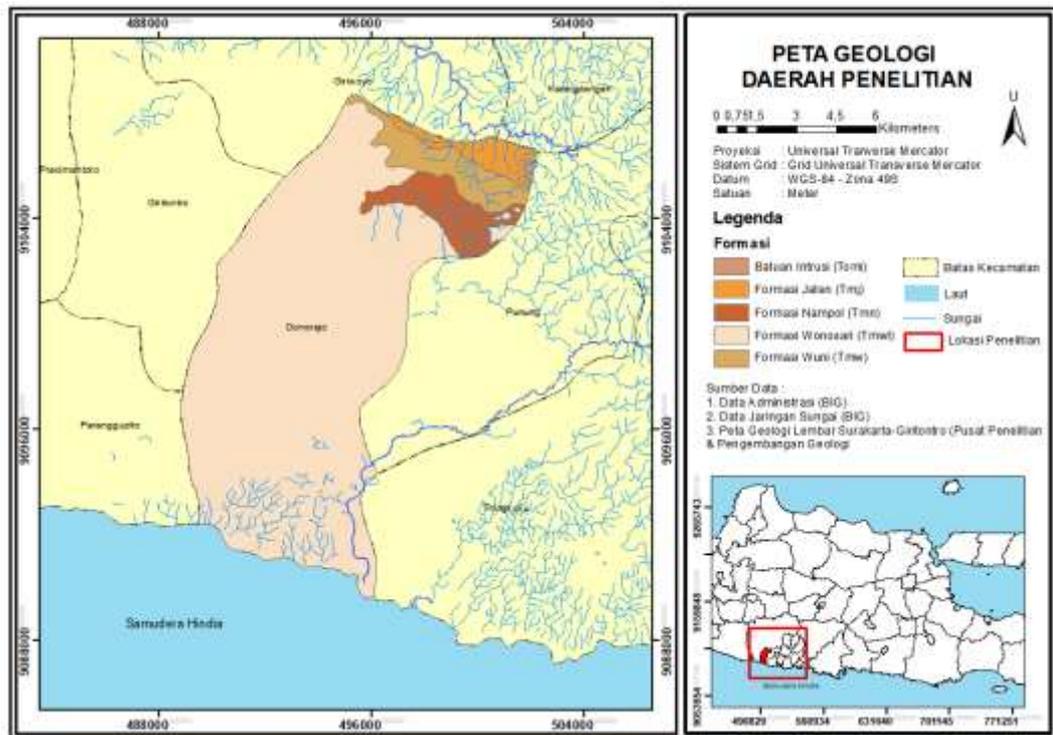
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Geologi daerah penelitian meliputi fisiografi, stratigrafi, dan struktur geologi yang bersumber dari peneliti terdahulu.



Gambar 2.1 Peta geologi daerah penelitian yang secara umum tersusun atas Formasi Wuni (Tmw), Formasi Wonosari (Tmw), Formasi Nampol (Tmn), Formasi Jaten (Tmj) dan Batuan Intrusi (Tom) (Sumber : Surono, B.T. dan Sudarno, I., 1992 dengan modifikasi)

2.6.1 Fisiografi Daerah Penelitian

Daerah penelitian merupakan bagian dari lajur Pegunungan Selatan Jawa Timur. Satuan geomorfologi karst mencakup hampir 98% daerah penelitian dicirikan oleh hamparan berbentuk plateau Batugamping yang mempunyai *Topografi* karst. Gejala karst ini ditunjukkan oleh adanya gua Batugamping, aliran sungai bawah tanah, dolina dan uvala. Bukit-bukit kecil menjulang antara 20 s.d 50 meter di atas muka laut merupakan bentukan hasil erosi, yang umumnya disusun

oleh Batugamping Terumbu. Bentuk bukitnya seperti kerucut, kerucut terpancung, meja, tabung dan sebagainya yang dipengaruhi oleh ragam Batugamping penyusunnya. Wilayah perbukitan ini dikenal sebagai Pegunungan Sewu (Prayogo, 2009). Bentang alam karst ini membentang dari pantai Parangtritis di bagian barat hingga Pacitan di sebelah timur (Bemmelen, R. W. Van. 1949). Secara umum, perbukitan karst Gunung Sewu melampar dengan arah Baratlaut-Tenggara. Bagian selatan Gunung Sewu merupakan pesisir yang berbatasan langsung dengan Samudera India oleh gawir-gawir erosi. Bagian utara Gunung Sewu memiliki batas yang bervariasi dengan fisiografi di sekitarnya.

2.1.1.1 Geomorfologi

Berdasarkan genetika pembentukan bentang alamnya, serta merujuk pada struktur, proses dan tahapan geomorfiknya maka geomorfologi daerah penelitian dan sekitarnya dibagi menjadi dua satuan, yaitu Satuan Geomorfologi Perbukitan Lipat Patahan dan Satuan Geomorfologi Bukit Intrusi.

a. Satuan Geomorfologi Perbukitan Lipat Patahan

Satuan ini dicirikan dengan bentuk perbukitan dan lembahan yang memanjang dari barat sampai ke timur searah dengan sumbu lipatan. Satuan geomorfologi ini berada pada ketinggian 200 s.d 550 mdpl, dengan kemiringan lereng berkisar 10° s.d 55° . Struktur geologi yang berkembang berupa lipatan antiklin berarah Barat-Timur dan sesar mendatar berarah Baratlaut-Tenggara. Jentera geomorfik pada satuan ini dapat dikategorikan ke dalam stadia dewasa, hal ini dicirikan dengan proses pelapukan yang intensif dan berkembangnya erosi lembah sehingga di beberapa tempat bentuk bentang alamnya terlihat berbukit-bukit yang cukup terjal.

b. Satuan Geomorfologi Bukit Intrusi.

Bentuk morfologi dari satuan ini berupa bukit yang terbentuk oleh terobosan batuan Andesit berada pada ketinggian 450 mdpl, Satuan ini berada pada bagian tengah bagian barat dan timur daerah penelitian. Jentera geomorfik satuan ini dapat dikategorikan ke dalam tahapan dewasa, karena relief bukit yang lebih menonjol di bandingkan bentang alam sekitarnya.

2.1.1.2 Pola Aliran Sungai

Secara umum pola aliran sungai yang berada pada daerah penelitian yaitu :

a. Pola aliran *Trellis* :

Pola aliran sungai yang berbentuk pagar (*trellis*) dan dikontrol oleh struktur geologi berupa perlipatan sinklin dan antiklin. Sungai trellis dicirikan oleh saluran-saluran air yang berpola sejajar, mengalir searah kemiringan lereng dan tegak lurus dengan saluran utamanya. Saluran utama berarah searah dengan sumbu lipatan searah dengan jurus lapisan.

b. Pola aliran *Rectangular* :

Pola aliran sungai yang berkembang pada daerah rekahan dan patahan, memiliki bentuk mengikuti pola rekahan (Aliyan dkk., 2019).

2.6.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk ke dalam sebagian Peta Geologi Regional Lembar Surakarta-Girintoro (Surono, B.T. dan Sudarno, I., 1992) (Gambar 2.1) dan tersusun dari Formasi Wonosari, Formasi Nampol, Formasi Wuni, Formasi Jaten (Gambar 2.2). Pembahasan stratigrafi akan ditekankan pada formasi penyusun daerah penelitian. Berikut ini penjelasan beberapa formasi yang menyusun daerah penelitian diurutkan dari satuan yang muda ke satuan yang lebih tua antara lain:

a. Formasi Wonosari (Tmwl)

Satuan formasi batuan ini tersusun atas Batugamping, Batugamping napalan-tufan, Batugamping konglomerat, Batupasir tufan dan Batulanau. Berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan terbentuk di lingkungan laut dangkal. Diperkirakan memiliki tebal lebih dari 800 m (Surono, B.T. dan Sudarno, I. 1992).

b. Formasi Nampol (Tmn)

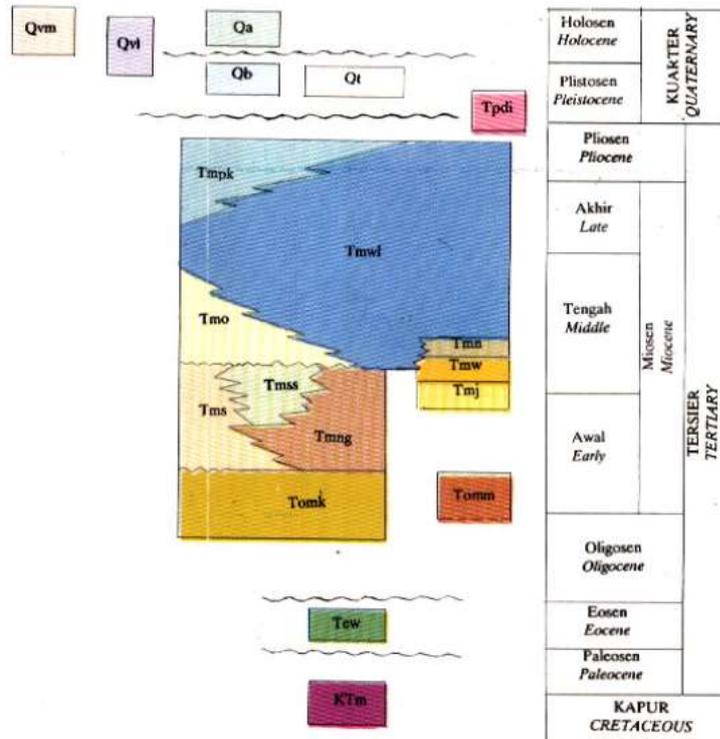
Satuan formasi batuan ini terdiri atas Konglomerat, Batupasir Konglomeratan, Aglomerat, Batulanau, Batulempung dan Tuff.

c. Formasi Wuni (Tmw)

Satuan formasi batuan ini tersusun atas Aglomerat bersisipan batupasir tufan dan Batupasir kasar.

d. Formasi Jaten (Tmj)

Satuan formasi batuan ini terdiri atas Batupasir kuarsa, Batupasir tufan, Batulanau, Batulempung, Napal, Batugamping napalan (Surono, B.T. dan Sudarno, I., 1992).



Gambar 2.2 Stratigrafi daerah penelitian (Sumber : Surono, B.T. dan Sudarno, I., 1992).

2.6.3 Struktur Geologi di Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil analisa peta *Topografi* skala 1: 25.000 dan pengamatan di daerah Donorojo dan sekitarnya yang dilakukan oleh Yahya, Lukman; dkk., pada tahun (2018), yang meliputi pengukuran jurus dan kemiringan lapisan batuan, serta pengukuran unsur-unsur struktur geologi yang ada di daerah penelitian, maka dapat diketahui struktur geologi yang berkembang di daerah Donorojo dan terdiri dari perlipatan dan patahan yaitu:

- Struktur Lipatan berupa Antiklin Mendolo Lor dan Sinklin Ploso.
- Struktur Patahan berupa Sesar Geser Ploso (Yahya, Lukman; Mustafa, 2018).

2.6.4 Sejarah Geologi di Daerah Penelitian

Sejarah geologi daerah penelitian dimulai dari yang paling tua berawal pada kala Miosen Miosen Awal (N5-N7) diendapkan satuan Batupasir Sisipan Breksi (Formasi Arjosari) dengan lingkungan pengendapan Bathial Tengah memiliki kedalaman 500mdpl dengan ketebalan 1500 meter. Kemudian terjadi susut laut (*marine transgression*) sehingga terendapkan di atasnya secara tidak selaras Satuan Batupasir dan Batulempung sisipan Batubara Formasi Jaten dengan ketebalan 875m pada kala Miosen Tengah (N9-N10) pada kedalaman 20-80 mdpl/ neritik tengah. Pada Pada Kala Miosen Awal N8 tidak terjadi pengendapan di daerah penelitian dan dapat dikatakan terjadi orogenesis. Akibat orogenesis ini daerah penelitian terangkat sehingga daerah penelitian berupa daratan.

Setelah itu di atasnya pada kala Miosen Tengah (N11-N12) secara selaras diendapkan satuan Breksi dan Batupasir Formasi Wuni dengan ketebalan 1075m pada kedalaman 20-110 mdpl/ neritik tengah. Kemudian pada Kala Miosen Tengah terjadi proses vulkanik yang menghasilkan Batuan Terobosan yang menerobos 3(tiga) satuan batuan, yaitu Satuan Batupasir sisipan Breksi, Satuan Batupasir dan Batulempung sisipan Batubara, Satuan Breksi dan Batupasir. Pada Kala Miosen Tengah N13 tidak terjadi pengendapan di daerah penelitian dan dapat dikatakan terjadi orogenesis. Akibat orogenesis ini daerah penelitian terangkat sehingga daerah penelitian berupa daratan. Setelah itu pada Kala Miosen Tengah-Miosen Akhir (N14-N16) secara tidak selaras diendapkan Satuan Batugamping Formasi Wonosari di atas Formasi Wuni dengan ketebalan 250m pada kedalaman 30-120 mdpl/ neritik tengah.

Pada kala Miosen Akhir-Pliosen di daerah penelitian tidak dijumpai batuan yang berumur Miosen Akhir-Pliosen, ini dapat dikatakan bahwa pada saat itu telah terjadi orogenesis. Akibat dari orogenesis ini, terjadi pengangkatan, perlipatan dan sesar-sesar. Terlihat pada peta geologi terdapat struktur lipatan di daerah penelitian yaitu Antiklin Mendolo Lor, Sinklin Ploso. Kemudian terbentuk Sesar Mendatar Ploso. Pada Kala Resen seiring berjalannya waktu maka terjadilah proses pelapukan serta proses erosi yang menghasilkan morfologi berupa suatu lembah. 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 (Yahya, Lukman; Mustafa, 2018) (Haryono & Adji, 2004).

2.2 Karst

Karst merupakan suatu daratan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik, dimana batuan penyusun kawasan karst didominasi oleh batuan karbonat yang terdiri dari batu kapur dan dolomit (Ford & Williams, 2007) (Weight, 2008). Karst secara umum dicirikan oleh terdapatnya cekungan tertutup dan atau lembah kering dalam berbagai ukuran dan bentuk, langkanya atau tidak terdapatnya drainase/sungai permukaan, dan terdapatnya goa dari sistem drainase bawah tanah. Proses pembentukan bentuk lahan karst ini didominasi oleh proses pelarutan yang biasanya disebut dengan karstifikasi. Karstifikasi dipengaruhi oleh dua kelompok faktor, faktor pengontrol dan faktor pendorong. Faktor Faktor pengontrol menentukan dapat tidaknya proses karstifikasi berlangsung, sedangkan sendangkan faktor pendorong menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi. Adapun faktor pengontrol proses ini antara lain : Batuan mudah larut, kompak, tebal, dan mempunyai banyak rekahan; Curah hujan yang cukup (>250 mm/tahun); Batuan terekspos di ketinggian yang memung- kinkan perkembangan sirkulasi air/drainase secara vertikal. Sedangkan faktor pendorongnya yaitu temperatur dan penutupan hutan.

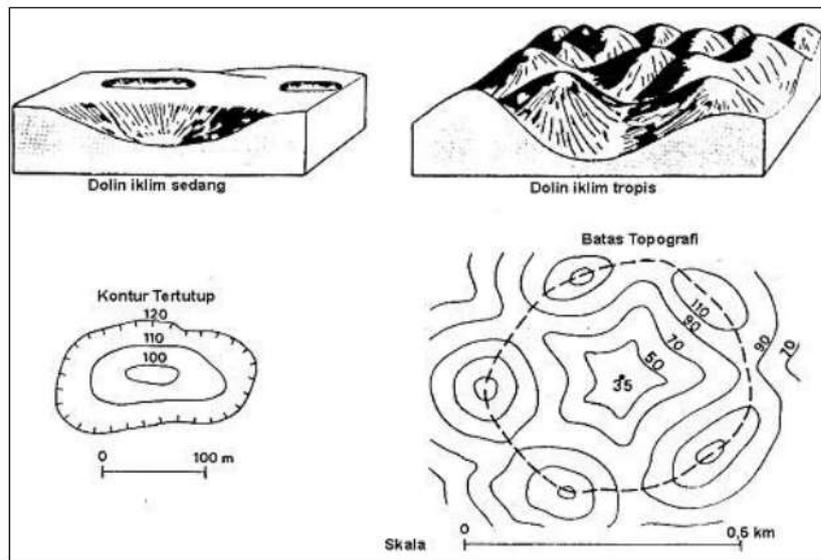
2.2.1 Morfologi Karst

Bentuk morfologi karst dapat dibagi menjadi morfologi positif dan morfologi negatif. Morfologi negatif dapat berupa: *doline*, lembah karst, ponor, *polje*, *Karren*. Sedangkan morfologi positif yang dapat ditemui di kawasan karst adalah bukit karst yang berbentuk kerucut karst, menara karst, dan *pinnacle*.

2.2.1.1 Morfologi Negatif

a. *Doline*

Doline didefinisikan oleh White (1988) sebagai cekungan yang relatif dangkal, berbentuk seperti mangkuk yang memiliki diameter antara beberapa meter hingga 1000 meter, dan kedalamannya dapat mencapai ratusan meter. Sedangkan (Ford & Williams, 2007) menambahkan, sisi-sisi/dinding *doline* memiliki kemiringan yang landai hingga curam dengan ketinggian beberapa meter hingga ratusan meter. *Doline* di daerah tropis sering membentuk *cockpit*, yaitu bentukan cekungan tertutup yang dibatasi medan berbukit (dibatasi oleh *Topografi*).



Gambar 2.3 Perbedaan bentuk dan batasan *doline* di daerah beriklim tropis dan sedang (Sumber : Fords & Williams, 1969).

Berdasarkan morfologi penampang melintangnya, *doline* oleh Cvijic dalam (Haryono & Adji, 2004) dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu *doline* bentuk mangkuk, corong, dan sumuran. *Doline* mangkuk memiliki perbandingan antara lebar dan kedalaman sekitar 10 : 1, kemiringan lereng berkisar 100 – 120, dengan dasar yang relatif rata dan tertutup oleh sedimen. *Doline* tipe corong memiliki perbandingan diameter dengan kedalaman sekitar 3 : 1, kemiringan lereng berkisar 300 - 400, dan memiliki dasar sempit yang tertutup oleh sedimen atau singkapan batuan. *Doline* sumuran biasanya diidentifikasi dengan perbandingan diameternya yang lebih kecil dari kedalamannya.

b. Lembah Karst

Lembah karst adalah lembah di kawasan karst yang terbentuk oleh kombinasi antara proses fluvial dan pelarutan dan diklasifikasikan menjadi lembah alogenik, lembah buta, lembah kering dan lembah saku. Lembah alogenik terbentuk akibat aliran sungai yang berhulu berhulu di daerah bukan karst mengalir dan memotong kawasan karst; lembah buta yaitu lembah yang aliran airnya menghilang ke dalam sungai bawah tanah melalui ponor atau saluran hasil pelebaran bidang kekar atau sesar; lembah saku terbentuk ketika sistem aliran bawah tanah di kawasan karst muncul ke permukaan di bagian hulu dari sebuah lembah; sedangkan lembah kering yaitu lembah di kawasan karst yang kering dan hanya teraliri ketika terjadi banjir.

c. Ponor

Lubang pada kawasan karst yang menjadi pintu masuk air permukaan ke dalam tanah/batuan.

d. *Polje*

Istilah yang digunakan untuk menyebut cekungan luas dan memiliki dasar/lantai yang relatif datar di kawasan karst.

e. *Karren*

Lubang, parit, atau saluran berukuran kecil hasil pelarutan yang ada baik di permukaan maupun di di bawah permukaan (Ford & Williams, 2007).

2.2.1.2 Morfologi Positif

a. Kerucut dan Menara Karst

Karakteristik khas kawasan karst beriklim tropis adalah adanya bukit-bukit karst atau menara karst, baik yang sisi-sisinya vertikal atau yang mendekati vertikal. Sela antar bukit kerucut membentuk cekungan dengan bentuk seperti bintang yang dikenal dengan cockpit. Cockpit seringkali membentuk pola kelurusan sebagai akibat kontrol kekar atau sesar. Kerucut karst di Indonesia yang cukup populer dapat ditemukan di kawasan karst Pegunungan Sewu, di Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

b. *Pinnacle*

Merupakan bentukan morfologi karst yang berupa pilar-pilar tajam hasil pelarutan sepanjang join dan kekar dari batu gamping, tingginya dapat mencapai puluhan meter dari lahan di sekitarnya.

2.2.2 Klasifikasi Karst

Klasifikasi karst secara umum dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok, yaitu : 1) klasifikasi yang didasarkan pada perkembangan (*Cvijic*), 2) klasifikasi *Gvozdeckij*, dan 3) klasifikasi yang didasarkan pada iklim (*Sawicki, Lehmann, Sweeting*). Berikut ini merupakan beberapa klasifikasi karst yang relevan dengan morfologi karst di daerah penelitian.

2.2.2.1 Klasifikasi yang didasarkan pada perkembangan (*Cvijic*)

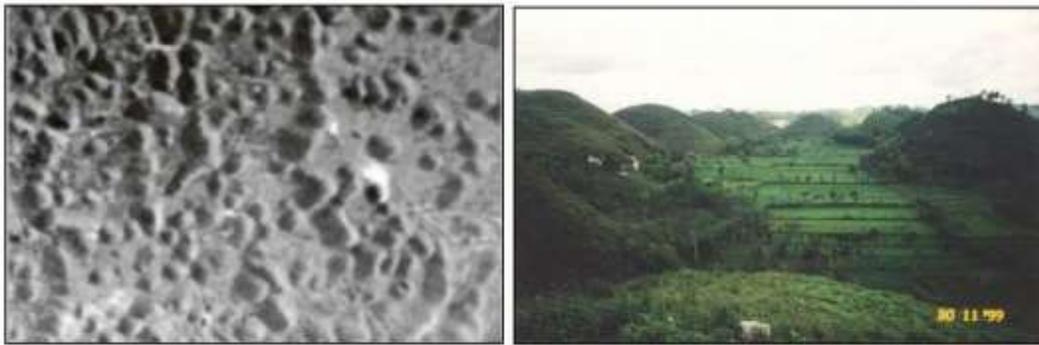
Daerah penelitian termasuk dalam tipe holokarst. Tipe ini merupakan karst dengan perkembangan paling sempurna, baik dari sudut pandang bentuklahannya maupun hidrologi bawah permukaannya.

2.2.2.2 Klasifikasi *Gvozdeckij*

Daerah penelitian termasuk dalam *Tropical karst of cone karst*, yaitu karst yang terbentuk di daerah tropis.

2.2.2.3 Klasifikasi yang didasarkan pada iklim (*Sawicki, Lehmann, Sweeting*)

Daerah penelitian termasuk dalam tropikal karst yaitu Kegelkarst. Kegelkarst dicirikan oleh kumpulan bukit-bukit berbentuk kerucut yang sambung menyambung. Sela antar bukit kerucut membentuk cekungan dengan bentuk seperti bintang yang dikenal dengan *kockpit*. *Kockpit* seringkali membentuk pola kelurusan sebagai akibat kontrol kekar atau sesar. Depresi atau *kockpit* yang terkontrol kekar atau sesar ini oleh Lemann disebut *gerichteter karst (karst oriente)*.

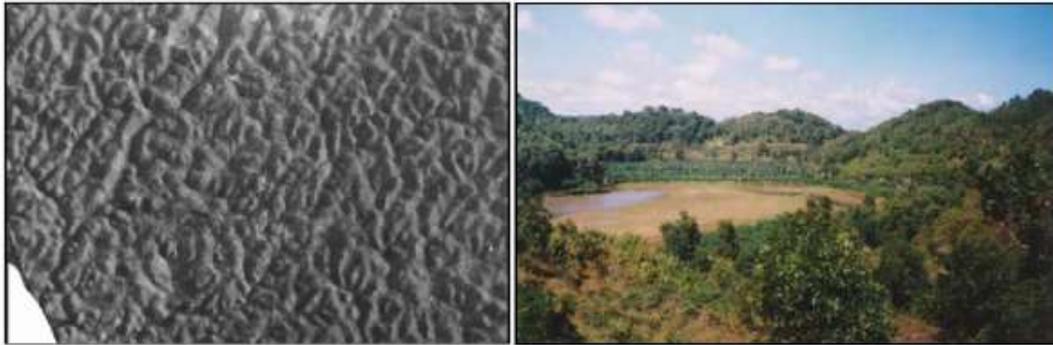


Gambar 2.4 Kenampakan Kegelkarst Gunungsewu dari foto udara dan lapangan (Sumber : Haryono & Adji, 2004).

Beberapa klasifikasi tipe karst yang sering digunakan dan sering muncul di literatur karst antara lain karst labirin dan karst poligonal. Karst labirin merupakan karst yang dicirikan oleh koridor-koridor atau ngarai memanjang yang terkontrol oleh kekar atau sesar. Morfologi karst tersusun oleh blok-blok Batugamping yang dipisahkan satu sama lain oleh ngarai/koridor karst (Gambar 2.5). Karst tipe ini terbentuk karena pelarutan yang jauh lebih intensif di jalur patahan (Haryono & Adji, 2004). Karst poligonal merupakan penamaan yang didasarkan dari sudut pandang morfometri dolina. Karst tipe ini dapat berupa karst kerucut maupun karst menara. Karst dikatakan poligonal apabila rasio luas dolina dengan luas batuan karbonat mendekati satu atau satu, (Ford & Williams, 2007) dengan kata lain semua batuan 14 karbonat telah berubah menjadi kumpulan dolina-dolina dan dolina telah bersambung satu dengan lainnya (Gambar 2.6)



Gambar 2.5 Kenampakan karst labirin (Sumber : Haryono & Adji, 2017)



Gambar 2.6 Kenampakan karst poligonal (Sumber : Haryono & Adji, 2017)

2.3 Akuifer Karst

Akuifer biasanya diartikan sebagai media berpori (massa batuan) yang dapat menyimpan, mengirimkan, dan mengeluarkan sejumlah besar air yang cukup untuk diamati dan dinilai secara ekonomis untuk memenuhi permintaan konsumen. Jika kuantitas air tanah di dalam media batuan terlalu kecil, sebagai pengganti "akuifer", digunakan istilah "*akuitart*" dan "*akuifuge*". Dalam kaitannya dengan karst, akuifer hampir selalu dibahas meskipun terdapat banyak batuan karbonat kompak dengan permeabilitas rendah. Akhirnya, atribut "sistem" menunjukkan kompleksitas dan fungsionalitas dari suatu akuifer karst (Stevanović, 2015).

2.3.1 Klasifikasi Akuifer Karst

Akuifer karst dapat diklasifikasi berdasarkan beberapa kriteria diantaranya;

2.3.1.1 Sesuai dengan debit dan sesuai dengan jumlah air yang ditransmisikan dan disimpan

Berdasarkan debit dan sesuai dengan jumlah air yang ditransmisikan dan disimpan, akuifer karst diklasifikasi menjadi :

- a. Akuifer karst dengan produktivitas tinggi.
- b. Akuifer karst dengan produktivitas sedang.
- c. Akuifer karst dengan produktivitas rendah sampai sedang

2.3.1.2 Menurut jenis batuan dominan penyusunnya

Berdasarkan jenis batuan dominan penyusunnya akuifer karst diklasifikasikan menjadi : a. *Carbonate karst aquifer*; b. *Dolomitic karst aquifer*; c. *Marble karst aquifer*; d. *Chalky karst aquifer*; e. *Anhydritic karst aquifer*; f. *Gypsum karst aquifer*; g. *Halitic karst aquifer* (Stevanović, 2015).

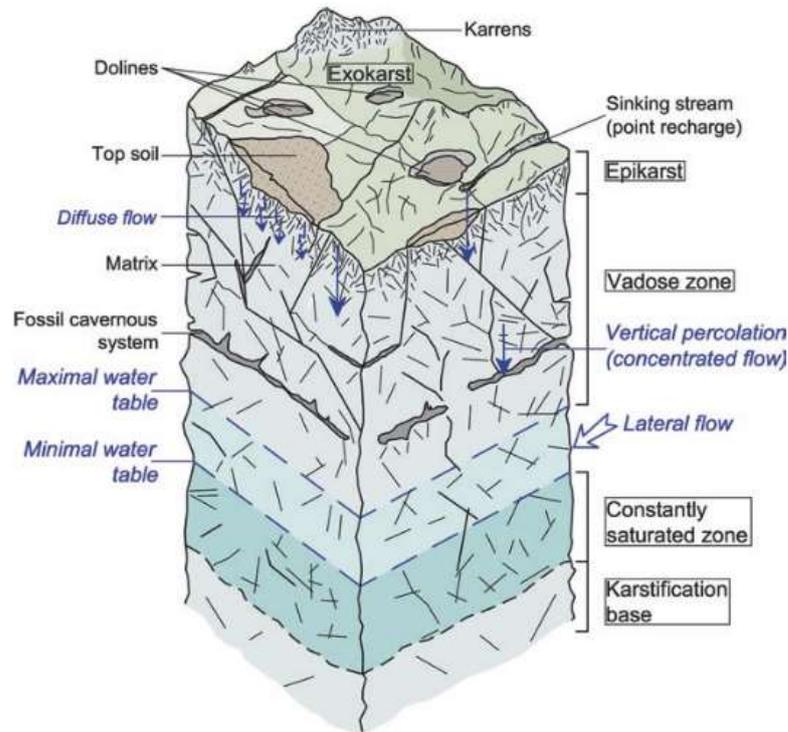
2.3.1.3 Berdasarkan struktur dan sifat hidrodinamik,

Berdasarkan struktur dan sifat hidrodinamik akuifer karst diklasifikasikan menjadi :

- a. Akuifer karst tidak terbatas (*Unconfined karstic aquifer*).
- b. Akuifer karst terbatas (*Confined karstic aquifer*).
- c. Akuifer karst semi-terbatas (*Semi-confined karstic aquifer*) (Stevanović, 2015).

2.3.2 Bentuk dan Unsur Akuifer Karst

Secara umum akuifer karst dibedakan menjadi beberapa bagian, seperti: batas atas permukaan (eksokarst), epikarst, zona vadosa, zona jenuh dan dasar karstifikasi (Stevanović, 2015). Secara lebih jelas unsur akuifer karst pada susunan skematisiknya dapat dilihat pada Gambar 3. Pertama, permukaan atas atau eksokarst dapat mengandung beberapa ciri, ciri-ciri tersebut memiliki peran yang sangat penting dalam proses infiltrasi air hujan ke dalam akuifer. Kemudian di dasar eksokarst terdapat epikarst, yaitu bagian terluar dari sistem karst yang terdapat di puncak zona vadose, sebagian jenuh dengan air, menghemat sejumlah besar air dan meneruskan infiltrasi air hujan ke bagian yang lebih dalam. yang merupakan zona jenuh akuifer karst.



Gambar 2.7 Model akuifer karst tidak terbatas (*Unconfined karstic aquifer*)

(Sumber : Stevanović, 2015)

Selanjutnya adalah zona *vadose* yang letaknya lebih dalam yaitu zona transisi akuifer karst. Secara vertikal, ujung zona *vadose* akan berakhir dengan batas muka airtanah. Zona *vadose* sering juga disebut sebagai zona aerasi atau zona tidak jenuh air. Itu karena pori-pori batuan di zona *vadose* seringkali hanya mengandung udara. Air yang terinfiltrasi akan mengalir melalui matriks batuan, celah-celah dan gua-gua di bawah permukaan. Menurut Parizek (1976), dalam Stevanović, (2015) arah aliran air akan sejajar dengan patahan atau patahan utama yang terdapat pada badan batuan (Stevanović, 2015).

Zona jenuh air merupakan akuifer utama lapisan, di mana air akan disimpan dalam rentang waktu yang lama. Ketebalan zona jenuh bergantung pada beberapa faktor seperti imbuan air, permeabilitas, penyimpanan, posisi dan ukuran titik pelepasan, *head* hidrolis, strike dip lapisan batuan dan pengisian ulang buatan. Basis karstifikasi yang disebutkan sebelumnya adalah dasar akuifer karst atau ujung

zona jenuh air. Sulit untuk menemukan posisi dasar karstifikasi dan membutuhkan proses yang panjang dalam penentuannya (Stevanović, 2015).

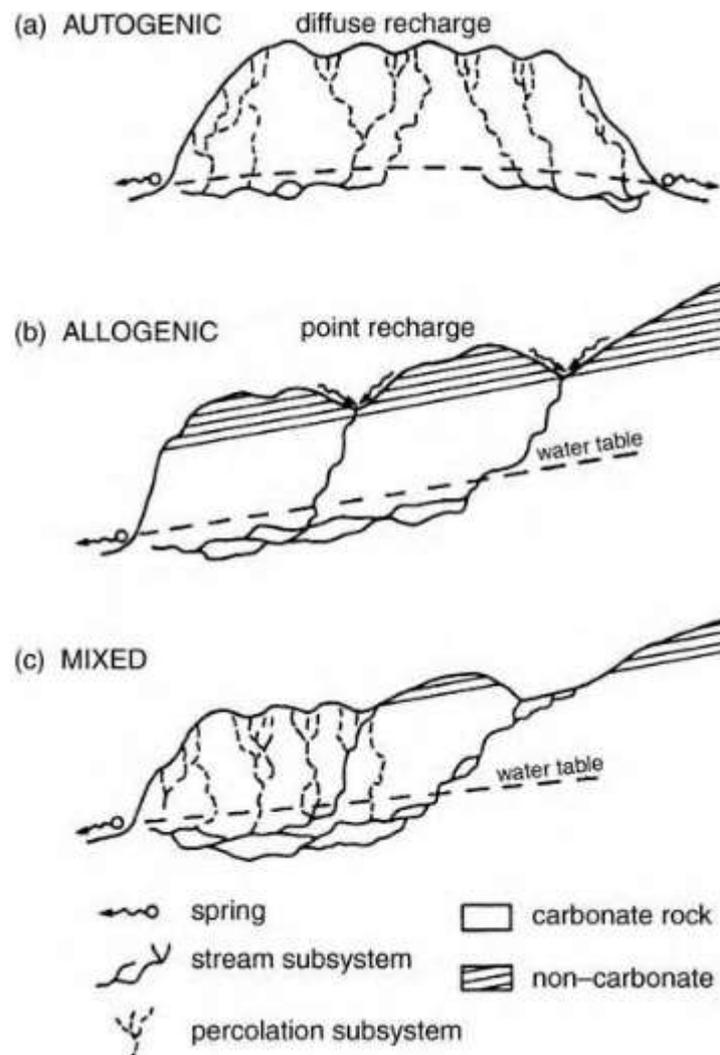
2.4 Hidrologi dan Hidrogeologi Karst

Pada daerah *non*-karst, dengan mudah kita dapat membedakan antara system hidrologi permukaan dan bawah permukaan. Secara sederhana, konsep Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat dianggap sebagai unit untuk mengkaji sistem hidrologi baik itu permukaan maupun bawah permukaan. Sebaliknya, konsep DAS aliran permukaan di daerah karst sulit dikenali karena lebih berkembangnya bawah permukaan. Sistem hidrologi karst dikontrol oleh sistem pelorongan yang dibentuk oleh proses pelarutan batuan, sehingga sangat berbeda dengan sistem hidrologi yang terdapat pada media porus yang dikontrol oleh ruang antar butir batuan. Karst sebagai suatu sistem mempunyai heterogenitas yang tinggi dan anisotropis (Atkinson, 1985; Goldscheider, 2005 dalam (Haryono, 2016). Kenyataan yang ada adalah banyaknya lorong-lorong hasil proses solusional dan sangat sedikitnya aliran permukaan. Jankowski (2001) dalam (Haryono & Adji, 2004) mengatakan bahwa terdapat tiga komponen utama pada sistem hidrologi karst, yaitu : akuifer, sistem hidrologi permukaan, dan sistem hidrologi bawah permukaan.

Sistem aliran di kawasan karst oleh White (1988) dikelompokkan menjadi dua, yakni aliran yang didominasi oleh ruang antar butir batuan (*diffuse*) dan aliran yang didominasi oleh lorong-lorong pelarutan (*conduit*). Namun demikian, beberapa ahli menambahkan jenis aliran yang didominasi oleh sistem rekahan. Aliran *diffuse* memiliki sifat penyimpanan air yang baik, karena aliran pada ruang antar butir mengalir dengan lambat. Jenis aliran ini yang akan berkontribusi paling besar dalam mensuplai aliran pada mata air dan sungai bawah tanah pada musim kemarau. Aliran *conduit* memiliki kecepatan aliran yang tinggi, sehingga memiliki fungsi sebagai pengatur. Jenis aliran ini adalah aliran yang berkontribusi besar pada kejadian banjir pada mata air dan sungai bawah tanah.

Sistem drainase kawasan karst menurut (Ford & Williams, 2007) dapat dibedakan menjadi dua zona, yaitu zona epikarst dan zona endokarst. Zona epikarst merupakan bagian atas lapisan batuan di kawasan karst yang mengalami proses pelarutan intensif. Zona epikarst ini dapat dibedakan lagi menjadi dua bagian, yaitu

(1) bagian bawah permukaan (*cutaneous zone*) serta (2) bagian *regolith* dan bagian yang mengalami pelebaran rekahan akibat pelarutan (*subcutaneous zone*). Zona endokarst dibedakan menjadi zona yang tidak jenuh (*vadose zone*) dan zona jenuh air (*phreatic zone*).



Gambar 2.8 Tiga komponen daerah tangkapan air kawasan karst yaitu Autogenik, Alogenik, dan Campuran (Sumber : Ford & Williams, 2007)

White (1988) menjelaskan sistem aliran internal pada akuifer karst, di bagian atas (permukaan tanah), diasumsikan memiliki tiga komponen daerah tangkapan air, yaitu: kawasan karst (*autogenic*), kawasan *non*-karst yang berdekatan (aliran *allogenic*), dan masukan dari bagian atas kawasan karst (sungai

masuk/tertelan) atau masukan langsung secara vertikal. Hujan yang jatuh di permukaan tanah kawasan karst sebagian akan mengalami penguapan, dan sisanya akan masuk ke sistem akuifer karst sebagai *allogenic runoff*, *internal runoff* dan *diffuse infiltration* (Gambar 2.7). Hujan yang jatuh harus menjenuhkan tanah dan zona rekahan (epikarst) sebelum masuk ke zona aerasi. Sungai yang tertelan dan masuk melalui ponor pada *doline*/lembah biasanya langsung membentuk lorong (*conduit*) dan dapat berkembang menjadi saluran terbuka. Selain itu, air yang dialirkan dari daerah tangkapan hujan di atas kawasan karst akan menuju zona aerasi melalui lorong-lorong vertikal (luweng). Akhirnya, aliran tersebut bergabung dengan lorong *conduit* (sungai bawah tanah) dari masukan lain dan/atau ada juga yang menjadi mataair.

Karakteristik hidrogeologi akuifer karst menurut (Navarro, 2013) diantaranya ;

- a. Infiltrasi *diffuse* atau terkonsentrasi, dari singkapan permeabel (*autogenic recharge*) atau dari material permeabilitas rendah yang berdekatan (*allogenic recharge*).
- b. Heterogenitas spasial dan anisotropi yang ditandai dalam distribusi parameter hidraulik karakteristiknya
- c. Aliran air mungkin lambat (melalui celah) atau cepat (melalui saluran)
- d. Hubungan hidrologi yang baik antara fitur eco karst dan drainase airtanah menuju titik-titik pembuangan.

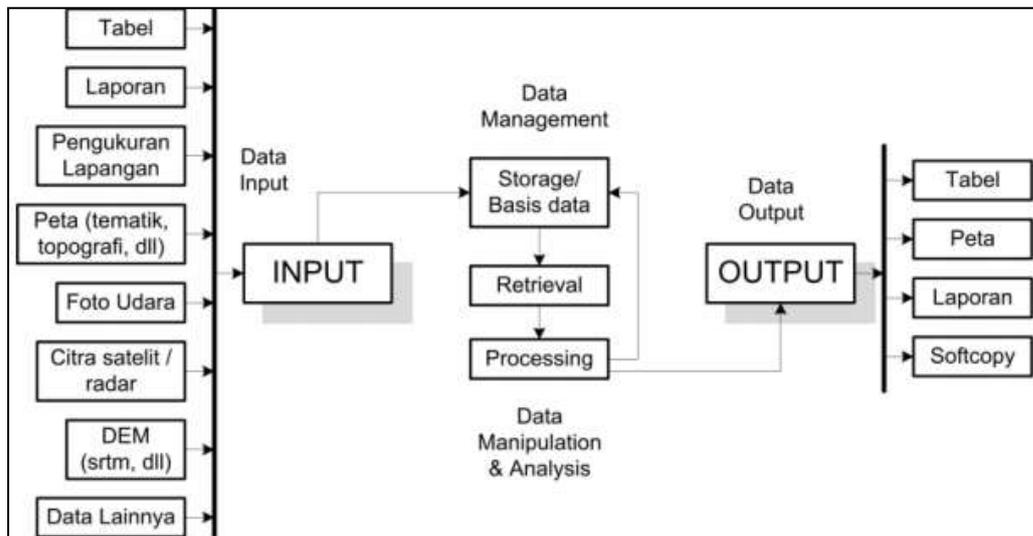
2.4.1 Hidrologi dan Hidrogeologi di Daerah Penelitian

Kondisi hidrologi kawasan karst Gunungsewu secara umum tidak jauh berbeda dengan kawasan karst umumnya. Sistem aliran air utama adalah melalui saluran yang membentuk jaringan sungai bawah tanah. Akuifer kawasan karst ditandai oleh porositas sekunder yang diatur oleh pembesaran lorong-lorong hasil proses pelarutan. Namun demikian, variasi secara lokal masih dapat dibedakan berdasarkan pada struktur geologi dan variasi litologi. Kawasan Karst Gunungsewu dapat dibagi menjadi lima unit Hidrogeologi, yaitu (1) Sub sistem Panggang; (2) Sub-sistem Bribin-Baron-Seropan, (3) Sub-sistem Ponjong, (4) Sub Sistem Pracimantoro dan Giritontro dan (5) Sub-Sistem Donorojo-Pringkuku.

Daerah penelitian berada pada Sub-Sistem Donorojo-Pringkuku. Sub-sistem Donorojo-Pringkuku menunjukkan aliran airtanah selatan secara keseluruhan, meskipun secara rinci dikendalikan oleh sistem joint-fault berarah timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Airtanah secara bertahap semakin dalam ke selatan dan memasuki inti wilayah yang terkarstifikasi. Secara umum batuan dari batuan gamping di sub sistem ini lebih dangkal daripada di bagian tengah kawasan Karst Gunungsewu. Fenomena ini mengakibatkan muka airtanah yang dangkal di mana di beberapa daerah muncul sebagai sumber mataair sungai. Imbuhan allogenic di sub-sistem ini juga bisa dikenali, namun sebagian besar berupa permukaan sungai. Sungai utama di daerah ini adalah Sungai Kladen (Baksoka) di mana hulu terdiri dari batuan vulkanik (Cahyadi dkk., 2017). Sungai bawah permukaan ditemukan di daerah Pringkuku dan diduga memiliki arah Timur Laut – Barat Daya (A. S. Bahri dkk., 2021).

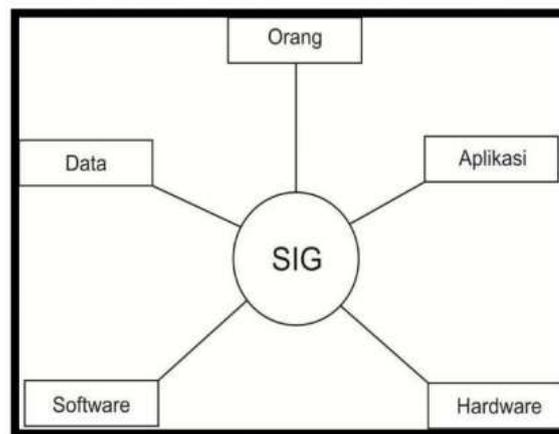
2.5 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan komputer yang berbasis pada sistem informasi yang digunakan untuk memberikan bentuk digital dan analisa terhadap permukaan geografi bumi. Secara harafiah, SIG dapat diartikan sebagai suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumberdaya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk menangkap, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Puntodewo, dkk 2003).



Gambar 2.9 Ilustrasi uraian sub-sistem GIS (Sumber : Prahasta, 2009)

Untuk mengoperasikan SIG membutuhkan komponen-komponen SIG berupa perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), data, aplikasi dan manusia (*brainware*). Komponen - komponen SIG dapat ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 2.10 Komponen-komponen SIG (Sumber : Prahasta, 2009)

Keterangan :

1. Orang, Orang yang menjalankan sistem meliputi mengoperasikan, mengembangkan bahkan memperoleh manfaat dari sistem.
2. Aplikasi, Aplikasi merupakan kumpulan dari prosedur-prosedur yang digunakan untuk mengolah data menjadi informasi.

3. *Data*, Data yang digunakan dalam SIG dapat berupa data spasial yang merupakan representasi fenomena permukaan bumi yang berupa peta, foto udara dan citra satelit.
4. *Software*, Perangkat lunak SIG adalah program komputer yang dibuat khusus dan memiliki kemampuan pengelolaan, penyimpanan, pemrosesan, analisis dan penayangan data spasial.
5. *Hardware*, Perangkat keras ini berupa seperangkat komputer yang dapat mendukung pengoperasian perangkat lunak yang dipergunakan.

Menurut Keele dalam (Handayani 2005) karakteristik utama sistem informasi geografi adalah kemampuan menganalisis sistem seperti analisa statistik dan *overlay* yang disebut analisa spasial. Menurut Prahasta (2009), fungsi dari analisis spasial yaitu sebagai berikut :

1. *Reclassify* (klasifikasi)

Fungsi ini mengklasifikasikan kembali suatu data spasial (atau atribut) menjadi data spasial yang baru dengan menggunakan kriteria tertentu. Misalnya dengan menggunakan data spasial ketinggian permukaan bumi (*Topografi*), dapat diturunkan data spasial kemiringan atau gradien permukaan bumi yang dinyatakan dalam persentase nilai-nilai kemiringan.

2. *Overlay* (tumpang susun)

Fungsi ini menghasilkan data spasial baru dari minimal dua data spasial yang rnenjadi masukannya.

3. *Network* (jaringan)

Fungsi ini merujuk data spasial titik-titik (*point*) atau garis-garis (*lines*) sebagai suatu jaringan yang tidak terpisahkan.

4. *Buffering*

Fungsi ini akan menghasilkan data spasial baru yang berbentuk poligon atau zone dengan jarak tertentu dari data spasial yang menjadi masukannya.

5. *3D Analysis*

Fungsi ini terdiri dari sub-sub fungsi yang berhubungan dengan presentasi data spasial dalam ruang 3 dimensi. Fungsi analisis spasial ini banyak menggunakan fungsi interpolasi.

6. *Digital Image Processing*

Fungsi ini dimiliki oleh perangkat SIG yang berbasis raster. Karena data spasial permukaan bumi (citra digital) banyak didapat dari perekaman data satelit yang berformat raster, maka banyak SIG raster yang juga dilengkapi dengan fungsi analisis ini.

Masih banyak fungsi-fungsi analisis spasial lainnya yang umum dan secara rutin digunakan di dalam SIG. Dari uraian di atas diketahui bahwa SIG bukan sekedar sebagai tools pembuat peta.

2.5.1 Metode APLIS

APLIS merupakan singkatan dari lima variabel yang digunakan dalam Bahasa Spanyol. Lima variabel yang digunakan dalam metode APLIS meliputi; *Altitud* (ketinggian), *Pendiente* (kemiringan lereng), *Litologia* (litologi), *Infiltracion preferencial* (zona infiltrasi), dan *Suelo* (tanah). APLIS adalah salah satu metode empiris yang paling banyak digunakan (Andreo et al. 2008; Mari'n 2009), dimana metode ini dirancang untuk aplikasi akuifer karbonat. APLIS memungkinkan untuk memperkirakan imbuan akuifer airtanah rata-rata (R) dalam akuifer karbonat, yang dinyatakan sebagai persentase, berdasarkan geodata yang tersedia secara umum dari variabel ketinggian (*altitude*) (A), kemiringan lereng (*Slope*) (P), litologi (*Lithology*) (L), bentuk lahan infiltrasi (*infiltration landforms*) (I) dan jenis tanah (*Soil type*) (S). Metode APLIS sangat memungkinkan untuk : memperkirakan rata-rata imbuan akuifer airtanah di akuifer karbonat, berdasarkan variabel intrinsik akuifer; memetakan distribusi spasialnya, aspek ini fundamental untuk pengelolaan dan perlindungan air tanah yang tepat, baik dari segi kuantitas maupun kualitasnya; dan dapat memperkirakan sumber daya tahunan rata-rata (Andreo dkk., 2008).

Imbuan airtanah dari suatu akuifer dapat dihitung dengan memasukkan layer informasi dari setiap variabel ke dalam perangkat lunak SIG menggunakan Persamaan 2.1 di bawah ini, yang juga dikenal sebagai indeks APLIS (Andreo et al. 2008).

$$R = (A+P+(3\times L)+(2\times I)+S)/0.9 \quad (2.1)$$

Dalam persamaan ini, R mewakili imbuhan akuifer airtanah (%), A: ketinggian, P: kemiringan lereng, L: litologi, I: zona infiltrasi, dan S: jenis tanah. Bobot masing-masing variabel dalam persamaan menunjukkan pentingnya mereka dalam menentukan imbuhan akuifer airtanah (Duran et al. 2004). Jadi, variabel litologi tiga kali lebih efektif daripada variabel ketinggian (di atas permukaan laut), kemiringan lereng, dan jenis tanah, sedangkan variabel zona infiltrasi di daerah dua kali lebih efektif daripada variabel yang telah disebutkan (Alem dkk., 2017).

Tabel 2.1 Penilaian untuk variabel: ketinggian, kemiringan, litologi, bentuk lahan infiltrasi, jenis tanah

Variabel	Klasifikasi	Skor
Ketinggian (Altitude (mdpl))	≤ 300	1
	(300 – 600]	2
	(600 – 900]	3
	(900 – 1,200]	4
	(1,200 – 1,500]	5
	(1,500 – 1,800]	6
	(1,800 – 2,100]	7
	(2,100 – 2,400]	8
	(2,400 – 2,700]	9
	$> 2,700$	10
Kemiringan Lereng (Slope (%))	≤ 3	10
	(3 – 8]	9
	(8 – 16]	8
	(16 – 21]	7
	(21 – 31]	6

	(31 – 46]	5
	(46 – 76]	4
	(76 – 100]	3
	> 100	2
Litologi (<i>Lithology</i>)	Batugamping dan dolomit terkarstifikasi (<i>Limestone and karstified dolomite</i>)	10-9
	Batugamping dan dolomit rekahan, terkarstifikasi sedang (<i>Limestones and dolostones fractured, slighted karstified</i>)	7-8
	Batugamping dan dolomit bercelah (<i>Limestones and dolostones fissure</i>)	5-6
	Kerikil dan Pasir (<i>Gravels and sands</i>)	4
	Napal, breksi dan konglomerat (<i>Marl, breccia and conglomerates</i>)	3
	Batuan plutonik dan metamorf (<i>Plutonic and metamorphic rocks</i>)	2
	Serpih, lanau, dan lempung (<i>Shales, silts, clays</i>)	1
Zona infiltrasi	<i>Many infiltration landforms</i>	10
	<i>Scarce infiltration landforms</i>	1
Tanah (<i>Soil</i>)	<i>Leptosols, Lithosols</i>	10
	<i>Albic arenosols dan Calcic xerosols</i>	9
	<i>Rendzina, Calcareous regosols, dan Fluvisols</i>	8
	<i>Eutric dan Distric regosols, dan Solonhacks</i>	7
	<i>Calcic cambisols</i>	6
	<i>Eutric cambisols</i>	5
	<i>Eutric histosols, Orthic, dan Calcic luvisols</i>	4
	<i>Chromic luvisols</i>	3
	<i>Planosols</i>	2
	<i>Chromic Vertisols</i>	1

Sumber : Andreo dkk., 2008; Yogafanny dkk., 2020

Tabel 2.2 Klasifikasi zona potensi airtanah dengan metode APLIS

Nilai imbuhan akuifer airtanah (%)	Klasifikasi
≤ 20	Sangat rendah
20 - 40	Rendah
40 - 60	Sedang
60 - 80	Tinggi
> 80	Sangat Tinggi

Sumber : Andreo dkk., 2008

Kemudian untuk memperkirakan koefisien imbuhan akuifer airtanah (R) ada sepuluh peringkat atau skor untuk setiap parameter yaitu skor 1 (sebagai skor dengan pengaruh terendah) hingga 10 (sebagai skor dengan pengaruh tertinggi) dimana setiap bagian parameter sebanding dengan tingkat pengaruh pada imbuhan akuifer seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1. Hasil dari zona potensi akuifer airtanah menggunakan metode ini memiliki 5 klasifikasi kelas yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 di atas.

2.6 Metode Geolistrik

Investigasi pada akuifer karst dapat dibantu dengan metode geofisika. Metode geofisika ini mensyaratkan adanya variasi vertikal dan horizontal dari sifat fisik perlapisan batuan di bawah permukaan bumi. Jika ada ketidakselarasan (*discontinuities*) sifat fisik perlapisan batuan, logikanya pasti terdapat perbedaan geologi. Metode geofisika yang paling sering digunakan untuk mengevaluasi kondisi hidrologi akuifer karst adalah metode geolistrik/resistivitas. Metode ini mempunyai prinsip bahwa arus listrik yang dialirkan ke bawah permukaan bumi akan terpengaruh oleh nilai tahanan jenis batuan (*resistivity*) yang bervariasi menurut pori-pori batuan, sifat dan karakteristiknya termasuk yang ada pada akuifer karst. (Ford & Williams, 2007) mengatakan bahwa metode geolistrik/resistivitas ini telah terbukti untuk dapat mendeskripsikan variasi vertikal dari akuifer karst karena metode ini dapat membedakan adanya batuan karbonat yang kompak, yang jenuh

air, maupun yang tidak. Memang tidak dapat dipungkiri bahwa terkadang metode ini meleset untuk dapat secara presisi menentukan lokasi yang mengandung airtanah karst dalam jumlah yang cukup.

Metode geolistrik/resistivitas merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Metode geolistrik/resistivitas digunakan untuk memperkirakan sifat kelistrikan pada formasi batuan di bawah permukaan. Prinsip pengukuran metode geolistrik/resistivitas yang dilakukan secara aktif, yaitu dengan cara menginjeksikan arus listrik ke permukaan tanah melalui sepasang elektroda dan mengukur beda potensial dengan sepasang elektroda yang lain. Jika nilai beda potensial telah didapat maka nilai hambatan dari medium (tanah) tersebut dapat diketahui (Kneisel, 2006).

Prinsip pelaksanaan survei geolistrik/resistivitas adalah mengalirkan arus listrik searah ke dalam bumi melalui dua elektroda arus yang ditancapkan pada dua titik permukaan tanah dan kemudian mengukur respon beda potensial yang terjadi antara dua titik yang lain di permukaan bumi dimana dua elektroda potensial ditempatkan dalam suatu susunan tertentu. Data pengukuran yang didapat yakni beda potensial dan kuat arus, dan akan diperoleh harga resistivitas semu untuk setiap spasi elektroda yang dibentangkan.

Berdasarkan hukum Ohm, besar beda potensial suatu benda bergantung pada nilai kuat arus I dan hambatan listrik R dengan persamaan:

$$V=I.R \qquad (2.2)$$

Pengukuran resistivitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti homogenitas batuan, kandungan air, porositas, permeabilitas dan kandungan mineral. Resistivitas (tahanan jenis) merupakan suatu besaran yang menunjukkan tingkat hambatan terhadap arus listrik dari suatu bahan, yang diberi simbol ρ . Hambatan listrik R suatu bahan berbanding lurus dengan panjang penghantar L berbanding terbalik dengan luas penampang A (Reynolds, 2011).

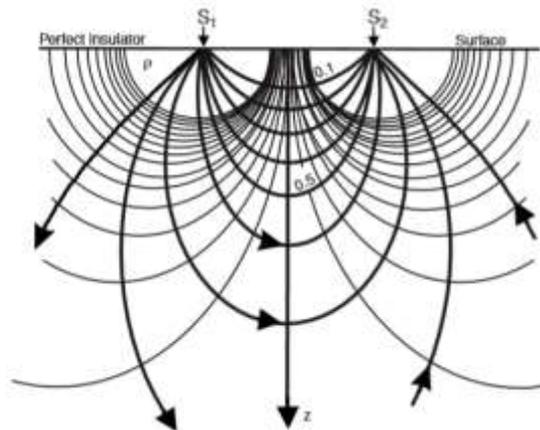
Harga tahanan jenis batuan diperoleh dari persamaan berikut:

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

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

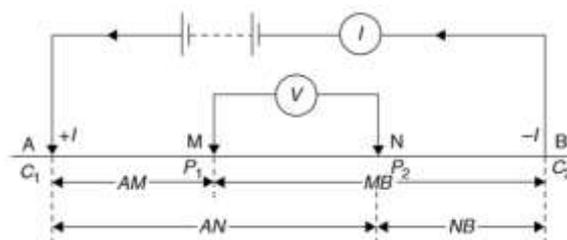
$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.4)$$

Lapisan bawah permukaan bumi diasumsikan homogen isotropis sehingga arus membentuk bidang ekuipotensial berbentuk setengah bola (Telford, 1990). Apabila arus diinjeksi melalui dua titik akan menghasilkan distribusi potensial seperti yang ditunjukkan Gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Arus dan ekuipotensial hasil injeksi (Sumber : Reynolds, 2011)

Pengukuran yang dilakukan di lapangan digunakan dua elektroda yang berfungsi untuk mengalirkan arus (C1 dan C2) dan beda potensialnya diukur antara dua titik dengan menggunakan dua elektroda potensial (P1 dan P2). Dari Gambar 2.12 diperoleh persamaan untuk elektroda arus ganda (dua titik) pada permukaan medium. Potensial di titik P1 dan P2 adalah



Gambar 2.12 Prinsip pengukuran metode geolistrik/resistivitas (Sumber : Reynolds, 2011)

$$\begin{aligned}
V_{P1} &= \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \\
V_{P2} &= \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)
\end{aligned}
\tag{2.5}$$

sehingga beda potensialnya adalah

$$\begin{aligned}
\Delta V &= V_{P1} - V_{P2} \\
\Delta V &= \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)
\end{aligned}
\tag{2.6}$$

atau dapat ditulis menjadi

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}
\tag{2.7}$$

Sementara itu harga K ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1}
\tag{2.8}$$

(Reynolds, 2011)

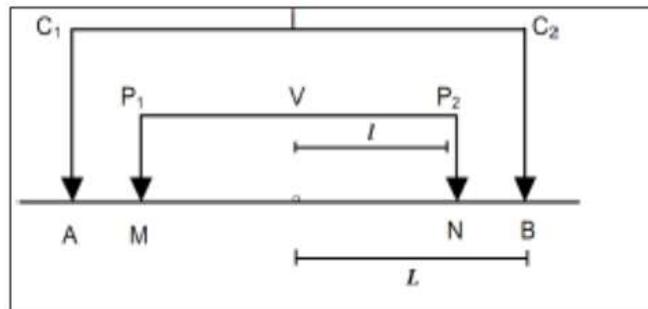
K adalah nilai besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus dan juga disebut faktor geometri.

2.6.1 Metode VES (*Vertical Electrical Sounding*)

Metode VES (*Vertical Electrical Sounding*) atau metode *sounding* adalah metode geolistrik 1D yang mempelajari sifat resistivitas listrik lapisan batuan di bawah permukaan (Telford, 1990). VES merupakan metode aktif karena mengambil injeksi arus listrik ke bumi melalui dua elektroda arus kemudian mengukur beda potensial melalui dua elektroda potensial (F. A. Bahri dkk., 2017).

Pengukuran metode VES pada umumnya menggunakan konfigurasi *Schlumberger*. Konfigurasi ini dipilih karena memiliki keunggulan yang lebih banyak, terutama untuk meminimalkan noise permukaan. Disamping itu, konfigurasi ini memiliki respon sinyal yang cukup baik dan kuat. Secara ekonomis, konfigurasi ini memiliki gerakan perpindahan elektroda yang sederhana

(Hartantyo, 2020). Prinsip konfigurasi *Schlumberger* idealnya jarak MN dibuat sekecil- kecilnya, sehingga jarak MN secara teoritis tidak berubah. Tetapi karena keterbatasan kepekaan alat ukur, maka ketika jarak AB sudah relatif besar maka jarak MN hendaknya dirubah. Dimana perubahannya itu tidak lebih besar dari 1/3 jarak AB seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Susunan elektroda Konfigurasi *Schlumberger* (Sumber : Hartantyo, 2020)

Berdasarkan konfigurasi diatas maka dapat diketahui faktor geometri konfigurasi *Schlumberger*, yaitu:

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{a-b} - \frac{1}{a+b}\right) - \left(\frac{1}{a+b} + \frac{1}{a-b}\right)\right]} \quad (2.9)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{2}{a-b} - \frac{2}{a+b}\right)} \quad (2.10)$$

$$K = \pi \frac{a^2 - b^2}{2b} \quad (2.11)$$

2.7 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi acuan pada penelitian ini yang dijelaskan pada Tabel 2.3 sebagai berikut :

Tabel 2.3 Tabel Penelitian Terdahulu

No	Peneliti/Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1.	Omolaiye dkk., (2020) / <i>Integration of remote</i>	Mengevaluasi potensi air tanah di wilayah	<ul style="list-style-type: none"> Integrasi penginderaan jauh, sistem informasi 	Zona potensi airtanah wilayah studi mengGambarkan

	<p><i>sensing, GIS and 2D resistivity methods in groundwater development</i></p>	<p>pemerintah daerah (LGA) Obafemi Owode di Negara Bagian Ogun.</p>	<p>geografis (GIS) metode DRASTIC dan teknik resistivitas 2D.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Landsat 7 digunakan untuk menghasilkan peta tata guna lahan dan peta kelurusan wilayah studi. • Data ASTER digunakan untuk menghasilkan peta kemiringan dan densitas drainase. • Metode resistivitas Pole-dipole dan dipole-dipole array digunakan untuk mengetahui kedalaman dan menunjukkan 	<p>lima zona berbeda yaitu sangat tinggi (196,39 km²), tinggi (334,64 km²), sedang (481,76 km²), rendah (298,46 km²) dan sangat rendah (95,73 km²). Delapan zona diGambarkan untuk studi lebih lanjut menggunakan metode resistivitas 2D. Zona potensi airtanah wilayah studi mengGambarkan lima zona berbeda yaitu sangat tinggi (196,39 km²), tinggi (334,64 km²), sedang (481,76 km²), rendah (298,46 km²) dan sangat rendah (95,73 km²). Delapan zona diGambarkan untuk studi lebih lanjut. Model invers 2D dari variasi resistivitas dengan kedalaman menunjukkan adanya</p>
--	--	---	---	---

			adanya potensi akuifer	potensi akuifer karbonat dan silikat.
2	Wahyu Hidayat, dkk, (2013) dalam (Suharso, 2018) / Identifikasi Potensial Air Tanah dengan Menggunakan Metode Geolistrik di Desa Girijati Kecamatan Purwosari Kabupaten Gunungkidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta	Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui potensi akuifer air tanah	Penelitian tersebut menggunakan metode geolistrik konfigurasi <i>Schlumberger</i> dengan total empat titik pengukuran.	Hasil pengolahan data dan interpretasi menunjukkan bahwa dari empat titik lokasi pengukuran diketahui bahwa secara umum litologi daerah penelitian terdiri dari tiga satuan batuan yaitu satuan Batugamping, batulempung dan batupasir lempungan dimana indikasi keberadaan air tanah dangkal berada di titik pengukuran 1 dan 2 dengan kedalaman 2 sampai 7 meter, tetapi diperkirakan bahwa keberadaan air tanah ini kemungkinan merupakan air tanah sementara meteorit yang terperangkap pada saat hujan. Dan pada umumnya air

				<p>pada akuifer tidak dapat tersimpan dalam kurun waktu yang lama karena dibagian atas merupakan Batugamping dengan porositas sekunder yang besar. Nilai Resistivitas batu Gamping berkisar 74,4 – 149 ohm.m dan Akuifer berkisar pada lokasi penelitian ini berkisar antara 47,1 ohm.m – 63,8 ohm.m.</p>
3	<p>(Suharso, 2018) / Analisis Zona Akuifer pada Kawasan Karst Daerah “X” Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi <i>Schlumberger</i></p>	<p>1. Mengetahui keberadaan zona akuifer daerah penelitian menggunakan metode geolistrik konfigurasi <i>Schlumberger</i>. 2. Mengetahui kedalaman serta ketebalan</p>	<p>Menggunakan metode geolistrik konfigurasi <i>Schlumberger</i> sebanyak 22 titik sounding dengan pajang bentangan bervariasi (120 meter – 400 meter). Data yang didapat</p>	<p>Dari hasil interpretasi dan analisa yang dilakukan pada penampang 1D, Korelasi 2D, dapat ditentukan lapisan yang diduga sebagai akuifer yang dapat dilihat pada korelasi. Pada interpretasi di dapat bahwa nilai akuifer pada daerah</p>

		<p>lapisan akuifer.</p> <p>3. Memberikan informasi potensi airtanah dari hasil 1D, korelasi 2D yang didukung oleh data geologi dan geofisika.</p>	<p>dari pengukuran di lapangan berupa nilai potensial listrik (V) dan arus listrik (I). Kemudian diolah menggunakan IPI2WIN dan menghasilkan penampang 1D, kemudian dilakukan korelasi 2D dari lintasan yang mewakili hingga didapatkan informasi akuifer, kedalaman, serta ketebalan lapisan secara 2D.</p>	<p>penelitian ini memiliki nilai resistivitas yang kecil yaitu berkisar antara 20 – 40 ohm.m. dengan kedalaman 35 – 49,2m serta ketebalan lapisan 16 - 28 m. Nilai resistivitas Batu lempung diantara 1- 20 ohm.m dengan kedalaman 32,5 – 133m serta ketebalan 7,85 - 63,1m dan nilai resistivitas batu gamping yang tinggi berkisar antara 40 – 900 ohm.m. dengan kedalaman 21,1 – 133m serta ketebalan 10m – 88,3m.</p>
4.	<p>Andreo dkk., (2008) / <i>Methodology for groundwater recharge</i></p>	<p>Menguji metode APLIS untuk memperkirakan imbuhan tahunan rata-</p>	<p>Menggunakan SIG metode APLIS untuk mengitung nilai imbuhan akuifer airtanah dan</p>	<p>Dari penelitian ini diperoleh nilai imbuhan akuifer airtanah untuk seluruh akuifer, dan juga peta distribusi</p>

	<i>assessment in carbonate aquifers: Application to pilot sites in southern Spain</i>	rata dalam akuifer karbonat, yang dinyatakan sebagai persentase curah hujan, berdasarkan variabel ketinggian, kemiringan, litologi, bentuk lahan infiltrasi, dan jenis tanah di Spanyol selatan.	mengetahui distribusi spasialnya.	spasial. Nilai imbuhan airtanah untuk delapan akuifer serupa dengan yang sebelumnya dihitung dengan metode konvensional dan dikonfirmasi oleh nilai debit, yang menguatkan validitas metode tersebut.
5.	Entezari dkk., (2020) / <i>Estimation of groundwater recharge level in karstic aquifers using modified APLIS model</i>	Memperkirakan besarnya imbuhan air pada akuifer karst Golin di barat daya provinsi Kermanshah.	Dalam studi ini dicoba untuk mempertimbangkan kekar dan rekahan sebagai faktor yang efektif dalam pengisian ulang akuifer karst. Untuk tujuan ini, model APLIS digunakan dengan parameter	Studi menunjukkan bahwa model APLIS mengabaikan peran kekar dan celah yang berperan penting dalam pengisian ulang akuifer karst. Rata-rata imbuhan air ke sumber daya karst di daerah penelitian ini adalah 54,4% berkisar antara 18,8 - 90% yang sesuai dengan

			kemiringan, litologi, tanah, rekahan dan sesar, geologi, dan ketinggian dengan menggunakan GIS.	neraca air daerah tersebut.
6.	Alem dkk., (2017) / <i>Groundwater Recharge Assessment in The Karst Aquifers of North Khorasan, Iran Using APLIS Method</i>	Meneliti akuifer di Provinsi Khorasan Utara dengan menggunakan APLIS (Laboratorium Fisika Terapan Ice Station) berbasis SIG.	Menggunakan metode APLIS berbasis SIG	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata tahunan pada skala waktu 30 tahun di formasi karst Khorasan Utara bervariasi antara 103 mm dan 362 mm, dengan nilai rata-rata 192 mm. Nilai imbuhan minimum, maksimum dan rata-rata akuifer di wilayah studi masing-masing adalah 42%, 73% dan 54%. Selain itu, potensi imbuhan akuifer di 83% formasi karst tergolong sedang sedangkan sisanya

				tinggi. Daerah resapan rendah berkorelasi dengan daerah dataran rendah Batugamping dan dolostone di dataran rendah sedangkan daerah resapan tinggi mewakili daerah Batugamping karst dan dolostone bagian atas, terutama di daerah dataran tinggi.
7.	Yogafanny dkk., (2020) / Zonasi Kerentanan Air Tanah Menggunakan Metode Cop dan APLIS di Daerah Aliran Sungai Gremeng, Desa Umbulrejo, Ponjong, Gunungkidul	Mengetahui zonasi tingkat kerentanan air tanah dengan menggunakan dua metode penilaian yaitu metode COP dan APLIS serta untuk menganalisis kualitas sumber air pada tiap zonasi kerentanan yang dihasilkan	Menggunakan metode COP (<i>Concentration of Flow, Overlaying Layers, Precipitation</i>) dan APLIS (<i>Altitude, Slope, Lithology, Infiltration, Soil</i>)	Zonasi kerentanan air tanah dengan metode COP di daerah penelitian menghasilkan 4 kelas kerentanan yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi sedangkan dengan metode APLIS, zonasi kerentanan menghasilkan kelas rendah dan sedang. Daerah dengan zona kerentanan air tanah

		dari kedua metode tersebut.		kelas sedang, tinggi dan sangat tinggi terletak pada bentuk lahan Batugamping.
8.	(Hariyanto dkk., 2018) / Analisis Potensi Mata Air Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Wilayah Perbatasan Kabupaten Lumajang Dan Kabupaten Probolinggo) Teguh	Mengidentifikasi potensi mata air di Kawasan perbatasan Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Probolinggo dengan metode Sistem Informasi Geografis (SIG) ditunjang data sekunder yang mendukung.	Menggunakan metode SIG dengan melakukan overlay dari hasil analisis morfologi dari berbagai parameter yang telah ditentukan seperti ketinggian, kelerengan, aliran permukaan, dan sesar. Kemudian divalidasi dengan data bor.	Daerah yang memiliki potensi mata air hanya terdapat di Kecamatan Tiris dengan jumlah titik potensi mata air sebanyak 5 titik.
9.	(Neumann dkk., 2009) / <i>Geowissenschaftliche Bewertung von Karsthöhlen für die Wasserbewirt</i>	Evaluasi geosains gua karst untuk pengelolaan air di Gunung Sewu	Menggunakan metode VLF dan metode VES.	Pada kedalaman 100 m, terlihat transisi dari kadar air sangat rendah ke tinggi. Itu diartikan sebagai bagian dari gua yang berisi udara ke dalam air yang mengalir di sungai

	<i>schaftung in Gunung Sewu</i>			
10	(A. S. Bahri dkk., 2019) / <i>Controlling factors of underground river system of karst region in Pacitan Regency, East Java</i>	Menganalisis tipikal dan faktor pengendali yang mempengaruhi pengembangan sistem sungai bawah tanah di kawasan karst Pacitan, Jawa Timur	Menggunakan metode VES	Sistem sungai bawah tanah yang khas yang berkembang di daerah penelitian lebih dangkal daripada di Gunung Kidul dan diduga berada di zona <i>Vadose</i> dan dikendalikan oleh pergerakan air dari permukaan yang masuk melalui rekahan batuan. Hal ini dilihat dari perbedaan anomali resistivitas rendah ke tinggi pada kedalaman sekitar 25 meter dan 40 meter.

Mempertimbangkan bahwa akuifer karst dapat menjadi sumber penyedia kebutuhan air terutama bagi masyarakat di kawasan karst Kecamatan Donorojo yang merupakan salah satu daerah krisis air di Kabupaten Pacitan. Akan tetapi, studi tentang potensi dan pengelolaan akuifer airtanah di kawasan karst tersebut masih terbatas, padahal hal ini penting sebagai salah satu dasar pengembangan kawasan karst yang berkelanjutan. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo, Pacitan dengan menggunakan metode APLIS dan Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*). Selain untuk mengetahui nilai imbuhan dan zona potensi airtanah dan di kawasan

karst Donorojo Pacitan dari parameter ketinggian, kemiringan lereng, litologi, zona infiltrasi, dan jenis tanah. Penelitian ini juga estimasi kedalaman dan ketebalan akuifer karst kawasan karst Donorojo Pacitan menggunakan metode Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*).

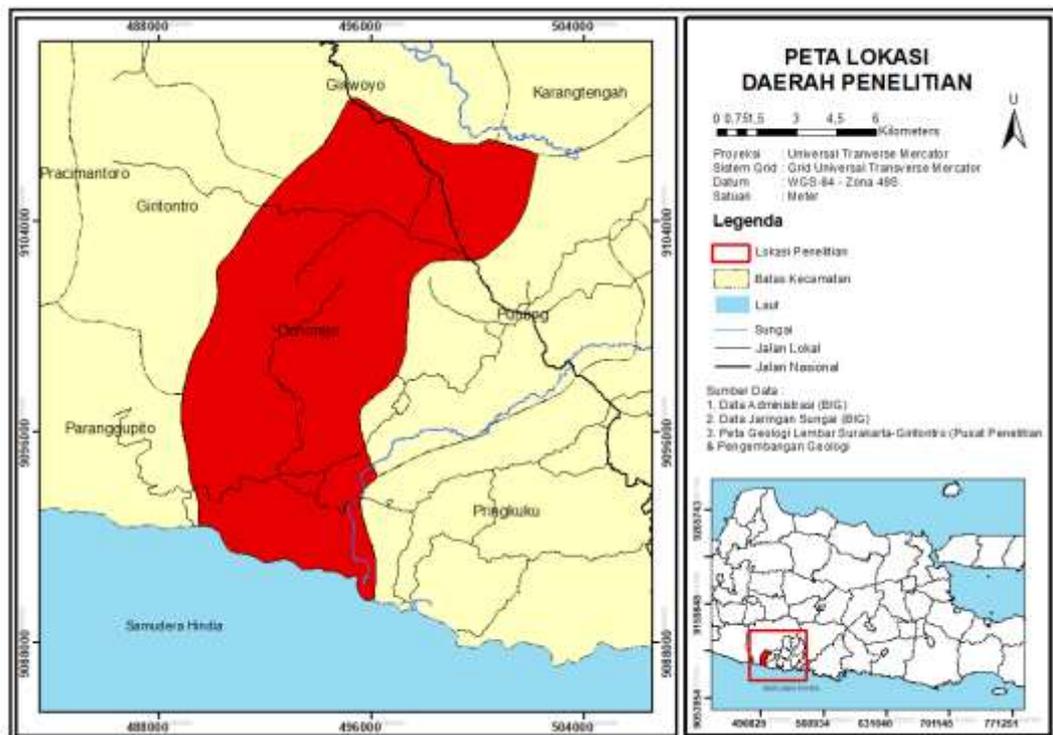
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur dengan luas area sekitar 11.008,7 ha. Kecamatan Donorojo berjarak 23 km dari pusat Kabupaten Pacitan dan merupakan kecamatan paling barat yang berbatasan langsung dengan Provinsi Jawa Tengah yang wilayahnya berupa daerah karst Pegunungan Sewu. Secara geografis wilayah Donorojo merupakan daerah perbukitan yang terletak pada $7^{\circ}58'49.373''$ - $7^{\circ}59'56.122''$ LS dan $113^{\circ}08'0.101''$ - $113^{\circ}21'21.662''$ BT. Sedangkan secara administratif Kecamatan Donorojo terdiri dari 12 Desa.



Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian yang berada di Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur

Lokasi area penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 :

Berikut adalah batas wilayah Kecamatan Donorojo :

- Sebelah utara : Kecamatan Giriwoyo
- Sebelah timur : Kecamatan Punung dan Pringkuku
- Sebelah selatan : Samudera Hindia
- Sebelah barat : Kecamatan Giritontro dan Paranggupito

4.2 Data dan Peralatan

Adapun data dan peralatan yang dibutuhkan pada penelitian ini sebagai berikut.

3.2.1 Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder sebagai berikut :

Data Sekunder :

1. Data Administrasi Kecamatan Donorojo dan sekitarnya dalam bentuk peta digital skala 1:25.000 yang diperoleh dari Inageoportal BIG;
2. Data Geologi Kecamatan Donorojo yang diperoleh dari Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro Tahun 1992 Skala 1 : 250.000 oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi dalam bentuk peta digital untuk parameter litologi;
3. Data DEMNAS Kecamatan Donorojo yang diperoleh dari website <http://tides.big.go.id/DEMNAS/> untuk data pada parameter ketinggian dan kemiringan lereng;
4. Peta Sebaran Jenis Tanah Kecamatan Donorojo yang diperoleh dari Peta Jenis Tanah Kab. Pacitan Skala 1 : 50.000 oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) Kementerian Pertanian Republik Indonesia Tahun 2016 untuk data parameter tanah (*Soil*).
5. Peta Geohidrologi Kecamatan Donorojo Skala 1 : 100.000 yang diperoleh dari Badan Geologi, Pusat Geologi Air Tanah dan Lingkungan - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia 2018 dalam bentuk digital, untuk data pada parameter zona infiltrasi;
6. Data hasil pengukuran geolistrik 2D dari penelitian terdahulu untuk validasi;
7. dan hasil penelitian terdahulu / referensi sekunder lainnya yang terkait dengan penelitian.

Data Primer :

1. Data geolistrik *Vertical Electrical Sounding* berupa V dan I yang merupakan hasil dari sebuah akuisisi di lapangan dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Schlumberger* dengan total 25 titik pengukuran, dengan panjang bentangan lintasan bervariasi (200m – 600m);
2. Data manifestasi Luweng/Sumber Air;
3. Data muka air tanah.

3.2.2 Peralatan

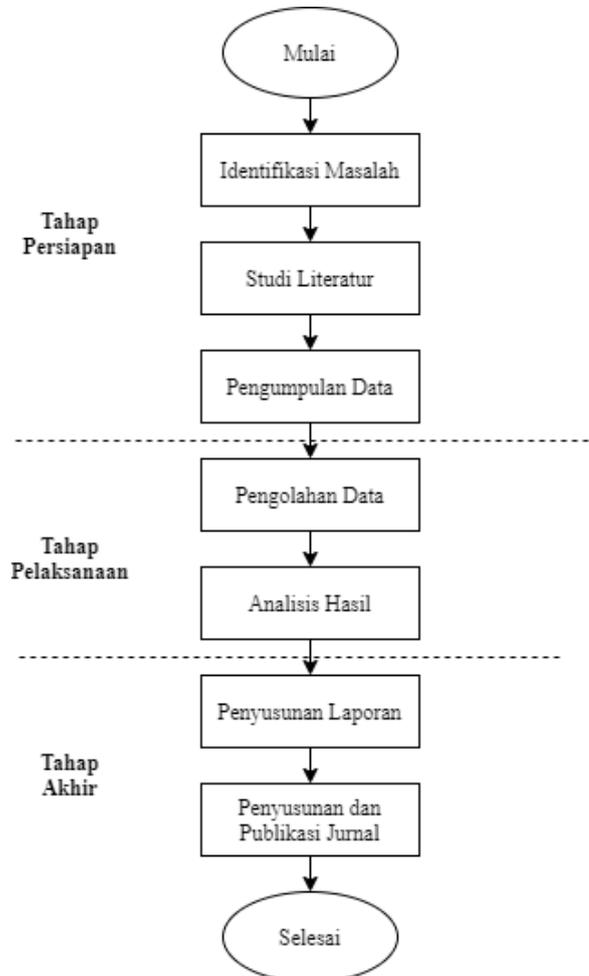
Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perangkat Keras (Hardware) Pengolah Data
 - *LapTop* HP 14s-cf1032TX OS Windows 10 64 bit untuk melakukan keseluruhan/sebagian besar pengolahan data, analisis data, penyusunan laporan dan jurnal;
2. Perangkat Lunak (Software)
 - Aplikasi pengolah kata untuk penyusunan laporan penelitian;
 - Aplikasi pengolah angka untuk perhitungan pada pengolahan data;
 - Aplikasi pengolah data SIG untuk pengolahan data spasial dan kartografi;
 - Aplikasi pengolah data geolistrik *Vertical Electrical Sounding* (VES);
 - Aplikasi pengolah desain grafis.
3. Perangkat Pengambilan Data
 - Seperangkat alat Resistivimeter;
 - GPS Garmin Model GPS II plus, untuk menentukan posisi titik ukur;
 - Handy Talky, sebagai alat bantu komunikasi antara operator instrumen resistivimeter dengan elektroda-elektroda;
 - Kalkulator, Lembar Tabel Data, Kertas Bilog, Alat Tulis; untuk mencatat data pengukuran dan melakukan perhitungan interpretasi pendahuluan;
 - Kompas, untuk membantu mengontrol kelurusan lintasan pengukuran dan bentangan elektroda.
 - Flashdisk untuk menyimpan data pengukuran sebagai backup.

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahap Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.2 di atas adalah tahapan penelitian yang telah dirangkum dalam bentuk diagram alir, secara lebih rinci penjelasan masing – masing tahapan Gambar di atas adalah sebagai berikut :

1. Tahap Persiapan

a. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan untuk menemukan permasalahan yang perlu diangkat maupun dicari solusinya melalui suatu kegiatan penelitian. Adapun

permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana mengevaluasi akuifer di kawasan karst baik secara spasial maupun di bawah permukaan yang tersembunyi dengan menggunakan dua metode yakni Metode APLIS dan geolistrik *Vertical Electrical Sounding* (VES). Adapun tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi akuifer di kawasan karst yang ditinjau imbuhan, distribusi spasial, hingga kedalaman dan ketebalan akuifer karst di bawah permukaan yang tersembunyi dengan studi kasus kawasan karst Donorojo Pacitan.

b. Studi Literatur

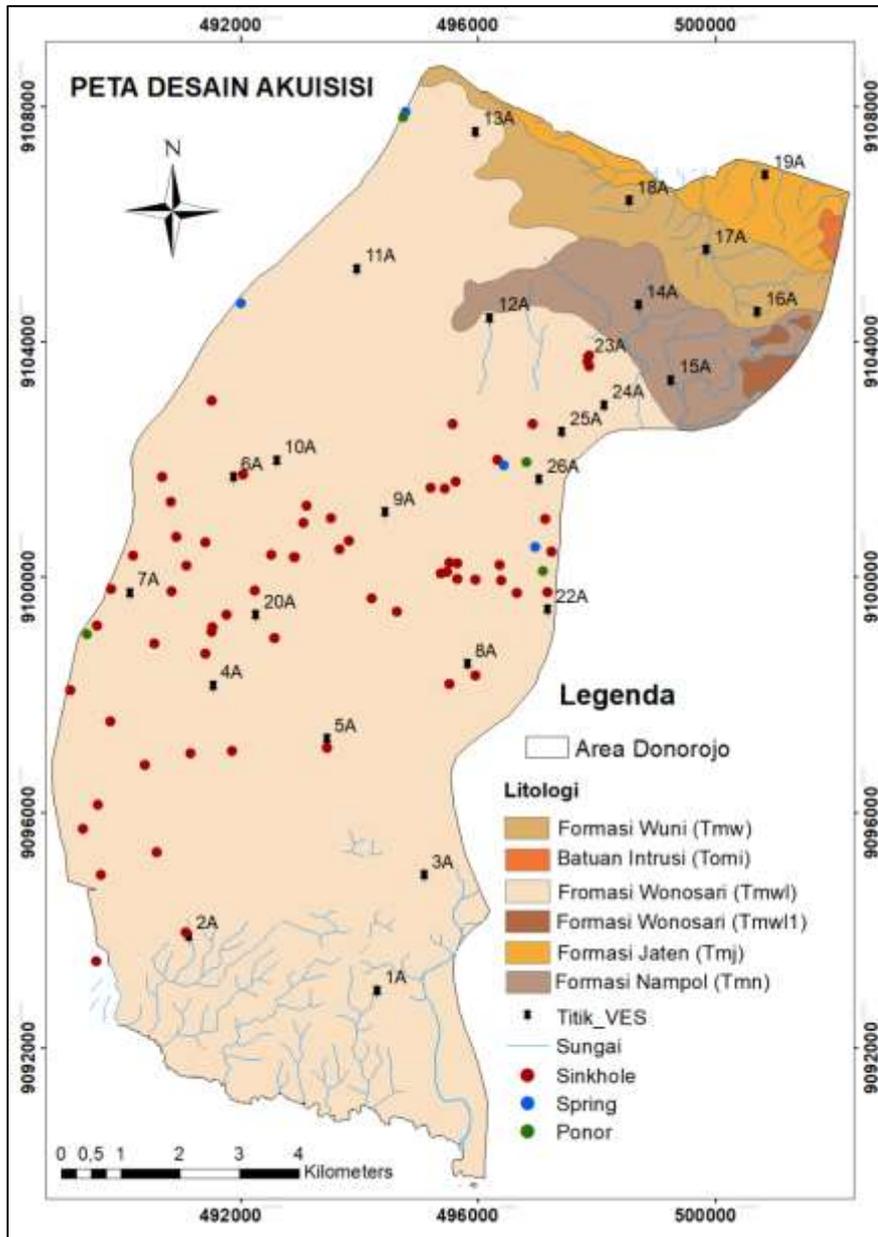
Studi literatur dilakukan dengan tujuan mendapatkan referensi mengenai metode yang perlu diterapkan, data yang dibutuhkan, serta estimasi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan penelitian ini. Selain itu studi literatur juga akan banyak membantu dalam memberikan Gambaran mengenai bentuk dari hasil akhir penelitian. Studi literatur diambil dari buku, jurnal, majalah, internet, dan lain-lain.

c. Pengumpulann Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memastikan ketersediaan data yang diperlukan dalam pengerjaan penelitian ini. Data berupa data spasial grafis maupun tabular serta data *non*-spasial. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini yakni data primer dan sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini ialah data administrasi wilayah penelitian, data geohidrologi, data geologi, data Digital Elevation Model, data sebaran jenis tanah, data manifestasi luweng/sumber air, dan data muka air tanah.

Sedangkan data primer berupa data geolistrik *Vertical Electrical Sounding* konfigurasi *Schlumberger*. Data penelitian meliputi AB/2 (jarak elektroda arus terhadap titik pusat), MN/2 (jarak elektroda potensial terhadap titik pusat), I (arus), V (beda potensial), K (faktor geometri), dan ρ (tahanan jenis). Selama pengambilan data, dilakukan kontrol kurva resistivitas dengan menggunakan kertas bilog untuk menghindari kesalahan pengukuran (*error*), dimana jika pada saat data diambil, nilai resistivitas semu terukur tiba-tiba mengalami lonjakan secara drastis atau trend kurva membentuk kemiringan $\geq 45^\circ$, hal itu berarti data tersebut merupakan data *error* yang perlu dilakukan pengecekan dan pengukuran ulang, hingga keseluruhan data yang diambil kurva resistivitasnya memiliki kurva yang halus (*smooth*).

Gambar 3.3 berikut ini adalah desain titik-titik pengambilan data geolistrik *Vertical Electrical Sounding* yakni dengan jumlah titik pengambilan data sebanyak 25 titik.



Gambar 3.3 Desain pengukuran metode Geolistrik (*Vertical Electrical Sounding*) (Sumber data : Data survei pendahuluan penulis, 2021)

2. Tahap Pelaksanaan

a. Pengolahan Data

Pada penelitian ini terdapat dua tahapan utama pengolahan data yaitu perhitungan dan klasifikasi nilai imbuhan serta pemetaan distribusinya yang

mencerminkan zona potensi airtanah di akuifer karst berbasis SIG dengan menggunakan metode APLIS dan pengolahan data VES untuk mengetahui kedalaman dan ketebalan potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo Pacitan. Tahap pengolahan data lebih lanjut dijelaskan pada Gambar 3.3.

b. Analisis Data

Dalam tahap analisis data ini akan dilakukan penilaian dan analisis akuifer akuifer karst Donorojo Pacitan yang ditinjau berdasarkan hasil metode APLIS dan geolistrik *Vertical Electrical Sounding* dengan memperhatikan kondisi geologi di lokasi penelitian, merujuk referensi atau penelitian terdahulu, dan hasil pengamatan di lapangan.

3. Tahap Akhir

a. Penyusunan Laporan

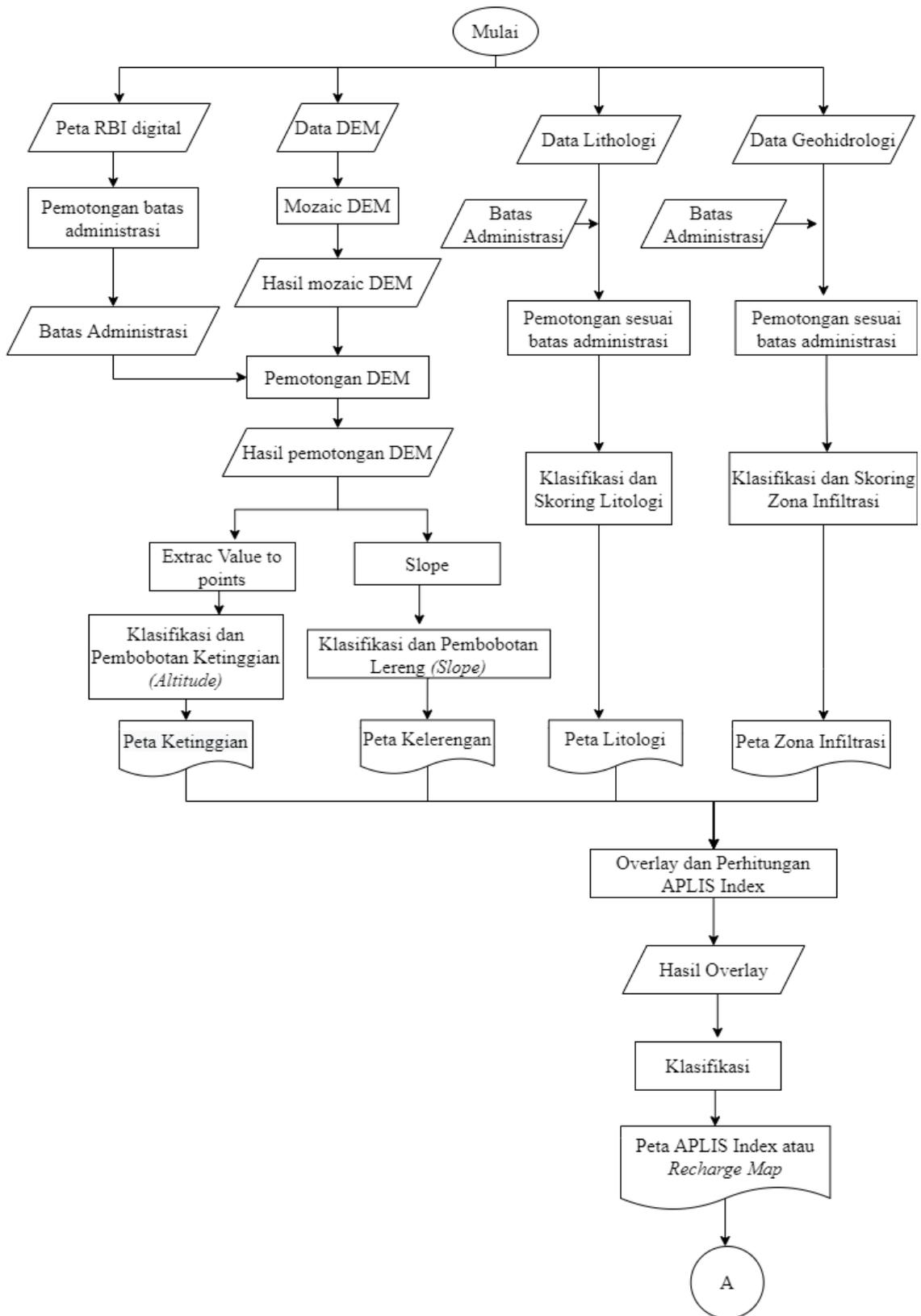
Penyusunan laporan merupakan salah satu bagian tahap akhir dari penelitian tugas akhir yakni membuat laporan yang sesuai dengan aturan penyusunan yang berlaku. Hasil akhir dari penelitian akan dilaporkan sebagai bentuk pertanggung jawaban atas penelitian yang telah dilaksanakan.

b. Penyusunan dan Publikasi Jurnal

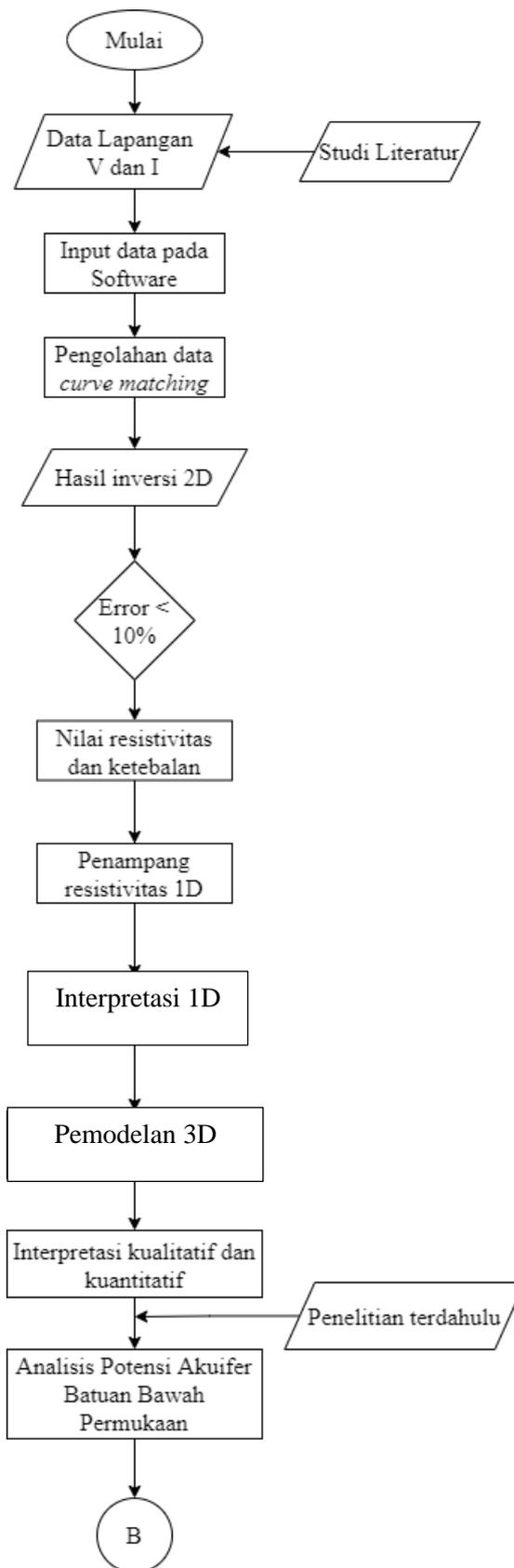
Penyusunan dan publikasi jurnal merupakan tahap akhir dari penelitian ini. Adapun diperlukan publikasi jurnal untuk menunjukkan hasil penelitian pada seminar internasional yang berguna sebagai *sharing* ilmu dan referensi penelitian selanjutnya.

3.3.2 Tahapan Pengolahan Data

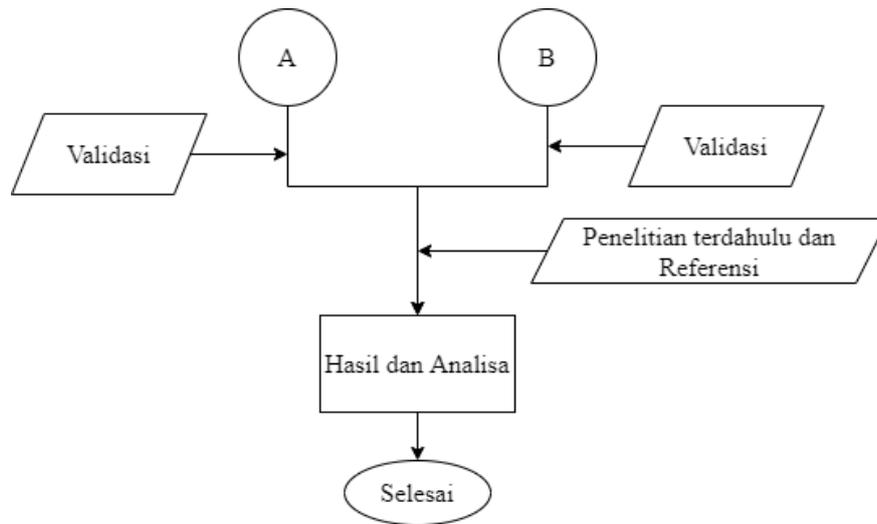
Adapun pengolahan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Diagram alir pengolahan data metode APLIS



Gambar 3.5 Diagram alir pengolahan data metode VES



Gambar 3.6 Diagram alir analisis data

Secara garis besar terdapat dua tahapan pengolahan data, yaitu pengolahan data SIG dengan metode APLIS dan pengolahan data geolistrik *Vertical Electrical Sounding*. Hasil dari kedua pengolahan data tersebut (Hasil A dan B) kemudian akan dianalisa untuk mengevaluasi potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo, Pacitan dengan menggunakan metode APLIS dan Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*). Gambar 3.4 di atas adalah tahapan pengolahan data metode APLIS yang telah dirangkum dalam bentuk diagram alir, secara lebih rinci penjelasan masing – masing tahapan Gambar di atas adalah sebagai berikut :

1. Pengolahan data SIG dengan metode APLIS.

Pada tahap ini metode yang digunakan adalah metode APLIS. Andreo, dkk (2008) menjelaskan bahwa metode ini menggunakan lima variabel yang didasarkan pada karakteristik hidrogeologi dan geomorfologi suatu wilayah. Oleh karena itu, maka metode ini hanya dapat digunakan untuk menentukan nilai imbuan akuifer airtanah intrinsik dari suatu wilayah. Lima variabel yang digunakan dalam metode APLIS meliputi; altitud (ketinggian), pendiente (kemiringan lereng), litologia (litologi), infiltration preferencial (zona infiltrasi), dan suelo (tanah).

Data DEM-SRTM yang telah di potong sesuai dengan batas administrasi wilayah penelitian kemudian dilakukan *Extract Value to Points* untuk mendapatkan nilai ketinggian (*Altitude*) dan *Slope* untuk mendapatkan nilai kemiringan lereng. Data Geologi Kecamatan Donorojo yang diperoleh dari Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro Tahun 1992 Skala 1 : 100.000 oleh Pusat Penelitian dan

Pengembangan Geologi dalam bentuk peta digital dilakukan pemotongan sesuai dengan batas administrasi. Demikian juga untuk data geohidrologi dan data jenis tanah. Masing-masing variabel kemudian dikelaskan dan diberi skor sesuai dengan tingkat pengaruhnya terhadap besarnya imbuhan akuifer airtanah. Berikut ini klasifikasi yang digunakan untuk masing-masing variabel-variabel berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Andreo dkk., 2008):

Tabel 3.1 Klasifikasi dan skoring variabel ketinggian

Ketinggian (Altitude (mdpl))	Skor
≤ 300	1
(300 – 600]	2
(600 – 900]	3
(900 – 1,200]	4
(1,200 – 1,500]	5
(1,500 – 1,800]	6
(1,800 – 2,100]	7
(2,100 – 2,400]	8
(2,400 – 2,700]	9
> 2,700	10

Sumber : Andreo dkk., 2008

Tabel 3.2 Klasifikasi dan skoring variabel lereng

Kemiringan Lereng (%)	Skor
≤ 3	10
(3 – 8]	9
(8 – 16]	8
(16 – 21]	7
(21 – 31]	6
(31 – 46]	5
(46 – 76]	4

(76 – 100]	3
> 100	2

Sumber : Andreo dkk., 2008

Tabel 3.3 Klasifikasi dan skoring variabel litologi

Litologi/Batuan	Skor
Batugamping dan dolomit terkarstifikasi (<i>Limestone and karstified dolomite</i>)	10-9
Batugamping dan dolomit rekahan, terkarstifikasi sedang (<i>Limestones and dolostones fractured, slighted karstified</i>)	7-8
Batugamping dan dolomit bercelah (<i>Limestones and dolostones fissure</i>)	5-6
Kerikil dan Pasir (<i>Gravels and sands</i>)	4
Napal, breksi dan konglomerat (<i>Marl, breccia and conglomerates</i>)	3
Batuan plutonik dan metamorf (<i>Plutonic and metamorphic rocks</i>)	2
Serpilh, lanau, dan lempung (<i>Shales, silts, clays</i>)	1

Sumber : Andreo dkk., 2008

Tabel 3.4 Klasifikasi dan skoring variabel zona infiltrasi

Zona Infiltrasi	Skor
<i>Many infiltration landforms</i>	10
<i>Scarce infiltration landforms</i>	1

Sumber : Andreo dkk., 2008

Tabel 3.5 Klasifikasi dan skoring variabel tanah Tanah

Tanah (Soil)	Skor
<i>Leptosols, Lithosols</i>	10
<i>Albic arenosols dan Calcic xerosols</i>	9

<i>Rendzina, Calcareous regosols, dan Fluvisols</i>	8
<i>Eutric dan Distric regosols, dan Solonhacks</i>	7
<i>Calcic cambisols</i>	6
<i>Eutric cambisols</i>	5
<i>Eutric histosols, Orthic, dan Calcic luvisols</i>	4
<i>Chromic luvisols</i>	3
<i>Planosols</i>	2
<i>Chromic Vertisols</i>	1

Sumber : Andreo dkk., 2008

Hasil skoring kemudian ditumpangsusun (overlay) dengan menggunakan sistem informasi geografis (SIG). Tumpangsusun dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.1). Hasil tumpangsusun menggunakan system informasi geografis, kemudian diklasifikasikan dengan klasifikasi yang dibuat oleh Andreo, dkk (2004) sebagai berikut:

Tabel 3.6 Klasifikasi nilai imbuhan airtanah (R)

Nilai imbuhan akuifer airtanah (%)	Klasifikasi
≤ 20	Sangat rendah
20 - 40	Rendah
40 - 60	Sedang
60 - 80	Tinggi
> 80	Sangat tinggi

Sumber : Andreo dkk., 2008

Hasil pengolahan data metode ini akan divalidasi menggunakan data produktivitas akuifer ESDM, data curah hujan, dan data debit sungai bawah permukaan.

2. Pengolahan data *Vertical Electrical Sounding*

Sedangkan untuk pengolahan data metode VES dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan dapat dijelaskan sebagai berikut.

Data V dan I dari pengukuran lapangan kemudian diolah dengan perangkat lunak pengolah angka untuk menghitung nilai resistivitas pada lapisan. Setelah mendapatkan nilai resistivitasnya, maka langkah selanjutnya adalah membuat penampang 1D dengan menggunakan software pengolah data resistivitas dengan memasukkan nilai resistivitas pada software serta melakukan *matching curve* yang dimana melakukan pendekatan pada kurva yang merupakan hasil data lapangan. Apabila *error* melebihi dari 10% maka data tersebut tidak dapat dipakai dan perlu diproses ulang sehingga data tersebut memiliki *error* dibawah 10%. Setelah penampang 1D selesai, maka dapat menentukan ketebalan lapisan serta nilai resistivitas sebenarnya sehingga dapat membuat model 3D untuk semua titik pengukuran VES.

Interpretasi data geolistrik diartikan sebagai penerjemah bahasa fisis berupa nilai tahanan jenis (resistivitas) menjadi bahasa geologi yang lebih umum untuk mengetahui potensi akifer. Oleh karena itu, dalam interpretasi penelitian ini selain data geofisika, data geologi juga digunakan untuk membantu dalam interpretasi. Informasi geologi baik dari referensi maupun pengamatan langsung di lapangan memiliki pengaruh yang besar terhadap interpretasi, karena nilai resistivitas yang tidak lepas dari pengaruh batuan. Selain itu dalam interpretasi ini juga akan merujuk pada referensi penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan di lokasi penelitian. Kemudian dari semua hasil yang ada, akan dapat dianalisa lebih lanjut. Hasil dari metode ini akan divalidasi menggunakan data pengukuran geolistrik 2D (Gambar 3.6).

3. Hasil dan Analisa

Pada tahap ini akan dilakukan analisa untuk mengevaluasi akuifer di kawasan karst yang ditinjau dari hasil kedua metode yaitu APLIS dan VES (Gambar 3.6). Antara lain nilai imbuhan airtanah, peta zona potensi airtanah, hingga kedalaman dan ketebalan akuifer karst di bawah permukaan yang tersembunyi dengan memperhatikan dan merujuk pada data-data penelitian terdahulu.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

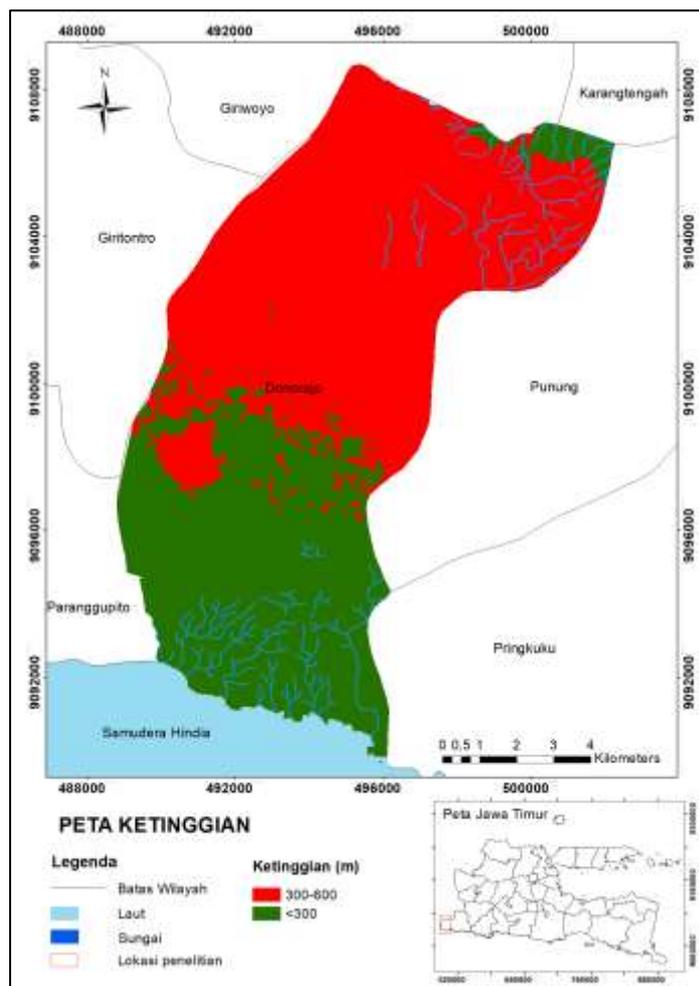
Hasil dan pembahasan pada bab ini didasarkan pada tujuan penelitian ini yaitu untuk untuk mengevaluasi potensi akuifer airtanah di kawasan karst Donorojo, Pacitan dengan menggunakan metode APLIS dan Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*). Pengolahan data secara umum dibagi menjadi dua tahapan utama yaitu menghitung nilai imbuhan dan memetakan zona potensi akuifer airtanah karst Donorojo Pacitan menggunakan metode APLIS dan mengestimasi kedalaman dan ketebalan akuifer karst kawasan karst Donorojo Pacitan menggunakan metode geolistrik. Hasil yang diperoleh kemudian dilakukan analisis untuk mengevaluasi potensi akuifer karst Donorojo, Pacitan.

4.1 Metode APLIS

Metode APLIS menggunakan lima variabel berdasarkan karakteristik hidrogeologi dan geomorfologi suatu daerah. Dalam penelitian ini, model APLIS digunakan untuk mengestimasi koefisien imbuhan akuifer karst Donorojo. APLIS adalah salah satu metode empiris yang paling banyak digunakan, yang dirancang untuk aplikasi akuifer karbonat. Dalam metode ini, parameter kemiringan (P), ketinggian (A), tanah (S), geologi daerah (G), tutupan lahan atau litologi (P), dan infiltrasi (I) dianalisis dalam perangkat lunak GIS. Hasil dari penggunaan metode APLIS ini yaitu parameter laju imbuhan (R) untuk akuifer karst Donorojo, Pacitan. Setelah menyiapkan data-data yang diperlukan dan memeriksa signifikansi dan dampak setiap layer, bagian ini diberi skor dari satu hingga sepuluh dan, kemudian, peta akhir dibuat dengan persamaan (2.1). Seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (2.1) tersebut, parameter infiltrasi (I) dan litologi (L) masing-masing dua dan tiga kali lebih penting daripada parameter lainnya. Untuk memperkirakan laju imbuhan (R) setiap akuifer, ada sepuluh peringkat untuk setiap parameter yang menetapkan skor 1 (sebagai skor dengan pengaruh terendah) hingga 10 (sebagai skor dengan pengaruh tertinggi) untuk berbagai bagian parameter yang sebanding dengan imbuhan akuifer.

4.1.1 Ketinggian (*Altitude*)

Peta ketinggian lokasi penelitian pada penelitian ini dianalisis dari data DEMNAS 0,27 arc second (~8 m). Hasil analisis menunjukkan bahwa ketinggian tertinggi adalah 506 m, sedangkan terendah adalah -6 m. Berdasarkan Tabel 3.1, kelas elevasi di daerah penelitian kemudian dibagi menjadi 2 kelas yaitu <300 m (50.444.423,85 m²) dan 300 – 600 m (74.178.772,08 m²), dan skor tertinggi diberikan pada daerah dengan ketinggian tertinggi.

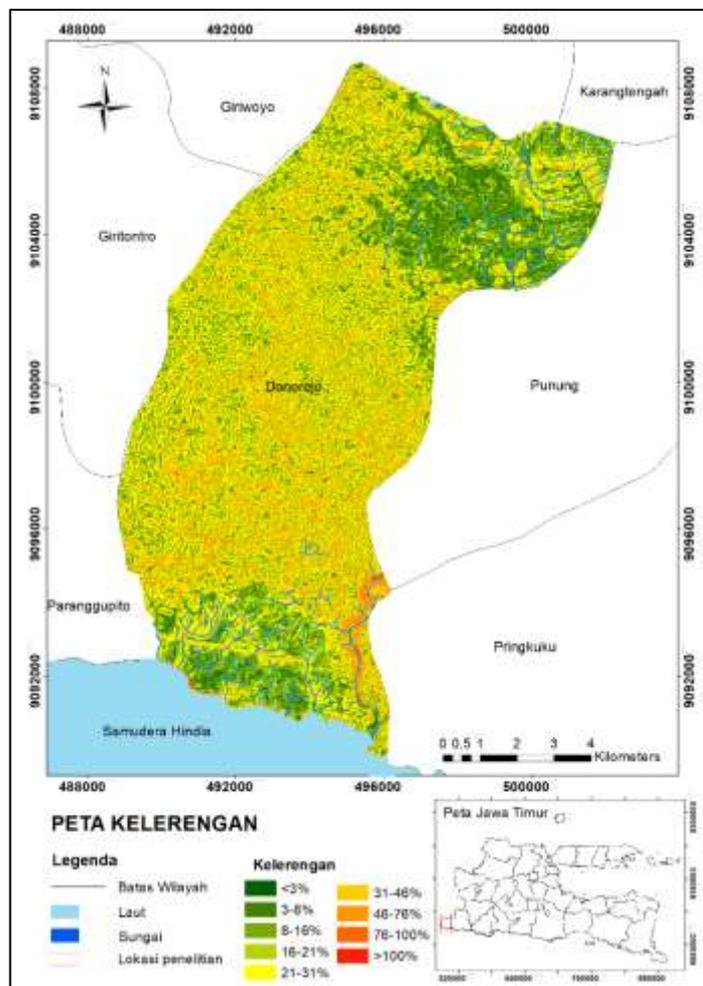


Gambar 4. 1 Peta ketinggian kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)

Berdasarkan peta ketinggian pada Gambar 4.1, daerah dengan ketinggian <300 m mendominasi sisi selatan daerah penelitian atau Donorojo selatan, sedangkan daerah dengan ketinggian 300-600 mendominasi bagian utara daerah penelitian atau Donorojo utara.

4.1.2 Kemiringan Lereng (*Slope*)

Sebagaimana peta ketinggian, peta kemiringan lereng pada penelitian ini juga dianalisis dari dat DEMNS 0,72 arc second (~8 m). Peta kemiringan lereng yang dihasilkan diklasifikasikan ke dalam 9 kategori menurut (Andreo dkk., 2008). Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3.2. Kemiringan lereng diperoleh dengan menggunakan analisis kemiringan lereng di software GIS, daerah dataran bercirikan permukaan sangat landai dengan kemiringan 0-5% dan daerah perbukitan dicirikan oleh perbukitan yang memiliki kemiringan lereng 0-5%. 5-46%. Daerah yang berlereng landai sampai datar memiliki zona resapan yang lebih besar dibandingkan daerah perbukitan yang curam.



Gambar 4. 2 Peta kemiringan lereng kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)

Jadi pada bagian ini, karena pada daerah dengan kemiringan yang lebih rendah, peluang resapan air lebih tinggi, daerah dengan kemiringan di bawah 3% memiliki skor tertinggi, dan daerah dengan kemiringan di atas 100% memiliki skor terendah (Entezari dkk., 2020).

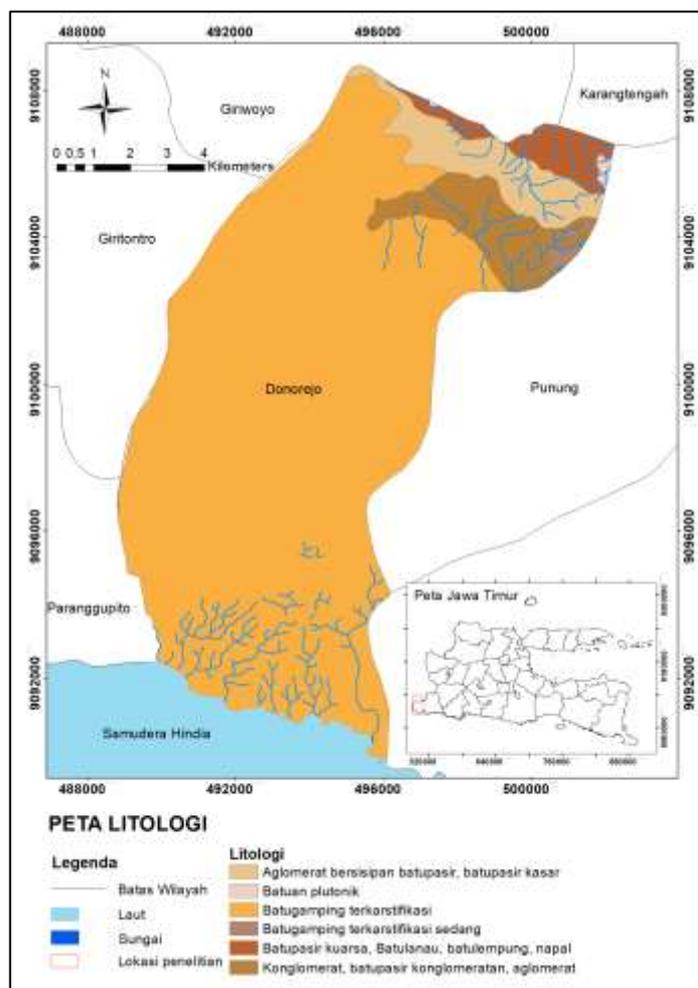
4.1.3 Litologi (*Lithology*)

Dilihat dari litologinya, daerah penelitian terdiri dari enam satuan batuan utama termasuk formasi batuan intrusi yaitu batuan intrusi yang tersusun atas batuan plutonik; Formasi Wonosari tersusun atas Batugamping, Batugamping napal-tufa, Batugamping konglomerat, batupasir tufaan, dan batulanau. Formasi Nampol terdiri dari konglomerat, batupasir konglomerat, aglomerat, batulanau, batulempung, dan tufa. Formasi Wuni tersusun atas aglomerat dengan batupasir tufaan dan batupasir kasar. Terakhir adalah Formasi Jaten yang tersusun dari batupasir kuarsa, batupasir tufaan, batulanau, batulempung, napal, napal gamping (Surono & Sudarno, 1992).

Litologi daerah penelitian kemudian diklasifikasikan menjadi Batugamping berkarstifikasi baik, Batugamping berkarstifikasi sedang, dan juga terdapat material penyusun lainnya seperti batulempung, batupasir, tuf, breksi, konglomerat, dan lain-lain (Gambar 4.3) dan termasuk dalam Formasi Nampol (Tmn), Formasi Wuni (Tmw), dan Formasi Jaten (Tmj). Batugamping yang menyusun Formasi Wonosari di bagian selatan daerah penelitian memiliki *Topografi* berbukit, dan terbentuk beberapa *doline* dan sinkhole. Sehingga dapat dikatakan bahwa Batugamping di daerah ini terkarstifikasi dengan baik. Sementara itu, Batugamping berkarstifikasi sedang memiliki *Topografi* yang relatif datar di bagian utara, serta formasi batuan lainnya yang memiliki *Topografi* relatif datar di bagian utara. Kemudian batuan-batuan tersebut diberi skor sesuai dengan Tabel standar APLIS (Tabel 3.3).

Hal ini diperkuat dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Miftakhur Rahmat pada tahun 2018 tentang hubungan parameter fisis dengan derajat karstifikasi. Parameter fisik yang digunakan dalam penelitian ini adalah resistivitas dan kecepatan primer. Dari nilai kecepatan primer dapat diasumsikan bahwa batuan formasi Wonosari memiliki tingkat karstifikasi yang lebih

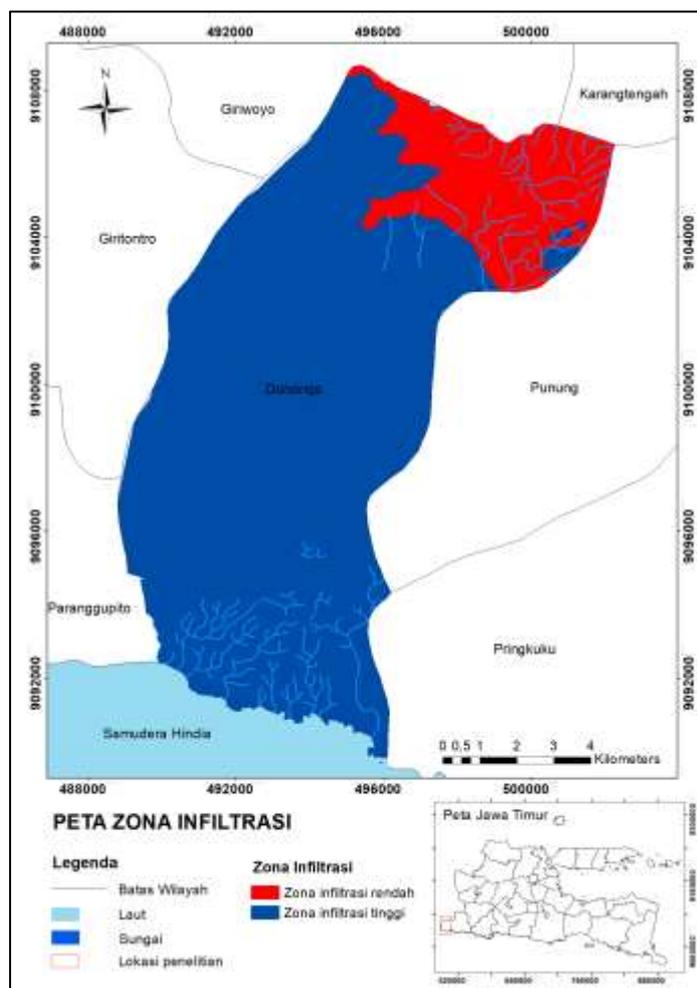
berkembang. Pengukuran resistivitas juga mendukung data kecepatan primer ini. Dari nilai kecepatan primer dapat diasumsikan bahwa batuan Formasi Wonosari memiliki tingkat karstifikasi yang lebih berkembang. Pengukuran resistivitas juga mendukung data kecepatan primer ini. Ruang-ruang kosong atau pori-pori sekunder pada badan batuan karbonat sebagian besar merupakan hasil dari proses karstifikasi. Artinya batuan di bagian selatan yang merupakan batuan karbonat formasi *non*-struktural Wonosari memiliki karstifikasi yang lebih berkembang. Semakin ke utara dan semakin ke timur, derajat karstifikasi semakin menurun (Rahmat, 2018).



Gambar 4. 3 Peta litologi kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)

4.1.4 Zona Infiltrasi (*Infiltration Zone*)

Zona resapan dibagi menjadi dua (Gambar 4.4), yaitu zona infiltrasi tinggi dan zona infiltrasi rendah. Klasifikasi ini didasarkan pada Peta Hidrogeologi dari Badan Geologi, Pusat Geologi Air Tanah dan Lingkungan - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia 2018, dapat dilihat bahwa permeabilitas Batugamping sedang sampai tinggi, permeabilitas batuan gamping sedang hingga tinggi. Permeabilitas batuan padat rendah, sedangkan permeabilitas batuan intrusi rendah sampai sangat rendah.



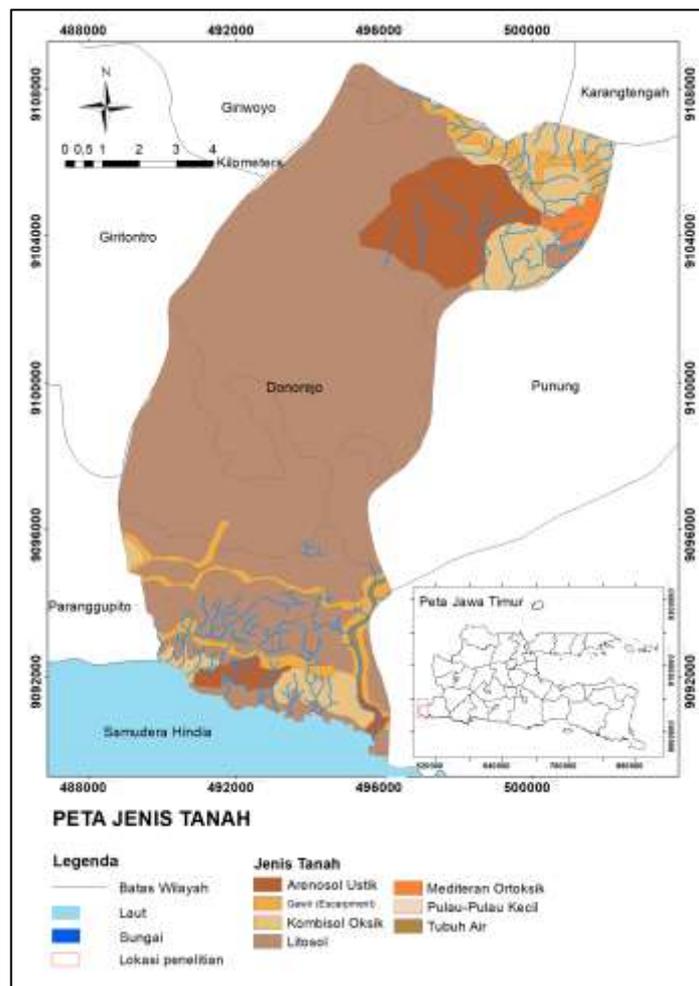
Gambar 4. 4 Peta zona infiltrasi kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)

Selanjutnya, kita ketahui bahwa hidrologi permukaan dan air tanah dihubungkan oleh infiltrasi intensif melalui sambungan, retakan, dan lubang pembuangan. Bentuk lahan resapan yang banyak terdapat pada daerah

Batugamping yang terkarstifikasi baik. Menurut Kusumayudha (2005) dalam Wuryanta (2018), Batugamping mengandung lebih dari 90% kalsium karbonat (CaCO_3). Batuan ini memiliki sifat yang mudah bereaksi dan mudah melewatkan air (porositas tinggi). Oleh karena itu, pada metode APLIS, Batugamping dan zona resapan memiliki skor tertinggi yaitu 10 (Tabel 3.4). Menurut Ahr (2008), Batugamping memiliki jumlah pori primer yang jauh lebih banyak daripada batupasir.

4.1.5 Jenis Tanah (Soil)

Data jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) Kementerian Pertanian Republik Indonesia Tahun 2016.



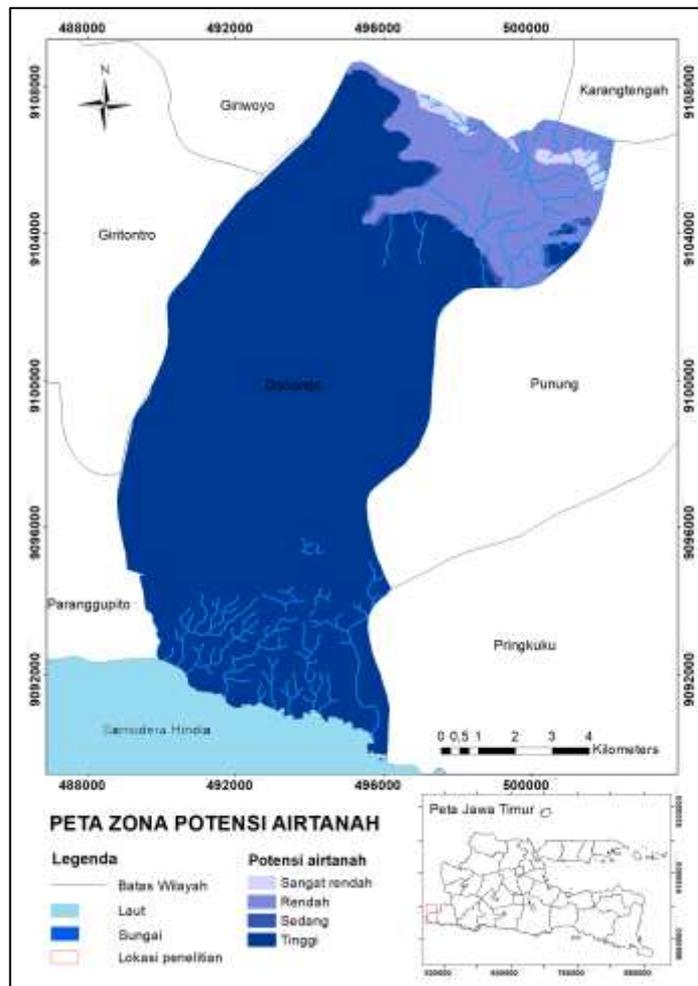
Gambar 4. 5 Peta jenis tanah kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)

Dari segi jenis tanah, kelas yang berbeda dikelompokkan berdasarkan karakteristik umum ketebalan dan tekstur yang dominan (Andreo dkk., 2018). Jadi, pada tanah yang tidak berevolusi tinggi, seperti leptosol (Tabel 3.5), di mana penutup tanah umumnya rendah dan teksturnya sangat kasar, nilai hasil maksimum (dan diberi skor 10); di sisi lain, di mana tanahnya tebal dan lempung (vertisols), maka infiltrasinya kecil (diberi skor 1).

Jenis tanah di kawasan Karst Donorojo diklasifikasikan menjadi 7 jenis tanah, yaitu arenosol ustik, escarpment, oxic combisols, lithosols, orthotic Mediterranean, pulau kecil, dan badan air. Selanjutnya dilakukan skoring jenis tanah sesuai Tabel 3.5. Secara umum daerah penelitian didominasi oleh jenis tanah Lithosols yang terdapat pada daerah dengan litologi Batugamping Formasi Wonosari pada daerah Batugamping yang terkarstifikasi baik (Gambar 4.5).

4.1.6 Zona Potensi Airtanah Berdasarkan Perhitungan Indeks APLIS

Setelah menghasilkan 5 peta parameter, kemudian dilakukan perhitungan nilai imbuhan airtanah yang (Indeks APLIS) sesuai dengan Persamaan. (1) dengan menggunakan GIS (Gambar 4.6). Menurut Duran et al. 2004 dalam Andreo dkk., (2008), bobot masing-masing variabel pada persamaan (1) di atas dimaksudkan untuk mewakili kepentingannya dalam menentukan nilai imbuhan, mengikuti hasil yang diperoleh dari analisis sebelumnya terhadap variabel-variabel yang mempengaruhi imbuhan. Dengan demikian, variabel litologi memiliki pengaruh tiga kali lebih besar daripada variabel ketinggian, kemiringan lereng, dan jenis tanah, sedangkan variabel zona infiltrasi memiliki bobot dua kali lebih penting. Dengan membaginya dengan 0,9, maka didapatkan nilai imbuhan yang berkisar dari minimal 14,44% hingga maksimum 78,89% dari hujan yang jatuh ke permukaan akuifer. Dengan kata lain, selalu ada beberapa imbuhan air, tetapi tidak pernah mencapai 100% dari curah hujan.



Gambar 4. 6 Peta APLIS Indeks kawasan karst Donorojo (Sumber : Hasil pengolahan)

Nilai imbuhan airtanah (R) di setiap akuifer diperoleh sebagai nilai R rata-rata yang sesuai dengan setiap unit spasial pada peta imbuhan. Rata-rata nilai imbuhan tahunan yang didapatkan kemudian dikelompokkan ke dalam lima kelas, seperti pada Tabel 4.1—sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Berdasarkan perhitungan nilai imbuhan airtanah ini menunjukkan bahwa wilayah terluas merupakan wilayah dengan nilai imbuhan tinggi (60 – 80 %) (Gambar 4.6).

Tabel 4. 1 Luas zona imbuhan airtanah dengan metode APLIS

Skor (%)	Kelas	Luasan (m ²)	Persentase (%)
≤ 20	Sangat rendah	1.482.643,31	1,19
(20 – 40]	Rendah	17.652.445,51	14,16

(40 – 60]	Sedang	712.094,18	0,57
(60 – 80]	Tinggi	104.809.819,87	84,08
	Total	124.657.002,87	100

Hasil analisis imbuan akuifer airtanah menunjukkan bahwa terdapat 4 zona potensi airtanah di kawasan karst Donorojo yaitu sangat rendah, rendah, sedang, dan tinggi. Zona imbuan airtanah, yang kemudian mencerminkan zona potensi airtanah, dengan nilai tertinggi dan terluas adalah 104.809.819,87 m² (84,08 % dari total luas kawasan karst Donorojo, Pacitan) (Tabel 4.1). Dapat diartikan bahwa kawasan tersebut ditetapkan sebagai zona potensi airtanah. Pada zona ini, bentang alam dan ekosistem di dalamnya harus tetap terjaga keasliannya. Daerah imbuan airtanah tertinggi terletak di bagian selatan daerah penelitian (Kawasan Karst Donorojo, Pacitan) yang merupakan daerah dengan tingkat pelarutan yang tinggi atau masif.

Zona resapan tinggi dapat ditemukan di atas batuan karbonat karstifikasi dengan permeabilitas yang baik, bentuk infiltrasi preferensial yang melimpah (dolin, *polje*, ponor, gua vertikal, dsb) (Gambar 3.3), dan di mana terdapat tanah litosol. Dari Tabel 7 diketahui bahwa 1,19% dari total area studi memiliki nilai imbuan yang sangat rendah yaitu 20 dengan luas 1.482.643,31 m², 14,16% dari total area studi memiliki nilai imbuan yang rendah yaitu 20 – 40 % dengan luas 17.652.445,51 m² dan 0,57 % dari luas total memiliki nilai imbuan airtanah sedang 40 – 60 % dengan luas 712.094,18 m². Nilai imbuan sangat rendah hingga rendah terletak di bagian utara daerah penelitian yang merupakan bagian dari batuan padat yang tersusun dari Formasi Nampol, Formasi Wuni, Formasi Jaten, dan Batuan Intrusif. Litologi penyusun di daerah ini memiliki permeabilitas yang rendah dan juga memiliki laju infiltrasi yang cukup rendah, serta tidak terdapat manifestasi seperti *Polje* dan sinkhole yang merupakan pintu masuk air hujan.

Dengan mempertimbangkan tingkat imbuan di kawasan karst Donorojo, Pacitan, dapat direncanakan tindakan pengelolaan yang tepat dalam rangka konservasi dan pengelolaan konsumsi sumber daya air. Dengan cara ini, penggunaan sumber daya air di daerah tersebut akan dikontrol secara ketat oleh

imbunan curah hujan, dan terutama ketika tingkat imbuhan rendah penggunaan sumber daya air harus dikontrol.

4.2 Metode Geolistrik

Data geolistrik metode VES (*Vertical Electrical Sounding*) konfigurasi *Schlumberger* ditujukan untuk mendapatkan informasi tentang kedalaman/ketebalan lapisan batuan dari harga resistivitasnya secara vertikal, guna mendapatkan Gambaran geologi yang lengkap di bawah permukaan dan menentukan lapisan batuan yang berpotensi menjadi lapisan akifer di kawasan karst Donorojo, Pacitan. Titik pengukuran geolistrik VES pada penelitian ini total berjumlah 26 titik pengukuran dengan panjang lintasan bervariasi dimulai dari 250 meter hingga panjang lintasan 600 meter. Adanya tebing, jurang, hutan dengan semak tinggi berduci dan tanaman keras yang lebat, serta kemiringan yang lebih dari 45° menyebabkan jarak bentangan masing-masing titik bervariasi karena menyesuaikan dengan kondisi di lapangan. Pengolahan data VES dilakukan dengan menggunakan software IP2WIN untuk mendapatkan grafik log dan hasil inversi. Konsep yang digunakan untuk mengolah data VES ialah melakukan *curve fitting*. Data hasil lapangan masih berupa tahanan jenis atau resistivitas semu sehingga perlu dilakukan proses inversi untuk dapat mengetahui nilai resistivitas sebenarnya. Variabel yang digunakan dalam proses *curve fitting* ialah kedalaman dan nilai resistivitas.

Hasil yang didapatkan dari pengolahan menggunakan IPI2WIN merupakan data 1-dimensi (1D) yang berupa kurva, dan table yang berisi informasi tentang nilai resistivitas, kedalaman, serta ketebalan setiap lapisan. Kemudian dilakukan interpretasi data pada masing-masing titik pengukuran untuk mendapatkan Gambaran geologi di bawah permukaan dan menentukan lapisan batuan yang berpotensi menjadi lapisan akuifer. Pada daerah pengukuran terdapat 4 formasi geologi utama yaitu Formasi Jaten, Formasi Wuni, Formasi Nampol, dan Formasi Nampol. Titik 19A berada di Formasi Jaten yang secara geologi tersusun atas batupasir kuarsa, batupasir tufan, batulanau, batulempung, napal, Batugamping napalan. Titik 13A, 17A, dan 18A berada di Formasi Wuni yang secara geologi tersusun atas aglomerat bersisipan batupasir tufan dan batupasir kasar. Titik 15A

berada di Formasi Nampol yang tersusun atas konglomerat, batupasir konglomeratan, aglomerat, batu lanau, batu lempung dan tuff. Titik 12A berada dekat dengan Formasi Nampol dan Formasi Wonosari. Sedangkan 18 titik-titik pengukuran sisanya, keseluruhan berada di Formasi Wonosari yang tersusun atas Batugamping, Batugamping napalan-tufan, Batugamping konglomerat, batupasir tufan dan batu lanau.

Tabel 4. 2 Interpretasi litologi batuan dengan nilai range resistivitas

No	Range Resistivitas (Ohm-m)	Dugaan litologi
1	< 10	<i>Top Soil</i> /batulempung tufan/batupasir tufan/batulempung
2	10 - 20	Batugamping napalan-tufan/batulanau tufan/batu lanau
3	20 - 100	Batugamping/batupasir/konglomerat
4	100 - 250	Batugamping konglomerat/Aglomerat/
5	>250	Batugamping pejal

Sumber : Wicaksono dkk., 2020; Murti, 2009; Suharso, 2018

Dalam perspektif nilai resistivitas yang dikaitkan dengan litologi batuan dapat diartikan luas. Artinya adalah sifat resistivitas batuan berbentuk range dan memiliki nilai yang tidak spesifik. Hal tersebut dikarenakan pada tiap batuan memiliki sifat fisis yang berbeda akibat proses geologi. Oleh karena itu, untuk mempermudah proses interpretasi data maka penulis membuat klasifikasi nilai resistivitas dan dugaan litologinya dengan mengacu dari berbagai sumber referensi dengan studi kasus yang kurang lebih sama (Tabel 4.2).

Setelah mengetahui litologi penyusun bawah permukaan di daerah penelitian, kemudian penulis melakukan interpretasi target akuifer dengan mempertimbangkan litologi penyusun dan nilai resistivitasnya. Beberapa penelitian menganggap bahwa Batugamping dan Batugamping konglomerat yang memiliki range nilai resistivitas antara 30 s.d 170 Ohm.m diinterpretasikan sebagai akuifer di kawasan karst karena nilai resistivitas yang cukup rendah pada litologi ini mengindikasikan keterdapatannya airtanah (Wicaksono dkk., 2020) (Murti, 2009) (Suharso, 2018). Informasi ini kemudian kami gunakan untuk menginterpretasikan

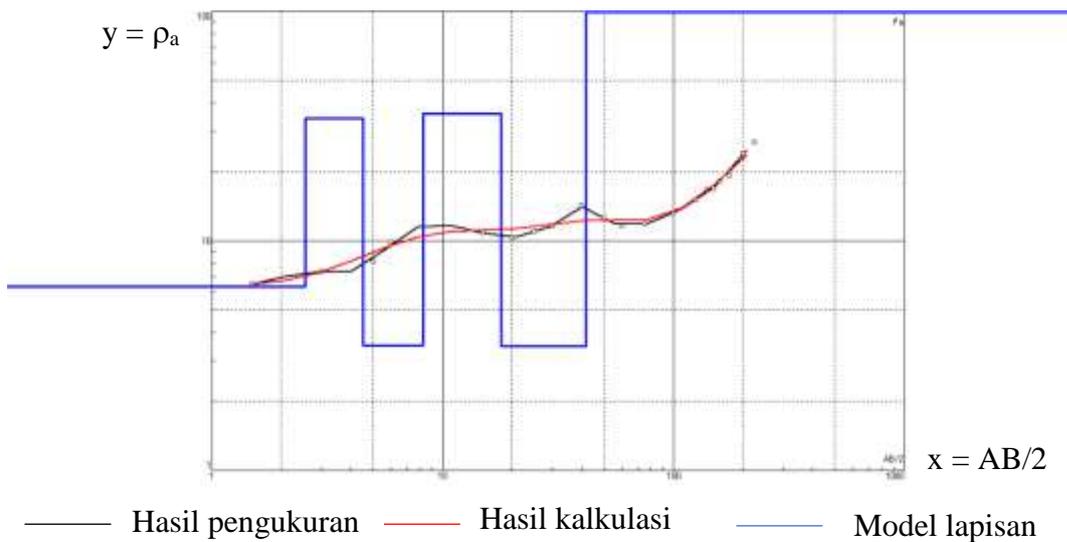
titik-titik yang berada di Formasi Wonosari. Seperti diketahui bahwa daerah penelitian terdiri dari 4 formasi utama, maka di formasi lain (kawasan *non*-karst), Batupasir dan Konglomerat yang memiliki range nilai resistivitas 20 s.d 100 Ohm.m diinterpretasikan sebagai akuifer *non*-karst (Firdaus dkk., 2018). Setelah dilakukan interpretasi pada masing-masing hasil pengolahan data 1D maka peneliti melakukan pemodelan 3-dimensi untuk mengetahui Gambaran/model bawah permukaan akuifer di kawasan karst Donorojo, Pacitan.

4.2.1 Hasil dan Interpretasi VES 1D

Pada penelitian ini terdapat 24 titik geolistrik VES, tetapi yang di bahas pada sub bab 4.2.1 ini berjumlah total 10 titik yaitu titik 1A, 5A, 7A, 9A, 11A, 13A, 16A, 18A, 22A, dan 24A. Selain itu 16 titik VES lainnya tercantum pada lembar lampiran.

4.2.1.1 Hasil dan interpretasi titik VES 1A

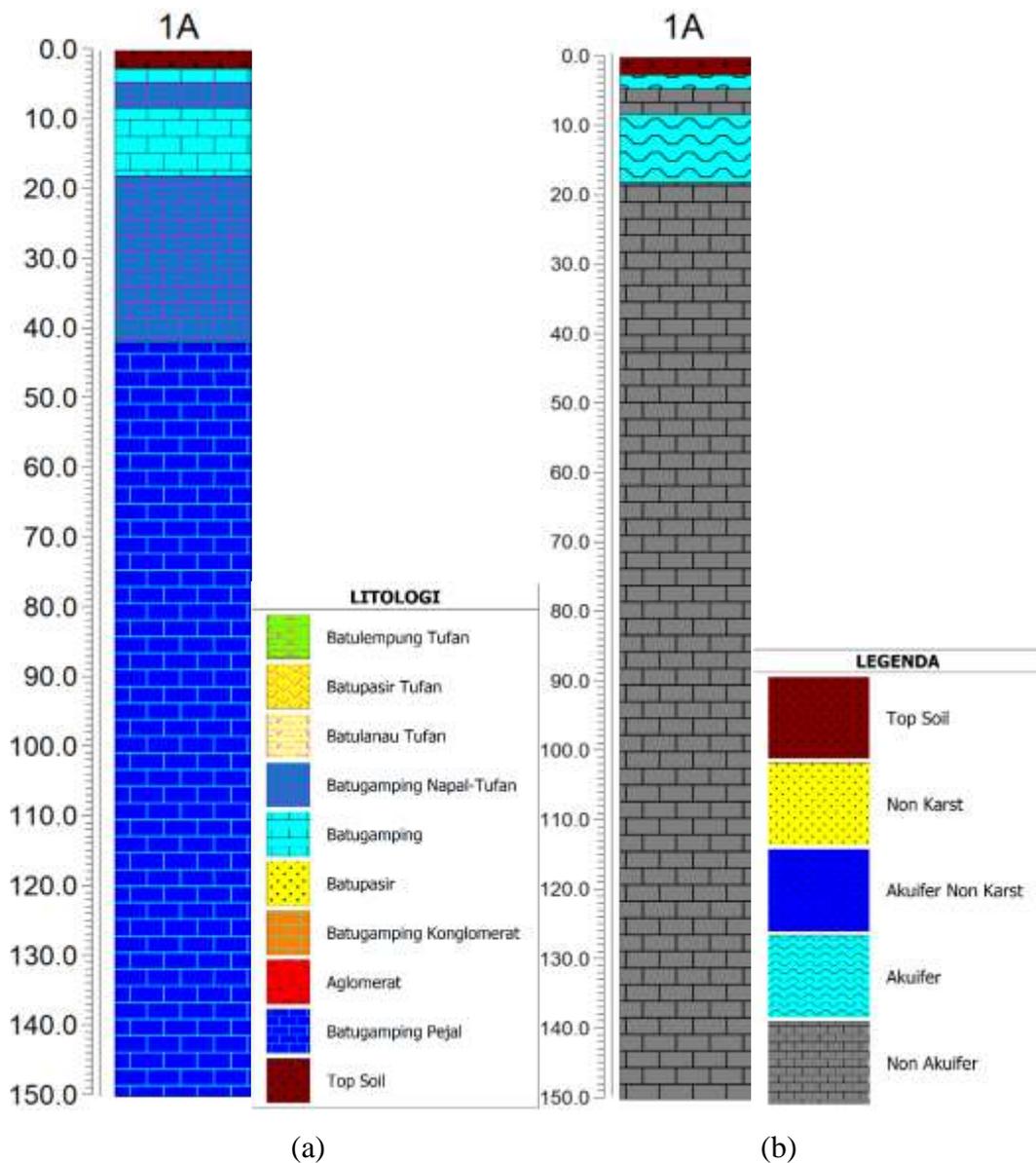
Titik VES 1A berada pada poisisi 8°12'20.97"S dan 110°56'53.53"E dengan total panjang lintasan 450 meter, terletak pada elevasi 158 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 150 meter. Hasil inversi atau pengolahan data resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.7. Hasil pengolahan data menunjukkan 6 lapisan yang menyusun litologi bawah permukaan titik VES 1A (Tabel 4.3). Lapisan pertama diinterpretasikan sebagai lapisan *Top Soil* atau lapisan penutup tanah dengan nilai resistivitas sebesar 6,3 Ω m. Sesuai dengan kondisi geologi di titik ini, lapisan penutup tanah ini berupa lapisan tanah litosol yang diduga bercampur dengan Batugamping dibagian dalam. Tebal lapisan sebesar 2,54 m dan berada pada kedalaman 0 – 2,54 m dan bukan merupakan akuifer. Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai Batugamping dengan nilai resistivitas 34,3 Ω m. Lapisan kedua berada pada kedalaman 2,54 – 4,53 m dan memiliki ketebalan 1,99 m. Lapisan ini berpotensi sebagai akuifer, namun hanya sebagai akuifer permukaan. Lapisan ketiga diinterpretasikan sebagai Batugamping napal-tufan dengan nilai resistivitas 3,49 Ω m. Lapisan batuan ini berada pada kedalaman 4,53 – 8,21 m. Lapisan ini memiliki ketebalan 3,68 m dan tidak berpotensi menjadi akifer.



Gambar 4. 7 Hasil *curve matching inversion* titik 1A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi

Tabel 4. 3 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 1A

Titik 1A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ω m)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	2,54	2,54	6,3	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	4,53	1,99	34,3	Batugamping	Akuifer
3	8,21	3,68	3,49	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
4	18	9,76	35,9	Batugamping	Akuifer
5	41,9	23,9	3,46	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
6	150	126,1	2169	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>



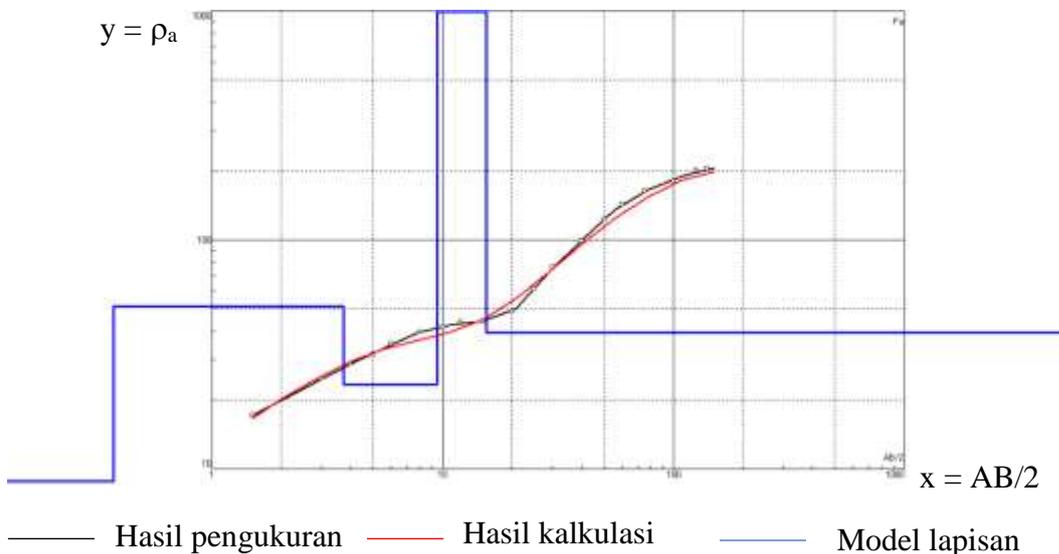
Gambar 4. 8 (a) Interpretasi litologi titik 1A (b) Identifikasi akuifer di titik 1A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 2,5 s.d 5 meter dan 8 s.d 18 meter

Batugamping dengan nilai resistivitas 35,9 Ω m, tebal 9,76 m, dan berada pada kedalaman 4,53 – 18 m diinterpretasikan pada lapisan keempat. Lapisan keempat berpotensi sebagai akifer. Lapisan kelima diinterpretasikan sebagai Batugamping napal-tufan dengan nilai resistivitas yang rendah yaitu 3,46 Ω m dengan ketebalan 23,9 m berada pada kedalaman 18 – 41,9 m, dan tidak berpotensi sebagai akuifer. Lapisan keenam iinterpretasikan sebagai Batugamping pejal karena memiliki nilai resistivitas yang sangat tinggi yaitu 2169 Ω m, berada pada

kedalaman 41,9 – 150 m, dengan ketebalan 126,1 m. Karena nilai resistivitas yang tinggi, diduga Batugamping ini bersifat masif, porositas relatif sedikit, dan proses karstifikasi relatif belum berkembang dengan baik. Interpretasi litologi titik 1A dan identifikasi potensi akuifer di titik 1A dapat dilihat pada Gambar 4.8 (a) dan (b).

4.2.1.2 Hasil dan interpretasi titik VES 5A

Selanjutnya untuk titik VES 5A ini berada pada posisi $8^{\circ}10'1.65''S$ dan $110^{\circ}56'26.01''E$ dengan total panjang lintasan 280 meter, terletak pada elevasi 303 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 150 meter. Hasil inversi atau pengolahan data resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.9 berikut.



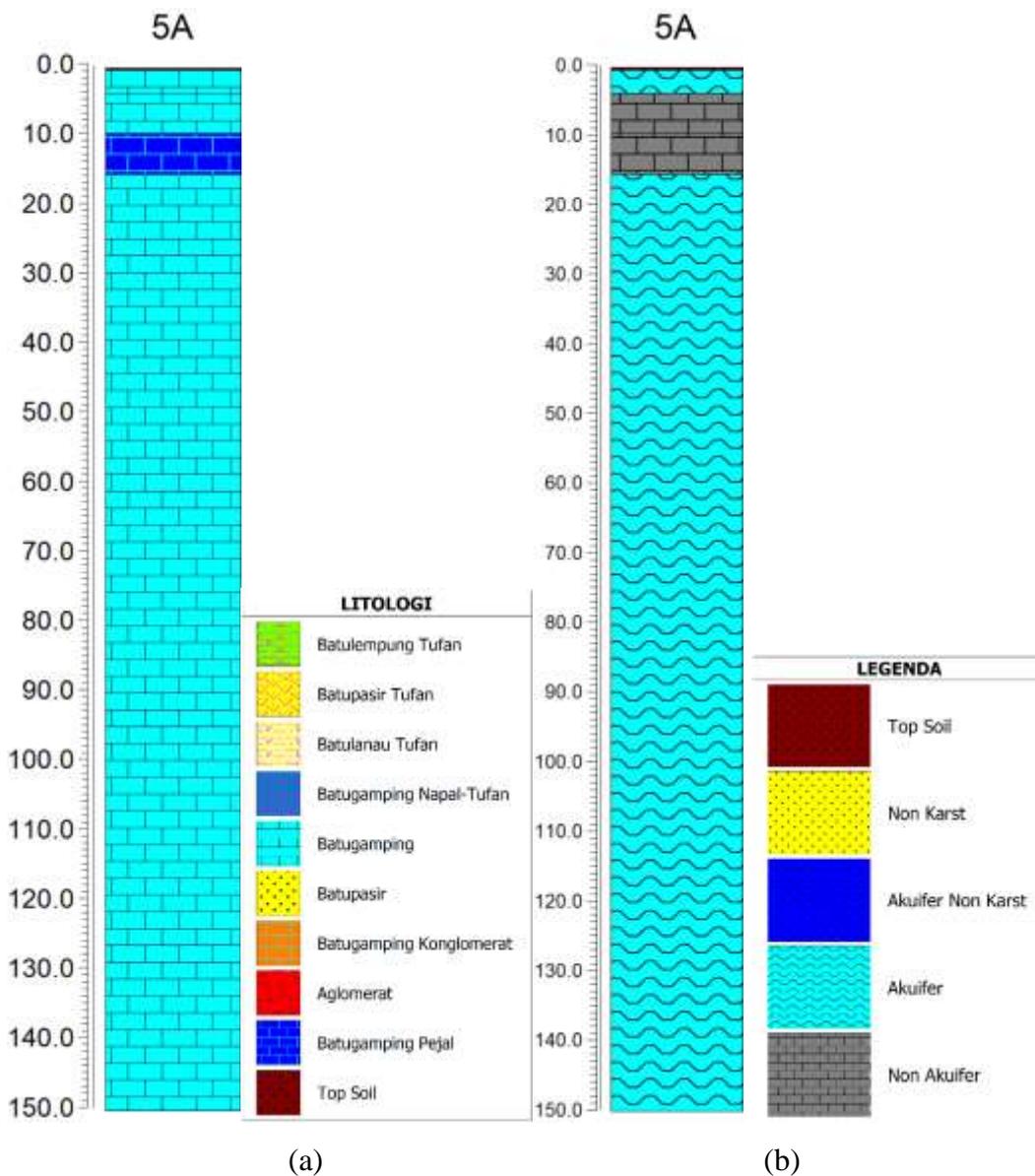
Gambar 4. 9 Hasil *curve matching inversion* titik 5A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi

Hasil interpretasi litologi dan dugaan akuifer disajikan pada Tabel 4.4 dan penampang secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.10. Dari pengolahan data, terlihat jumlah lapisan pada titik VES 5A yaitu sebanyak 5 lapisan. Lapisan pertama dengan kedalaman 0 - 0,374 meter dengan nilai resistivitas $5,68 \Omega m$ diinterpretasikan sebagai lapisan *Top Soil*. Lapisan kedua dengan kedalaman dari 0,374 – 3,74 dengan nilai resistivitas $51,2 \Omega m$ diinterpretasikan sebagai batu gamping. Lapisan ketiga dengan kedalaman 3,74 – 9,46 meter dengan nilai resistivitas $23,4 \Omega m$ diinterpretasikan sebagai Batugamping. Lapisan keempat

dengan kedalaman 9,46 – 15,4 meter dengan nilai resistivitas yang tinggi 5534 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batugamping pejal. Serta lapisan ke 5 dengan kedalaman 15,4 - 150 meter dengan nilai resistivitas 39,2 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batugamping. Pada titik pengukuran VES 5A ditemukan lapisan yang berpotensi menjadi akuifer. Yaitu pada lapisan ke 2 dan lapisan terakhir.

Tabel 4. 4 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 5A

Titik 5A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0,374	0,374	5,68	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	3,74	3,36	51,2	Batugamping	Akuifer
3	9,46	5,73	23,4	Batugamping	<i>Non-akuifer</i>
4	15,4	5,94	5534	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
5	150	134,6	39,2	Batugamping	Akuifer

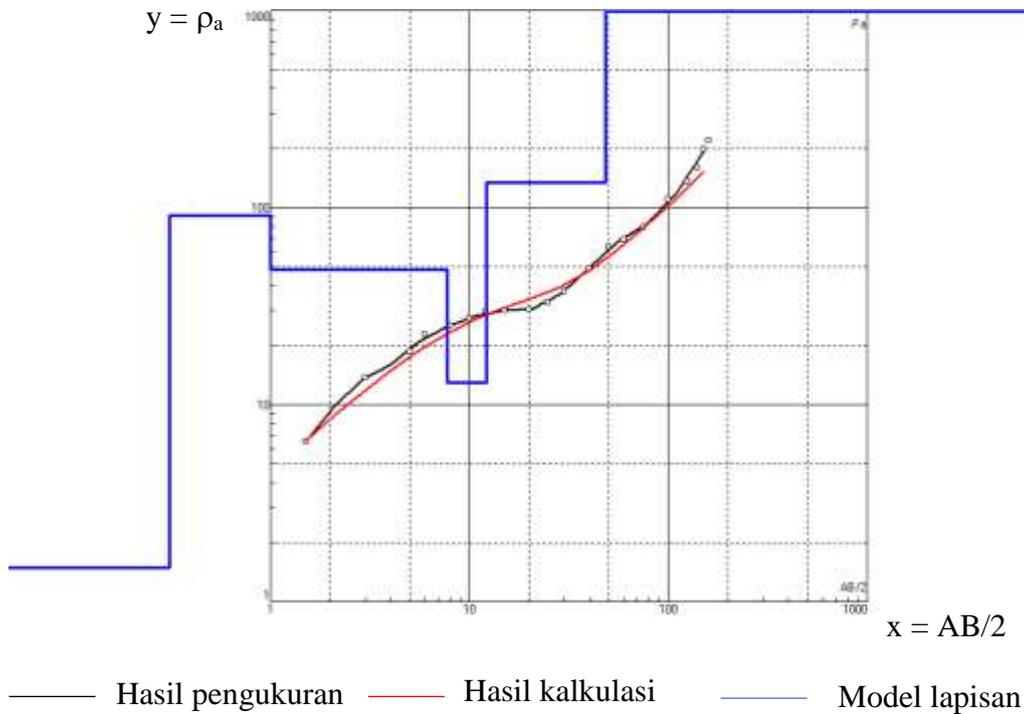


Gambar 4. 10 (a) Interpretasi litologi titik 5A (b) Identifikasi akuifer di titik 5A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 3,74 meter dan 15 meter

4.2.1.3 Hasil dan interpretasi titik VES 7A

Gambar 4.11 adalah Gambar *curve matching inversion* titik 7A. Dimana titik VES 7A ini berada pada koordinat 8° 8'40.86"S dan 110°54'37.65"E dengan panjang lintasan 320 meter, terletak pada elevasi 332 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 150 meter. Hasil interpretasi litologi dan dugaan akuifer

disajikan pada Tabel 4.5 dan penampang secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.12.

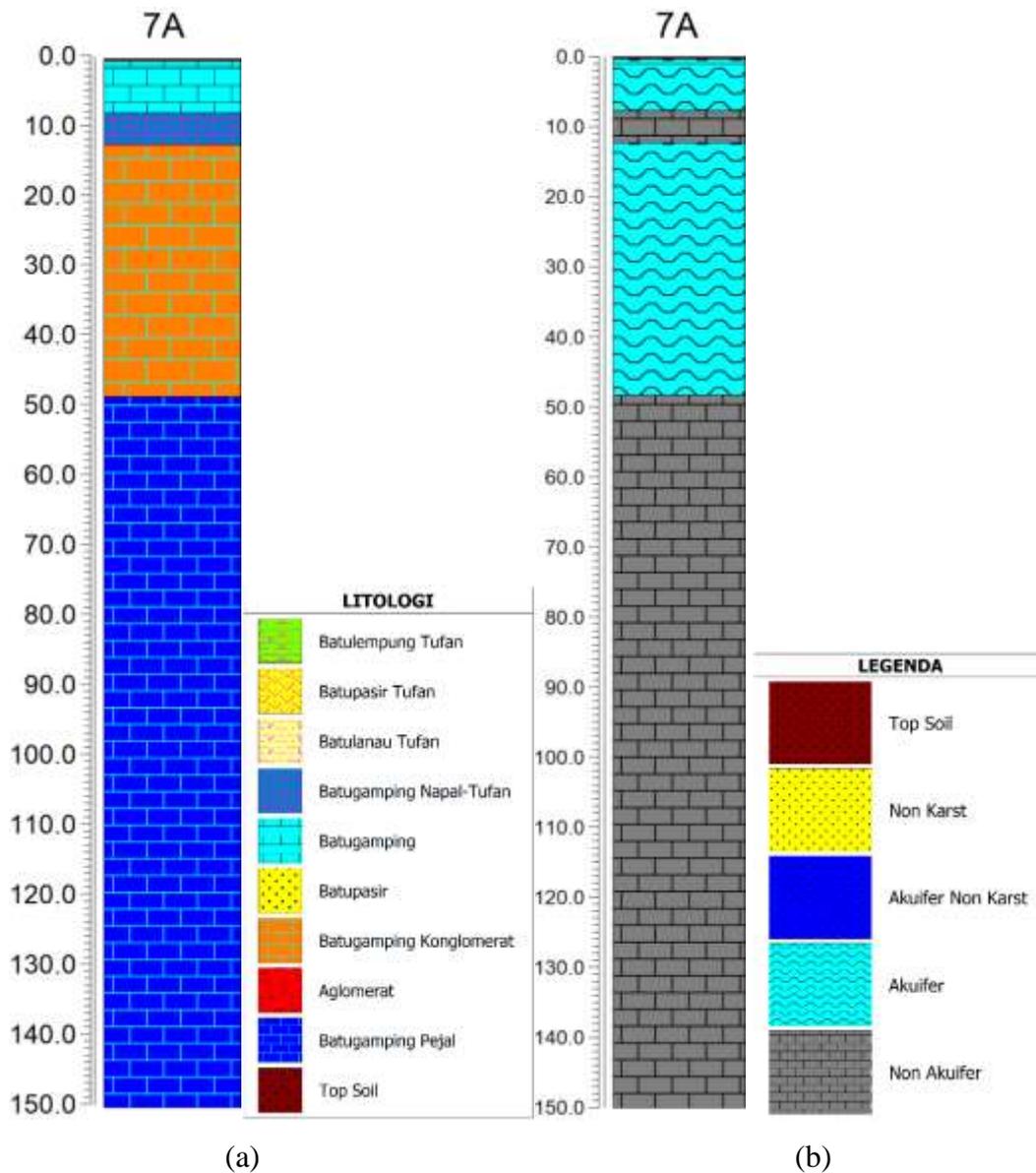


Gambar 4. 11 Hasil *curve matching inversion* titik 7A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi

Tabel 4. 5 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 7A

Titik 7A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ω m)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0,312	0,312	1,49	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	1	0,688	91,6	Batugamping	Akuifer
3	7,69	6,69	48,3	Batugamping	Akuifer
4	12,3	4,57	13	Batugamping Napalan-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
5	48,3	36	134	Batugamping Konglomerat	Akuifer

6	150	114	10555	Batugamping Pejal	Non-akuifer
---	-----	-----	-------	----------------------	-------------



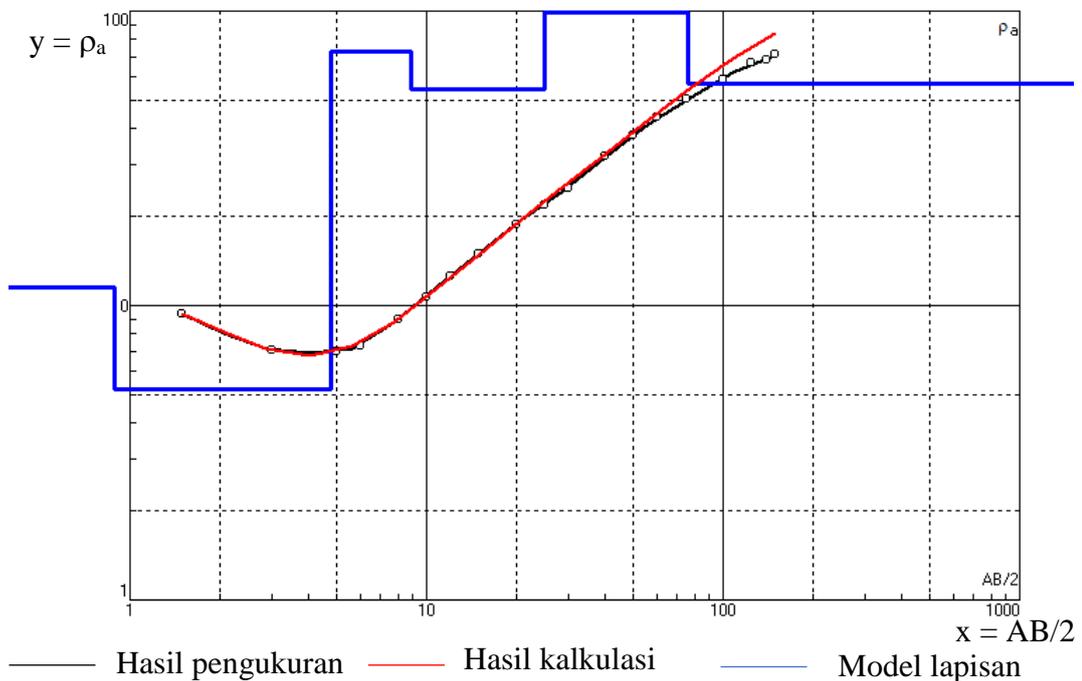
Gambar 4. 12 (a) Interpretasi litologi titik 7A (b) Identifikasi akuifer di titik 7A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 7 meter dan Batugamping Konglomerat pada kedalaman 48 meter

Dari hasil pengolahan data titik VES 7A pada Tabel 4.5, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12, terlihat jumlah lapisan pada titik 7A yaitu sebanyak 6 lapisan. Lapisan pertama dengan kedalaman 0 – 0,312 meter dengan nilai resistivitas 149

Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan *Top Soil*. Lapisan kedua dengan kedalaman dari 0,312 – 1 dengan nilai resistivitas 91,6 Ωm diinterpretasikan sebagai batu gamping. Lapisan ketiga dengan kedalaman 1 – 7,69 meter dengan nilai resistivitas 48,3 Ωm diinterpretasikan sebagai Batugamping. Lapisan keempat dengan kedalaman 7,69 – 12,3 meter dengan nilai resistivitas 13 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batugamping napalan tufan. Lapisan ke 5 dengan kedalaman 12,3 – 48,3 meter dengan nilai resistivitas 134 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batugamping konglomerat. Serta lapisan ke 6 dengan kedalaman 48,3 meter – 150 meter dengan nilai resistivitas 10555 diinterpretasikan sebagai Batugamping pejal. Pada titik pengukuran VES 7A ditemukan lapisan yang berpotensi menjadi akuifer. Yaitu pada lapisan ke 2, 3 dan ke 5. Namun lapisan ke 2 dan 3 diduga adalah akuifer permukaan saja.

4.2.1.4 Hasil dan interpretasi titik VES 9A

Inversi atau pengolahan data resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Hasil *curve matching inversion* titik 9A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi

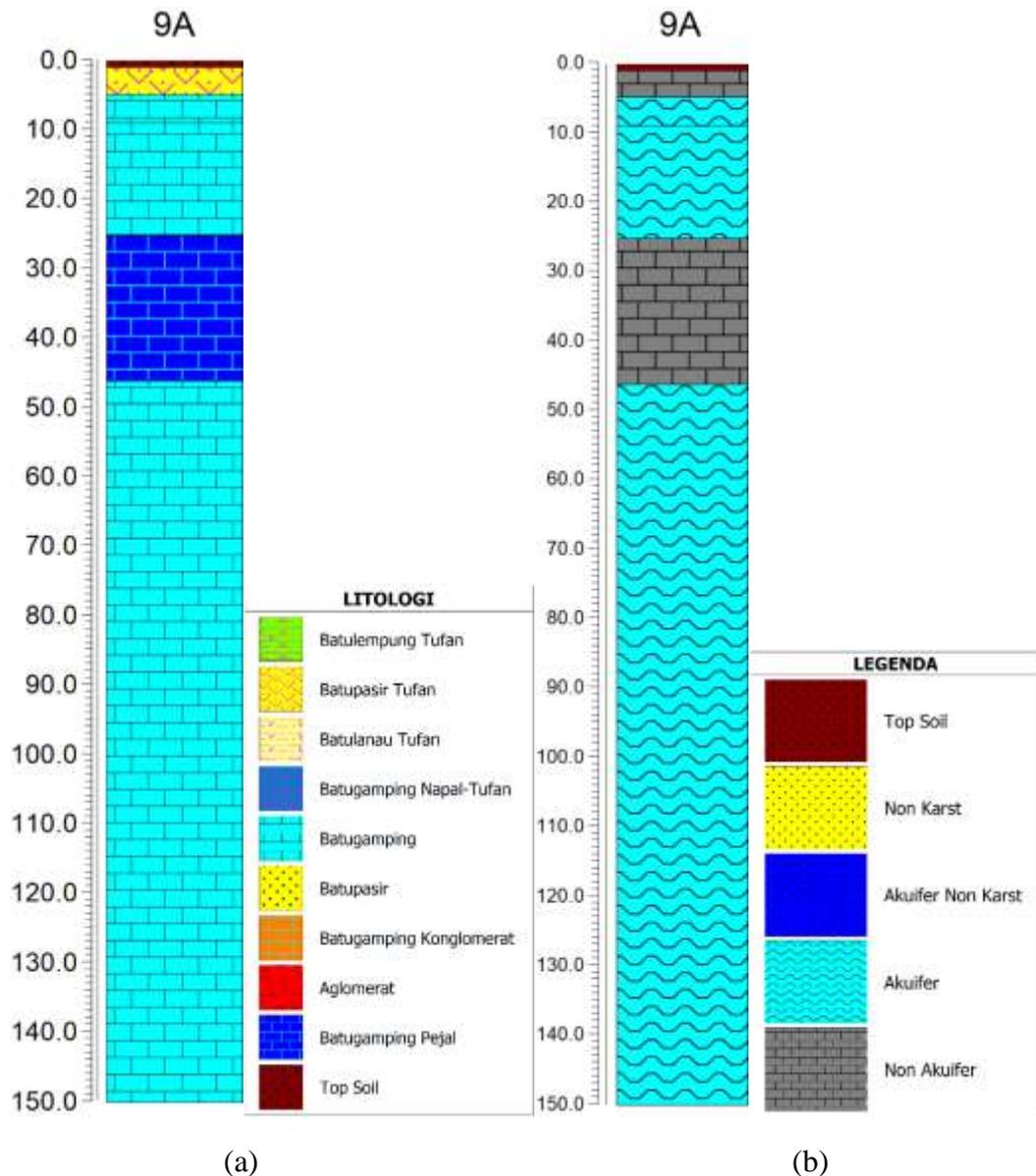
Titik VES 9A berada pada posisi $8^{\circ} 7'56.28''S$ dan $110^{\circ}56'58.23''E$ dengan total panjang lintasan 300 meter, terletak pada elevasi 332 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 150 meter. Hasil interpretasi litologi dan dugaan akuifer disajikan pada Tabel 4.6 dan penampang secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.14.

Tabel 4. 6 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 9A

Titik 9A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0,8831	0,8831	11,48	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	4,778	3,895	5,185	Batupasir Tufan	<i>Non-akuifer</i>
3	8,909	4,131	72,6	Batugamping	Akuifer
4	25,1	16,2	54,29	Batugamping	Akuifer
5	46,06	10,96	380,6	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
6	150	103,94	56,78	Batugamping	Akuifer

Hasil pengolahan data menunjukkan 6 lapisan yang menyusun litologi bawah permukaan titik VES 9A. Lapisan pertama diinterpretasikan sebagai lapisan *Top Soil* atau lapisan penutup tanah dengan nilai resistivitas sebesar 11,48 Ωm . Tebal lapisan *Top Soil* ini sebesar 0,8831 m. Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai batupasir tufan dengan nilai resistivitas 5,185 Ωm . Nilai resistivitas yang relatif kecil tersebut menunjukkan bahwa pada satuan batupasir tufan memiliki sifat batuan yang tidak kompak atau relatif rendah. Lapisan kedua berada pada kedalaman 0,8831 – 4,778 m dan memiliki ketebalan 3,895 m. Lapisan ketiga diinterpretasikan sebagai Batugamping dengan nilai resistivitas 72,6 Ωm . Lapisan batuan ini berada pada kedalaman 4,778 – 8,909 m. Lapisan ini memiliki ketebalan 4,131 m dan berpotensi menjadi akifer. Batugamping dengan nilai resistivitas 54,29 Ωm , tebal 16,2 m, dan berada pada kedalaman 8,909 – 25,1 m diinterpretasikan pada lapisan keempat. Lapisan keempat berpotensi sebagai akifer. Lapisan kelima

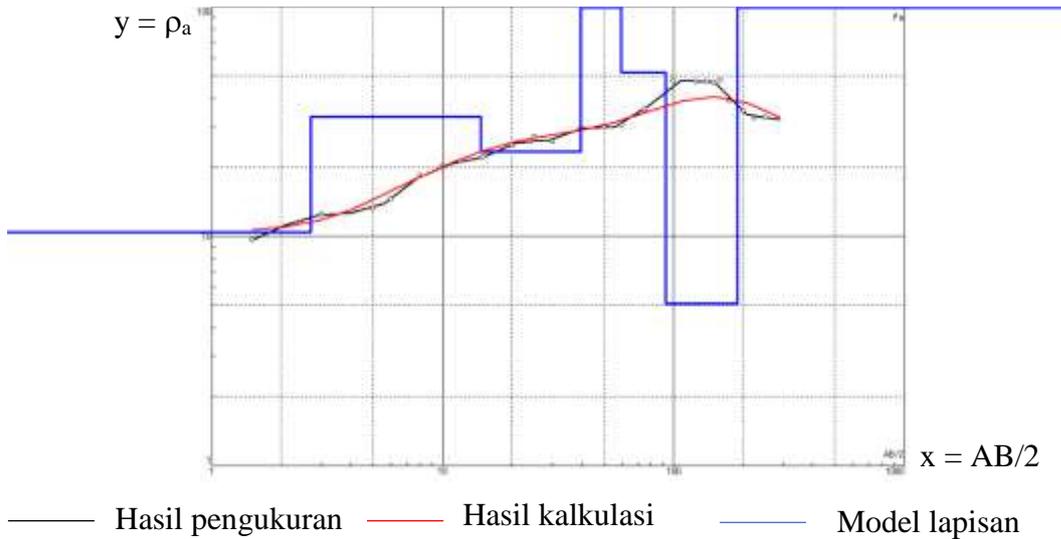
diinterpretasikan sebagai Batugamping pejal dengan nilai resistivitas 380,6 Ω m dengan ketebalan 10,96 m dan tidak berpotensi sebagai akuifer. Lapisan keenam diinterpretasikan sebagai Batugamping karena pada lapisan ini nilai resistivitas kembali menurun pada 56,78 Ω m mulai dari kedalaman 46,06 m, dan diduga dapat berpotensi sebagai akuifer.



Gambar 4. 14 (a) Interpretasi litologi titik 9A (b) Identifikasi akuifer di titik 9A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 8 meter dan 50 meter

4.2.1.5 Hasil dan interpretasi titik VES 11A

Kemudian untuk titik VES 11A ini berada pada posisi $8^{\circ} 5'41.63''S$ dan $110^{\circ}56'42.51''E$ dengan total panjang lintasan 500 meter, terletak pada elevasi 329 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 190 meter. Hasil inversi atau pengolahan data resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.15 berikut.



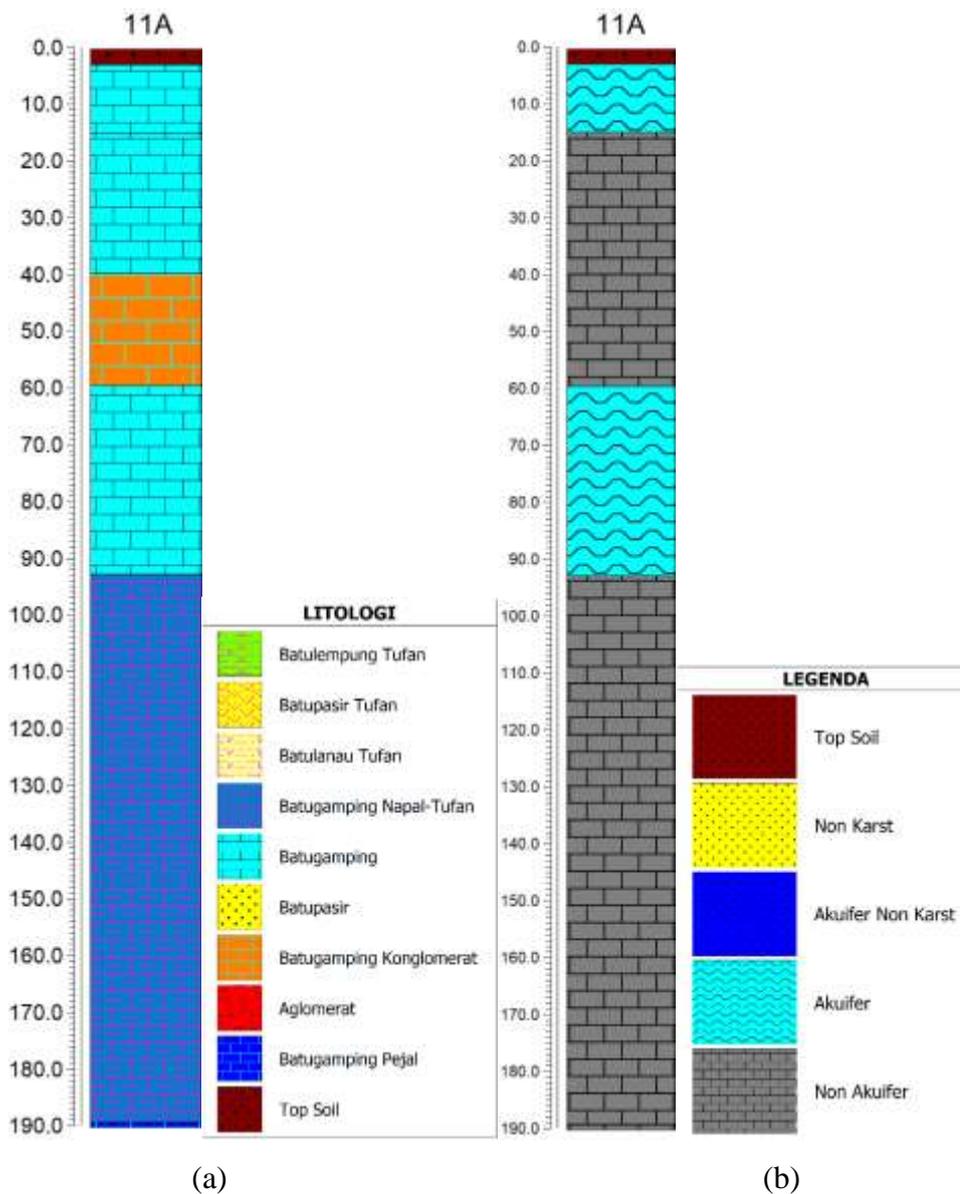
Gambar 4. 15 Hasil *curve matching inversion* titik 11A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 7 lapisan litologi

Tabel 4. 7 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 11A

Titik 11A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	2,68	2,68	10,4	Top Soil	Top Soil
2	14,7	12	33,2	Batugamping	Akuifer
3	39,5	24,8	23,4	Batugamping	Non-akuifer
4	59,3	19,8	184	Batugamping Konglomerat	Non-akuifer
5	92,5	33,2	51,8	Batugamping	Akuifer
6	189	96,8	5,08	Batugamping Napal-Tufan	Non-akuifer

7	190	1	1261	Batugamping Pejal	Non-akuifer
---	-----	---	------	----------------------	-------------

Hasil interpretasi litologi dan dugaan akuifer disajikan pada Tabel 4.7 dan penampang secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.16. Dari pengolahan data, terlihat jumlah lapisan pada titik VES 11A yaitu sebanyak 7 lapisan. Lapisan pertama dengan kedalaman 0 – 2,68 meter dengan nilai resistivitas 10,4 Ω m diinterpretasikan sebagai lapisan *Top Soil*. Lapisan kedua dengan kedalaman dari 2,68 – 14,7 dengan nilai resistivitas 33,2 Ω m diinterpretasikan sebagai batu gamping. Lapisan Batugamping ini diduga berpotensi sebagai akuifer. Lapisan ketiga dengan kedalaman 14,7 – 39,5 meter dengan nilai resistivitas 23,4 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batugamping. Lapisan keempat dengan kedalaman 39,5 – 59,3 meter dengan nilai resistivitas yang tinggi 184 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batugamping konglomerat dan bukan diduga sebagai akuifer. Lapisan kelima diduga sebagai batu gamping dan berpotensi sebagai akuifer. Lapisan ini memiliki nilai resistivitas 51,8 Ohm.m, berada pada kedalaman 59,3 – 92,5 dengan ketebalan 33,2 meter. Lapisan ketujuh diinterpretasikan sebagai Batugamping Napal-Tufan karena nilai resistivitasnya sangat kecil dibandingkan dengan lainnya yaitu sebesar 5,08 Ohm.m. Lapisan ini berada pada kedalaman 92,5 – 189 meter dan diduga bukan merupakan akuifer. Serta lapisan terakhir mulai dari kedalaman 190 meter dengan nilai resistivitas yang tinggi yakni sebesar 1261 Ohm.m diduga sebagai Batugamping pejal yang masih massif dan belum banyak terjadi proses pelarutan batuan.

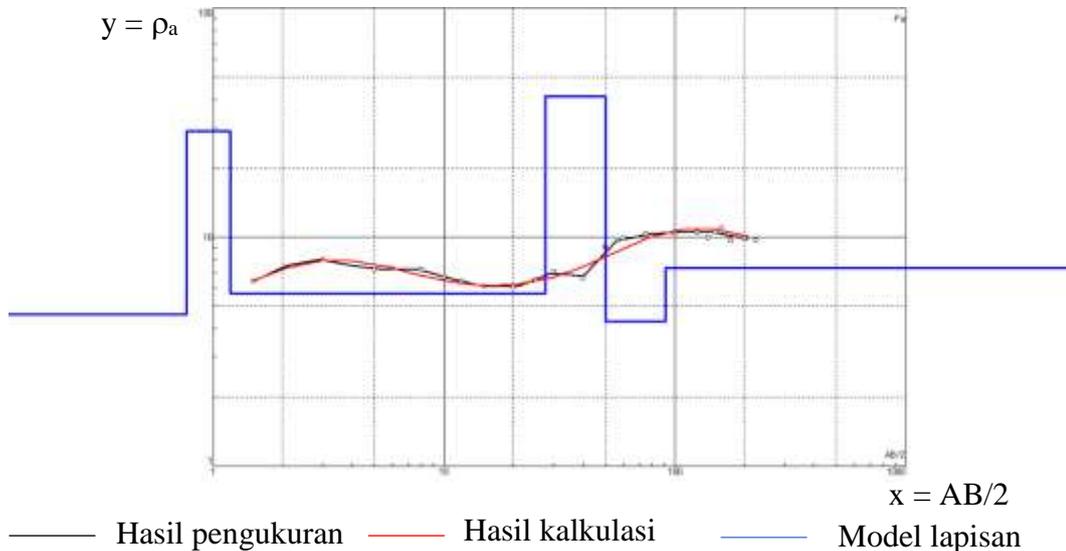


Gambar 4. 16 (a) Interpretasi litologi titik 11A (b) Identifikasi akuifer di titik 11A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 10 meter dan 60 s.d 80 meter

4.2.1.6 Hasil dan interpretasi titik VES 13A

Gambar 4.17 adalah Gambar *curve matching inversion* titik 13A. Dimana titik VES 13A ini berada pada koordinat $8^{\circ} 4'25.88''S$ dan $110^{\circ}57'47.56''E$ dengan panjang lintasan 450 meter, terletak pada elevasi 445 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 150 meter. Hasil interpretasi litologi dan dugaan akuifer

disajikan pada Tabel 4.8 dan penampang secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.18.



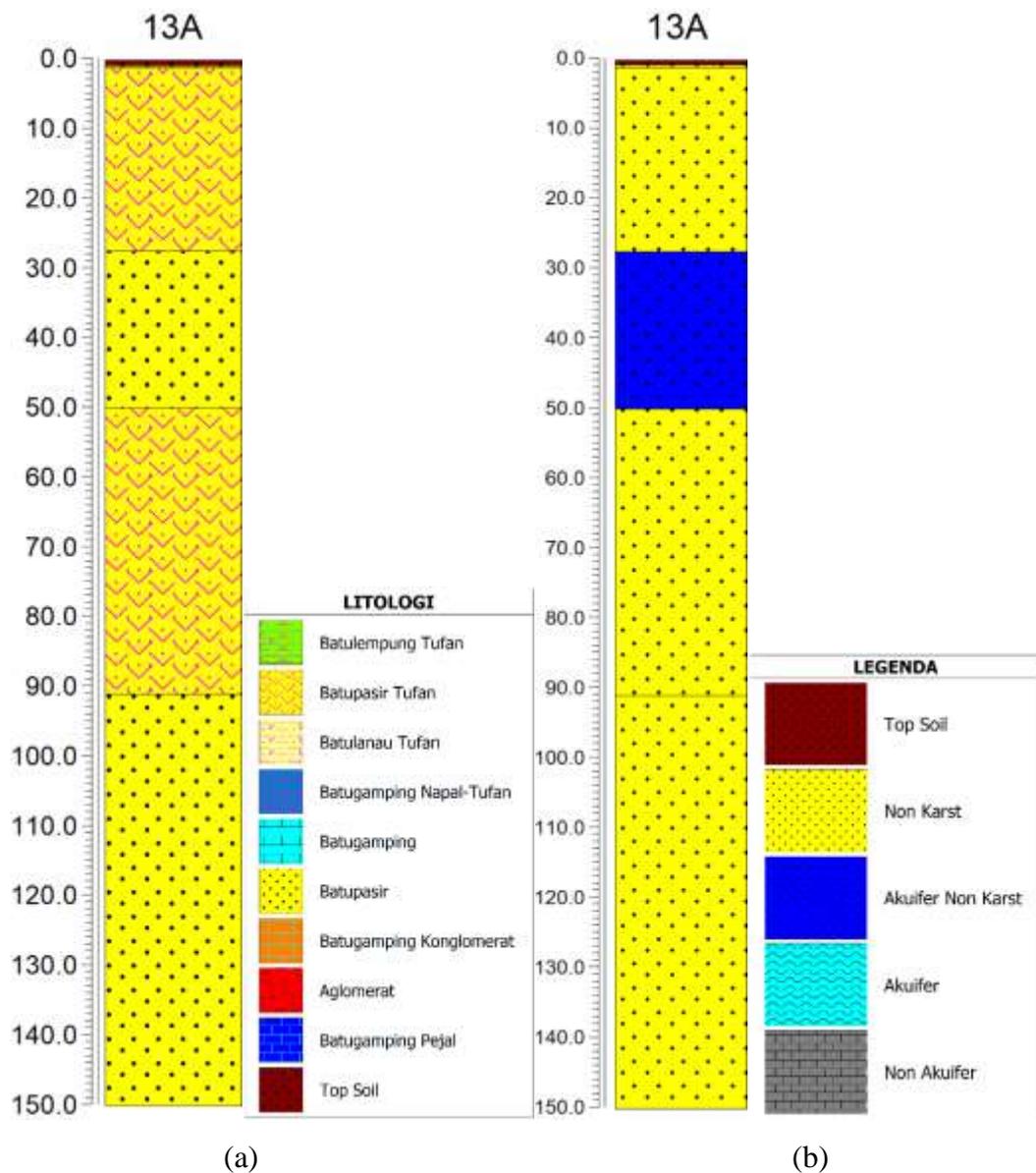
Gambar 4. 17 Hasil *curve matching inversion* titik 13A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi

Tabel 4. 8 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 13A

Titik 13A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0,77	0,77	4,6	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	1,19	0,416	29	Batupasir	<i>Non-karst</i>
3	27,4	26,2	5,67	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>
4	49,9	22,5	41,1	Batupasir	Akuifer <i>Non-karst</i>
5	90,9	41	4,27	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>
6	150	109	7,34	Batupasir	<i>Non-karst</i>

Dari hasil pengolahan data titik VES 13A pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.18, terlihat jumlah lapisan pada titik 13A yaitu sebanyak 6 lapisan. Lapisan pertama dengan kedalaman 0 – 0,77 meter dengan nilai resistivitas rendah 4,6 Ω m

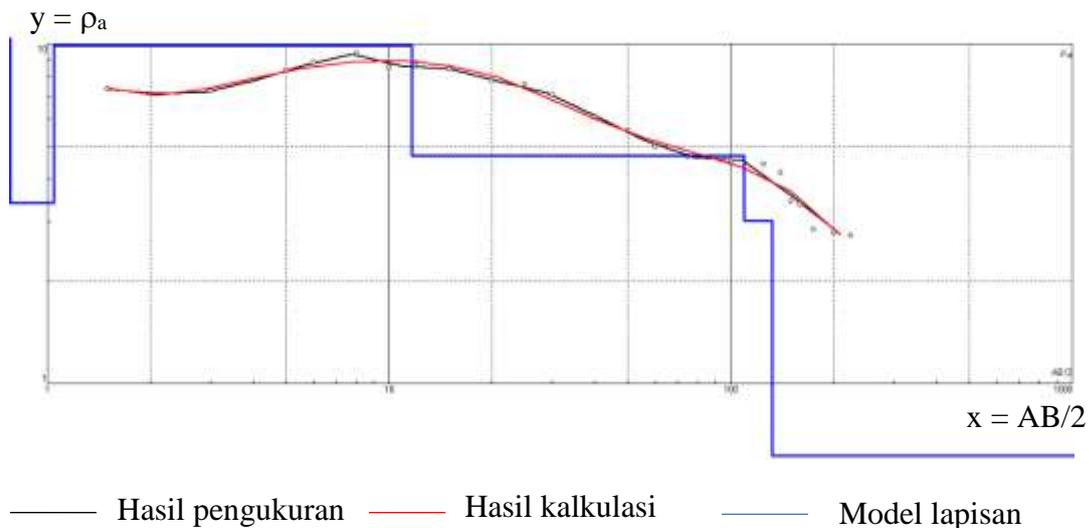
diinterpretasikan sebagai lapisan *Top Soil*. Lapisan kedua dengan kedalaman 0,77 – 1,19 dengan nilai resistivitas 29 Ω m diinterpretasikan sebagai batupasir. Lapisan ketiga dengan kedalaman 1,19 – 27,4 meter dengan nilai resistivitas 5,67 Ω m diinterpretasikan sebagai Batupasir Tufan. Lapisan keempat dengan kedalaman 27,4 – 49,9 meter dengan nilai resistivitas 41,1 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batupasir. Lapisan ke 5 dengan kedalaman 49,9 – 90,9 meter dengan nilai resistivitas 4,27 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batupasir tufan. Serta lapisan ke 6 dengan kedalaman 90,9 meter – 150 meter dengan nilai resistivitas 7,34 diinterpretasikan sebagai Batupasir. Pada titik pengukuran VES 7A ditemukan lapisan yang berpotensi menjadi akuifer yaitu pada lapisan ke 4. Hal ini didasarkan pada jenis litologi dan range nilai resistivitas berdasarkan penelitian terdahulu oleh Firdaus dkk., (2018).



Gambar 4. 18 (a) Interpretasi litologi titik 13A (b) Identifikasi akuifer di titik 13A ditemukan potensi akuifer *non*-karst yang tersusun atas Batupasir pada kedalaman sekitar 30 s.d 50 meter

4.2.1.7 Hasil dan interpretasi titik VES 16A

Titik VES 16A berada pada poisisi $8^{\circ} 6'5.53''S$ dan $111^{\circ} 0'23.09''E$ dengan total panjang lintasan 450 meter, terletak pada elevasi 338 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 150 meter. Hasil inversi atau pengolahan data resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.19 berikut:



Gambar 4. 19 Hasil *curve matching inversion* titik 16A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi

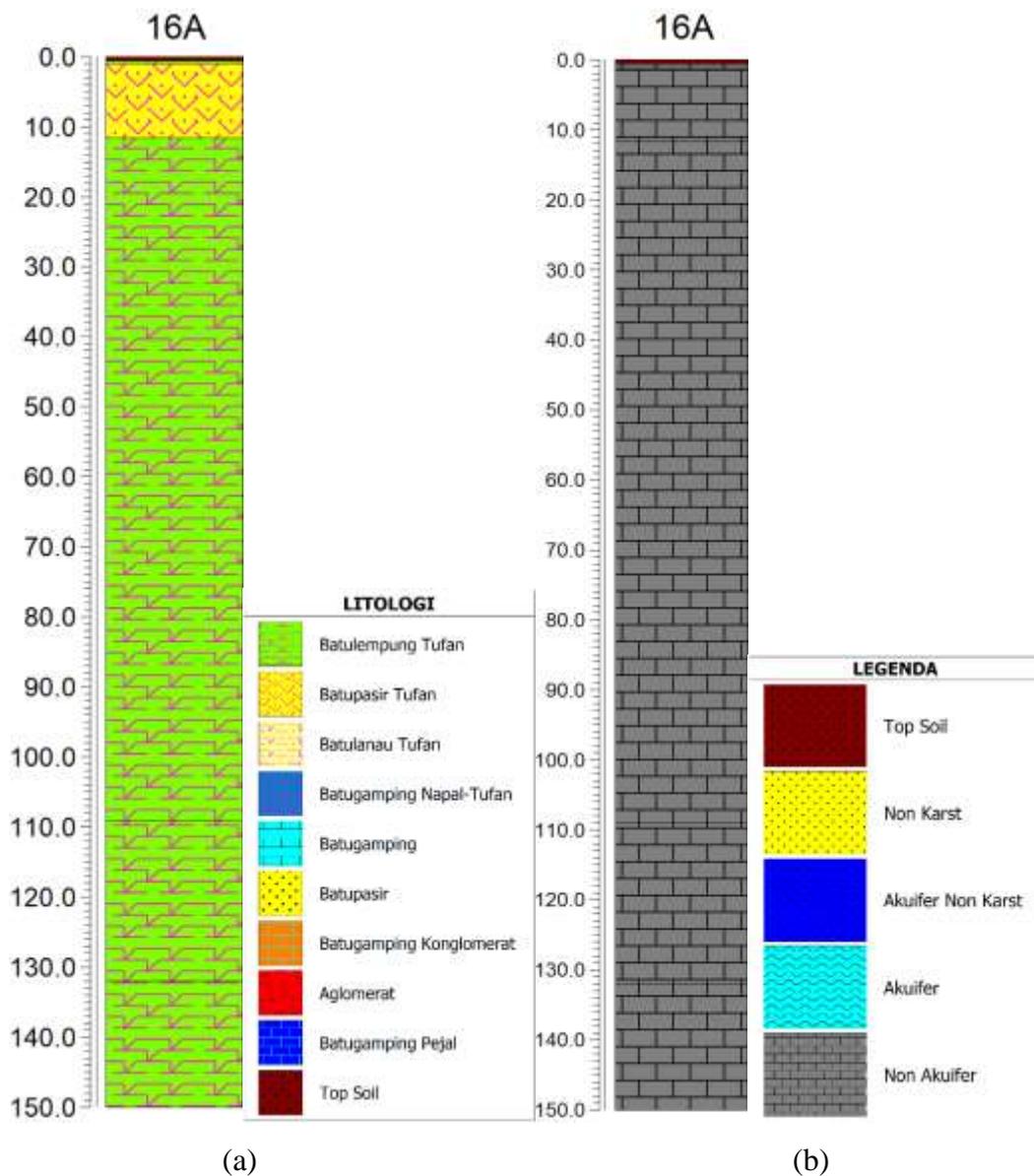
Hasil interpretasi litologi dan dugaan akuifer disajikan pada Tabel 4.9 dan penampang secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.20. Hasil pengolahan data menunjukkan 6 lapisan yang menyusun litologi bawah permukaan titik VES 16A. Dapat dilihat pada Tabel 4.9 bahwa pada titik ini nilai resistivitas batuan relatif kecil.

Lapisan pertama diinterpretasikan sebagai lapisan *Top Soil* atau lapisan penutup tanah dengan nilai resistivitas sebesar $10,4 \Omega\text{m}$. Tebal lapisan *Top Soil* ini sebesar $0,604 \text{ m}$. Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai Batulempung Tufan dengan nilai resistivitas $3,41 \Omega\text{m}$. Lapisan kedua berada pada kedalaman $0,604 - 1,64 \text{ m}$ dan memiliki ketebalan $0,437 \text{ m}$. Lapisan ketiga diinterpretasikan sebagai Batupasir Tufan dengan nilai resistivitas $9,89 \Omega\text{m}$. Lapisan batuan ini berada pada kedalaman $1,64 - 11,6 \text{ m}$ dengan ketebalan $10,6 \text{ m}$. Lapisan keempat sampai dengan keenam diinterpretasikan sebagai Batulempung Tufan dengan nilai resistivitas $4,699 \Omega\text{m}$, $3,02 \Omega\text{m}$, dan $0,33 \Omega\text{m}$ berada pada kedalaman mulai dari $11,6 - 150 \text{ meter}$. Pada titik VES 16A ini diduga tidak ditemukan potensi akuifer. Lapisan kelima diduga sebagai batu gamping dan berpotensi sebagai akuifer. Lapisan ini memiliki nilai resistivitas $51,8 \text{ Ohm.m}$, berada pada kedalaman $59,3 -$

92,5 dengan ketebalan 33,2 meter. Lapisan ketujuh diinterpretasikan sebagai Batugamping Napal-Tufan karena nilai resistivitasnya sangat kecil dibandingkan dengan lainnya yaitu sebesar 5,08 Ohm.m. Lapisan ini berada pada kedalaman 92,5 – 189 meter dan diduga bukan merupakan akuifer. Serta lapisan terakhir mulai dari kedalaman 190 meter dengan nilai resistivitas yang tinggi yakni sebesar 1261 Ohm.m diduga sebagai Batugamping pejal yang masih massif dan belum banyak terjadi proses pelarutan batuan.

Tabel 4. 9 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 16A

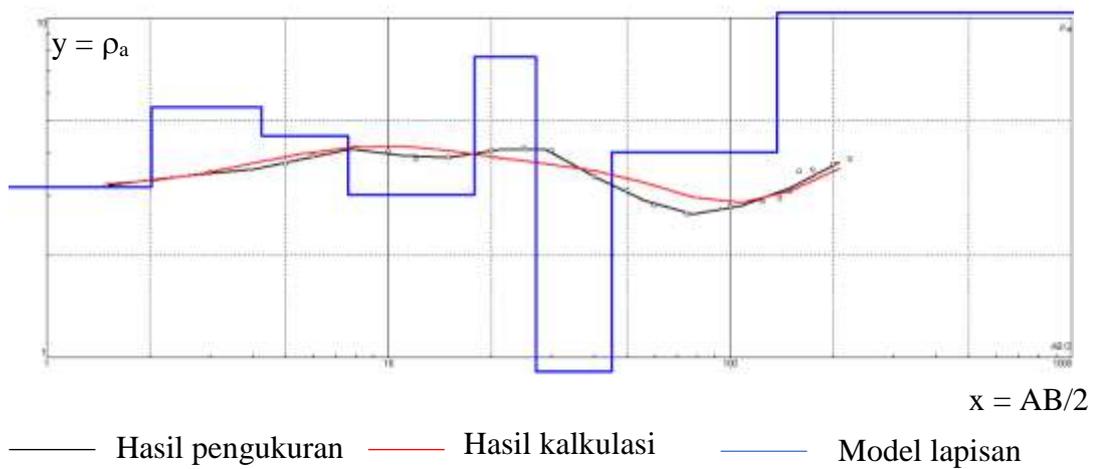
Titik 16A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ω m)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0,604	0,604	10,4	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	1,04	0,437	3,41	Batulempung Tufan	<i>Non-akuifer</i>
3	11,6	10,6	9,89	Batupasir Tufan	<i>Non-akuifer</i>
4	109	97,8	4,69	Batulempung Tufan	<i>Non-akuifer</i>
5	132	22,7	3,02	Batulempung Tufan	<i>Non-akuifer</i>
6	150	18	0,33	Batulempung Tufan	<i>Non-akuifer</i>



Gambar 4. 20 (a) Interpretasi litologi titik 16A (b) Identifikasi akuifer di titik 16A tidak ditemukan potensi akuifer karst

4.2.1.8 Hasil dan interpretasi titik VES 18A

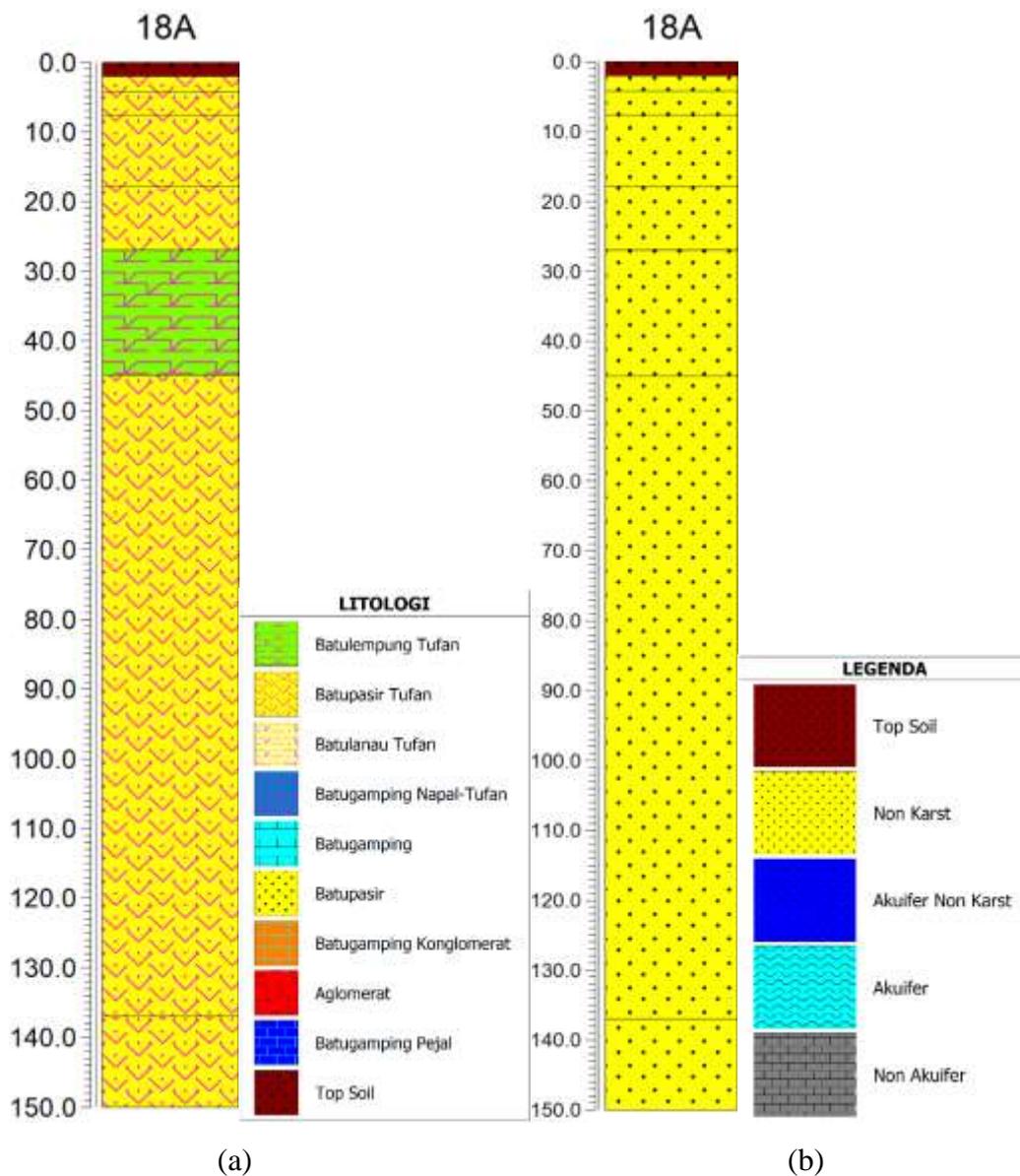
Selanjutnya untuk titik VES 18A ini berada pada posisi $8^{\circ}5'4.06''S$ dan $110^{\circ}59'12.32''E$ dengan total panjang lintasan 450 meter, terletak pada elevasi 395 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 150 meter. Hasil inversi atau pengolahan data resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.21 berikut.



Gambar 4. 21 Hasil *curve matching inversion* titik 18A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 8 lapisan litologi.

Tabel 4. 10 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 18A

Titik 18A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	2,02	2,02	3,18	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	4,25	2,23	5,45	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>
3	7,59	3,34	4,49	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>
4	17,8	10,2	3,01	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>
5	27	9,16	7,7	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>
6	45	18	0,908	Batulempung	<i>Non-karst</i>
7	137	92,4	4,03	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>
8	150	13	10,4	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>



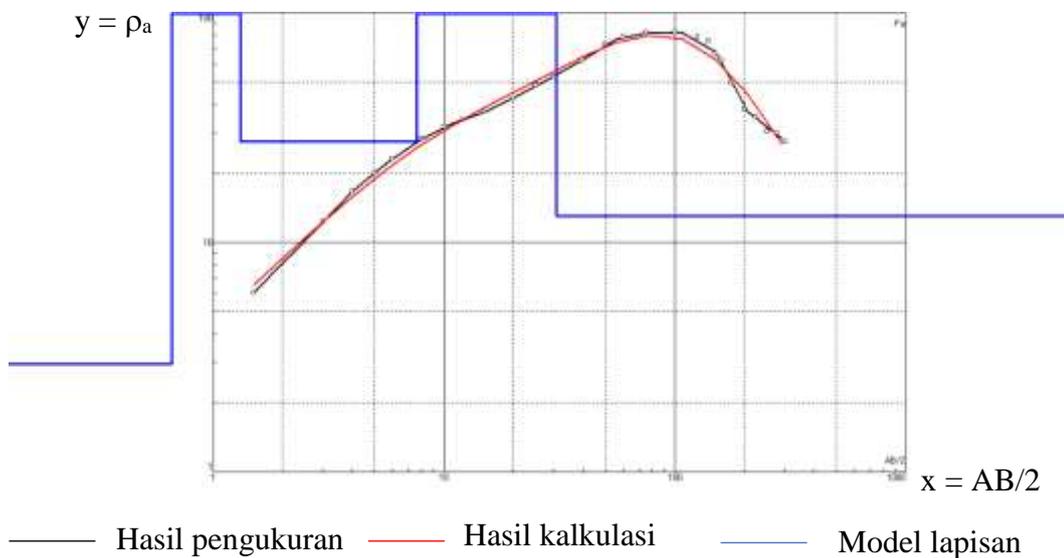
Gambar 4. 22 (a) Interpretasi litologi titik 18A (b) Identifikasi akuifer di titik 18A tidak ditemukan potensi akuifer di titik ini.

Hasil interpretasi litologi dan dugaan akuifer disajikan pada Tabel 4.10 dan penampang secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.22. Dari pengolahan data, terlihat jumlah lapisan pada titik VES 18A yaitu sebanyak 8 lapisan. Lapisan pertama dengan kedalaman 0 – 2,02 meter dengan nilai resistivitas 3,18 Ω m diinterpretasikan sebagai lapisan *Top Soil*. Lapisan kedua dengan kedalaman dari 2,02 – 4,25 dengan nilai resistivitas 5,45 Ω m diinterpretasikan sebagai Batupasir Tufan. Lapisan ketiga dengan kedalaman 4,25 – 7,59 meter dengan nilai resistivitas

4,49 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batupasir Tufan. Lapisan keempat dengan kedalaman 7,59 – 17,8 meter dengan nilai resistivitas 3,01 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batupasir Tufan. Lapisan ke-5 dengan kedalaman 17,8 - 27 meter dengan nilai resistivitas 7,7 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batupasir Tufan. Lapisan keenam dengan kedalaman 27 – 45 meter dengan nilai resistivitas kecil yakni sebesar 0,908 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batulempung. Sedangkan lapisan ketujuh dan kedelapan dengan kedalaman 45 – 137 meter dan 137 – 150 meter diinterpretasikan sebagai lapisan Batupasir Tufan dengan nilai resistivitas masing-masing sebesar 4,03 dan 10,4 Ohm.m. Pada titik pengukuran VES 18A ini rata-rata memiliki nilai resistivitas yang cukup kecil dan sesuai dengan kondisi geologinya merupakan daerah *non*-karst.

4.2.1.9 Hasil dan interpretasi titik VES 22A

Kemudian untuk titik VES 22A ini berada pada poisisi 8°8'50.12"S dan 110°58'27.38"E dengan total panjang lintasan 600 meter, terletak pada elevasi 307 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 150 meter. Hasil inversi atau pengolahan data resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.23 berikut

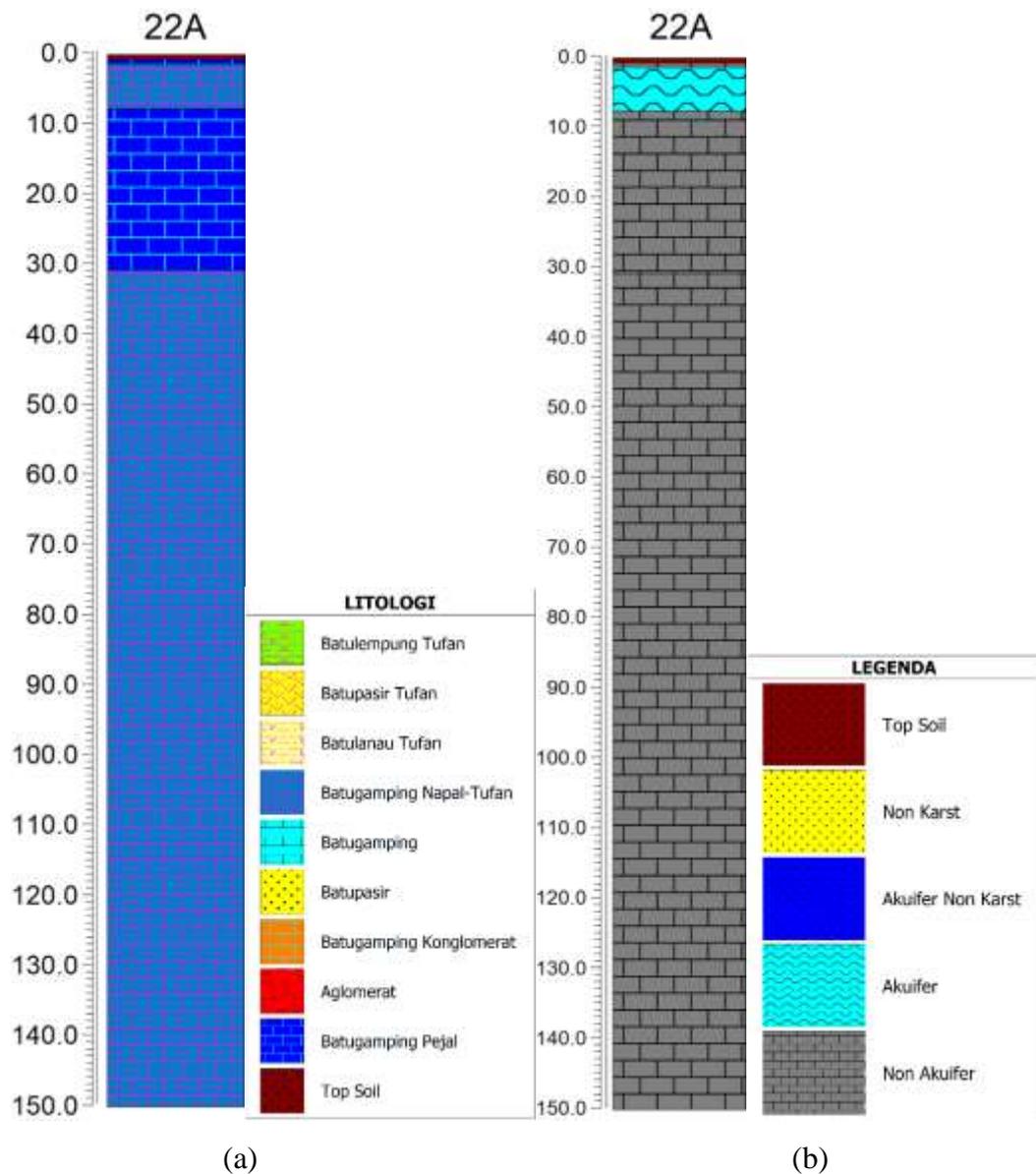


Gambar 4. 23 Hasil *curve matching inversion* titik 22A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi.

Tabel 4. 11 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 22A

Titik 22A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ω m)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0,664	0,664	2,95	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	1,31	0,65	537	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
3	7,61	6,3	27,4	Batugamping Napal-Tufan	Akuifer
4	30,7	23,31	280	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
5	150	119,3	13	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>

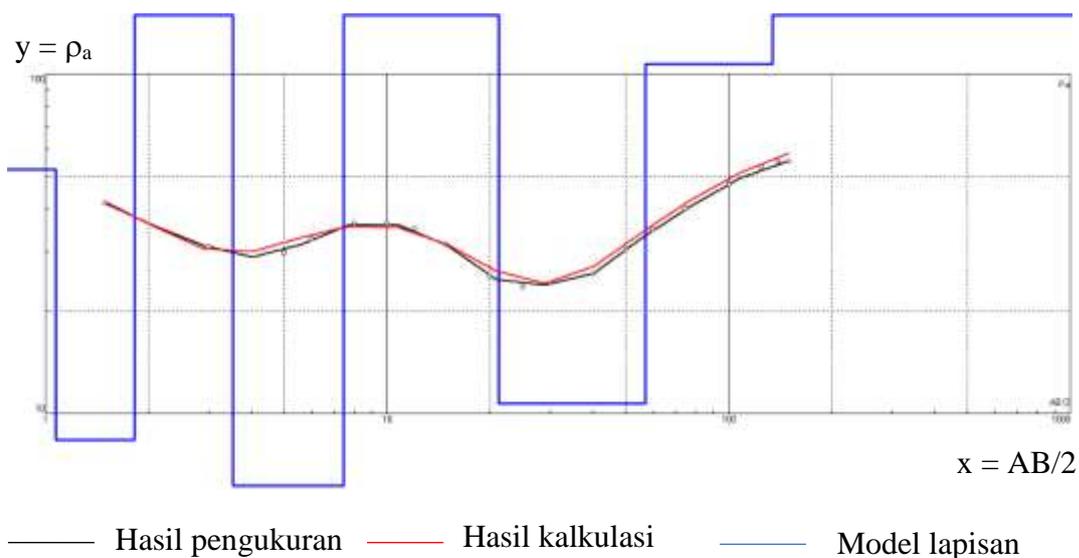
Hasil interpretasi litologi dan dugaan akuifer disajikan pada Tabel 4.11 dan penampang secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.24. Dari pengolahan data, terlihat jumlah lapisan pada titik VES 22A yaitu sebanyak 5 lapisan. Lapisan pertama dengan kedalaman 0 – 0,664 meter dengan nilai resistivitas 2,95 Ω m diinterpretasikan sebagai lapisan *Top Soil*. Lapisan kedua dengan kedalaman dari 0,664 – 1,31 dengan nilai resistivitas 537 Ω m diinterpretasikan sebagai Batugamping Pejal. Lapisan ketiga dengan kedalaman 1,31 – 7,61 meter dengan nilai resistivitas 27,4 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batugamping Napal-Tufan. Lapisan ini diduga berpotensi sebagai akuifer. Lapisan keempat dengan kedalaman 7,61 – 30,7 meter dengan nilai resistivitas 280 ohm.m diinterpretasikan sebagai Batugamping Pejal. Lapisan kelima memiliki nilai resistivitas 13 Ohm.m, berada pada kedalaman 30,7 – 150 meter diinterpretasikan sebagai Batugamping Napal-Tufan.



Gambar 4. 24 (a) Interpretasi litologi titik 22A (b) Identifikasi akuifer di titik 22A ditemukan potensi akuifer Batugamping Napal-Tufan pada kedalaman <10 meter.

4.2.1.10 Hasil dan interpretasi titik VES 24A

Titik VES 24A berada pada posisi $8^{\circ} 6'57.08''S$ dan $110^{\circ}58'58.50''E$ dengan total panjang lintasan 300 meter, terletak pada elevasi 356 meter, dan kemungkinan kedalaman sekitar 150 meter. Hasil inversi atau pengolahan data resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.25 berikut:



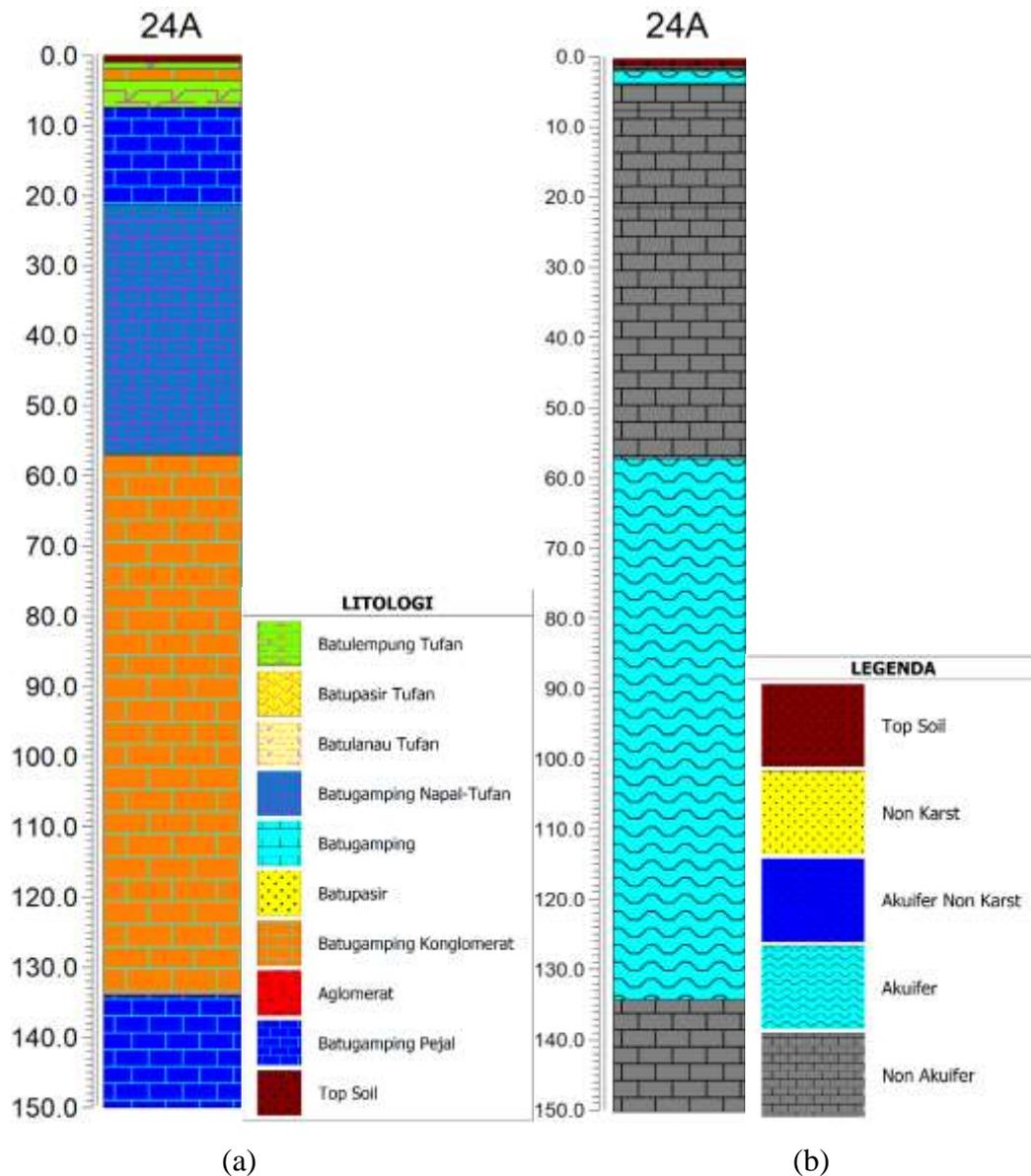
Gambar 4. 25 Hasil *curve matching inversion* titik 24A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 8 lapisan litologi.

Hasil interpretasi litologi dan dugaan akuifer disajikan pada Tabel 4.12 dan penampang secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.26.

Tabel 4. 12 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 24A

Titik 24A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ω m)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	1,07	1,07	52,4	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	1,83	0,755	8,37	Batulempung Tufan	<i>Non-akuifer</i>
3	3,54	1,71	178	Batugamping Konglomerat	Akuifer
4	7,45	3,92	3,12	Batulempung Tufan	<i>Non-akuifer</i>
5	21,2	13,7	609	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
6	57	35,8	10,7	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>

7	134	77,3	107	Batugamping Konglomerat	Akuifer
8	150	16	854	Batugamping Pejal	Non-akuifer



Gambar 4. 26 (a) Interpretasi litologi titik 24A (b) Identifikasi akuifer di titik 24A ditemukan potensi akuifer Batugamping konglomerat pada kedalaman sekitar 4 meter dan pada kedalaman 60 meter.

Hasil pengolahan data menunjukkan 8 lapisan yang menyusun litologi bawah permukaan titik VES 24A. Lapisan pertama diinterpretasikan sebagai

lapisan *Top Soil* atau lapisan penutup tanah dengan nilai resistivitas sebesar 52,4 Ωm . Tebal lapisan *Top Soil* ini sebesar 1,07 meter. Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai Batulempung Tufan dengan nilai resistivitas 8,37 Ωm dengan ketebalan 0,755 meter. Lapisan ketiga diinterpretasikan sebagai Batugamping Konglomerat dengan nilai resistivitas 178 Ωm . Lapisan batuan ini berada pada kedalaman 1,83 – 3,54 meter. Lapisan ini memiliki ketebalan 1,71 m dan berpotensi menjadi akifer. Batulempung Tufan dengan nilai resistivitas 3,12 Ωm , tebal 3,92 meter, dan berada pada kedalaman 3,54 – 7,45 meter diinterpretasikan pada lapisan keempat. Lapisan kelima diinterpretasikan sebagai Batugamping pejal dengan nilai resistivitas 609 Ωm dengan ketebalan 13,7 meter dan tidak berpotensi sebagai akuifer. Lapisan keenam diinterpretasikan sebagai Batugamping Napal-Tufan dengan nilai resistivitas sebesar 10,7 Ohm.m dengan ketebalan 35,8 meter. Sedangkan lapisan ketujuh diinterpretasikan sebagai Batugamping Konglomerat dengan nilai resistivitas 107 Ohm.m dengan ketebalan 77,3 meter. Lapisan ini diduga berpotensi sebagai akuifer dan berada pada kedalaman 47 – 134 meter. Kemudian lapisan kedelapan diinterpretasikan sebagai Batugamping pejal dengan nilai resistivitas yang tinggi yakni sebesar 854 Ohm.m berada pada kedalaman 134 – 150 meter.

4.2.3 Validasi Potensi Akuifer Airtanah

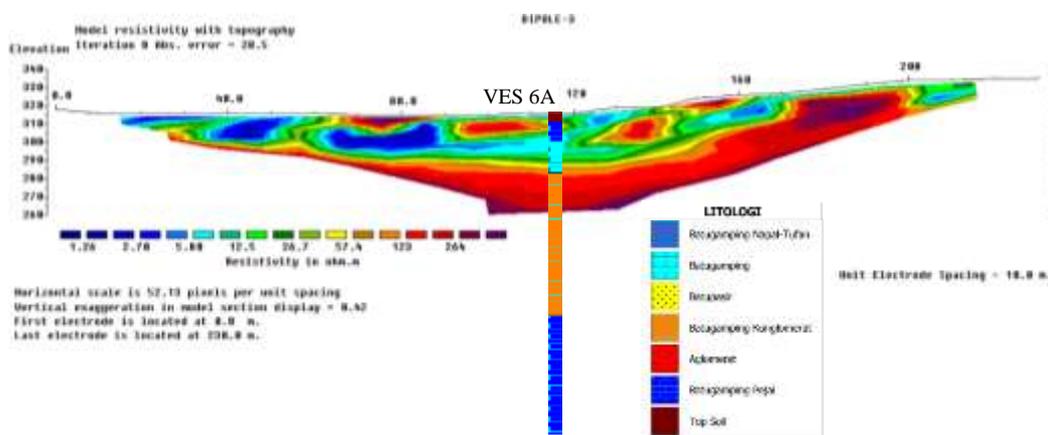
Validasi potensi akuifer airtanah pada penelitian ini dilakukan dengan metode korelasi dan membandingkan beberapa hasil pengolahan data VES dengan data geolistrik 2D konfigurasi *Dipole-Dipole* dengan memperhatikan lokasi pengukuran, *range* nilai resistivitas yang didapatkan, dan hasil interpretasi data. Metode geolistrik 2D konfigurasi *Dipole-Dipole* merupakan salah satu konfigurasi dalam metode geolistrik yang digunakan untuk mengetahui nilai resistivitas bawah permukaan dengan resolusi kedalaman yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Wenner* dan *Schlumberger*. Keunggulan lain yang dimiliki metode ini adalah konfigurasi ini memiliki efek resolusi anomali lebih tinggi dan sinyal *noise* yang dihasilkan lebih rendah daripada konfigurasi *Wenner-Beta*, *Wenner*, dan *Gamma* (Okpoli, 2013). Bahkan, menurut penelitian yang dilakukan oleh Silva dan Filho (2012), konfigurasi *Dipole-Dipole* memiliki kualitas yang bagus dalam memberikan informasi secara horizontal maupun vertikal (Silva & Filho, 2012).

Selain itu, konfigurasi *Dipole-Dipole* mampu membedakan nilai resistivitas batuan secara kontras dibandingkan konfigurasi yang lain, serta memiliki resolusi yang tinggi secara horizontal (Ebraheem dkk., 2012). Nilai range resistivitas yang dihasilkan oleh konfigurasi ini juga lebih lebar dan bervariasi daripada konfigurasi *Wenner-Schlumberger* sehingga dapat memetakan lapisan Batugamping di dasar yang memiliki nilai resistivitas rendah dengan baik serta dapat menjangkau kedalaman yang sangat dalam (Hermawan & Eka Putra, 2016).

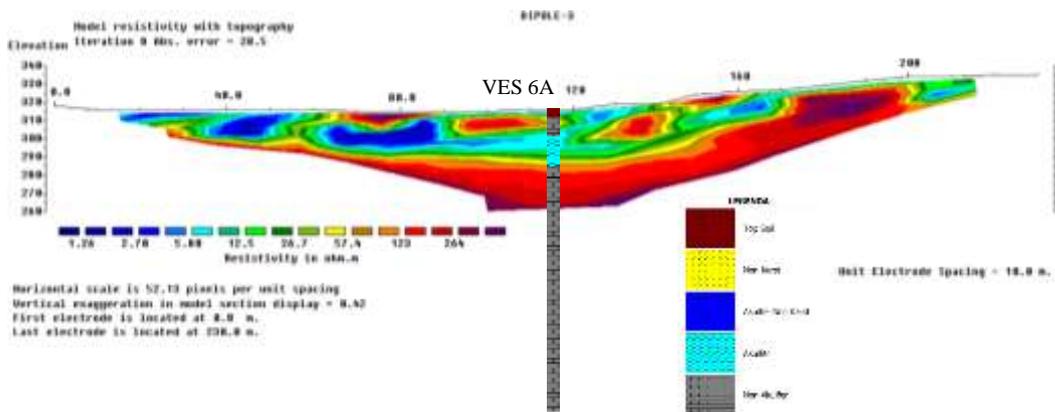
Data geolistrik 2D yang digunakan untuk validasi ini didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Padlilah (2021) dimana beberapa lintasan penelitian yang dilakukan yaitu lintasan Dipole-3, Dipole-2, dan Dipole-1 berada pada lokasi yang sama dengan titik VES 6A, VES 7A, dan VES 10A. Titik. Berikut ini adalah hasil validasi dengan mengkorelasikan hasil kedua metode tersebut.

4.2.3.1 Validasi titik VES 6A

Titik VES 6A ini berada pada jarak 115 meter dari titik awal lintasan Dipole-3. Adapun validasi hasil metode VES dengan metode geolistrik 2D tersebut dapat ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :



Gambar 4. 27 Validasi data VES 6A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-3 berdasarkan perbedaan litologi.



Gambar 4. 28 Validasi data VES 6A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-3 berdasarkan analisis potensi akuifer (Sumber : Padlilah, 2021)

Tabel 4. 13 Interpretasi penampang geolistrik 2D lintasan Dipole-3 pada titik VES 6A

Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Jarak dari awal bentangan	Anomali
1,26 – 18,2 $\Omega\text{.m}$	1,71 – 13,6 m	15 – 60 m, 110 – 138 m, 152 – 175 m	Top soil
1,26 – 12,4 $\Omega\text{.m}$	5 – 23,6 m	60 – 120 m	Sungai bawah permukaan
12,5 - 387,2 $\Omega\text{.m}$			Batuan gamping

Sumber : Padlilah, 2021

Tabel 4. 14 Interpretasi penampang litologi dan identifikasi akuifer pada VES 6A

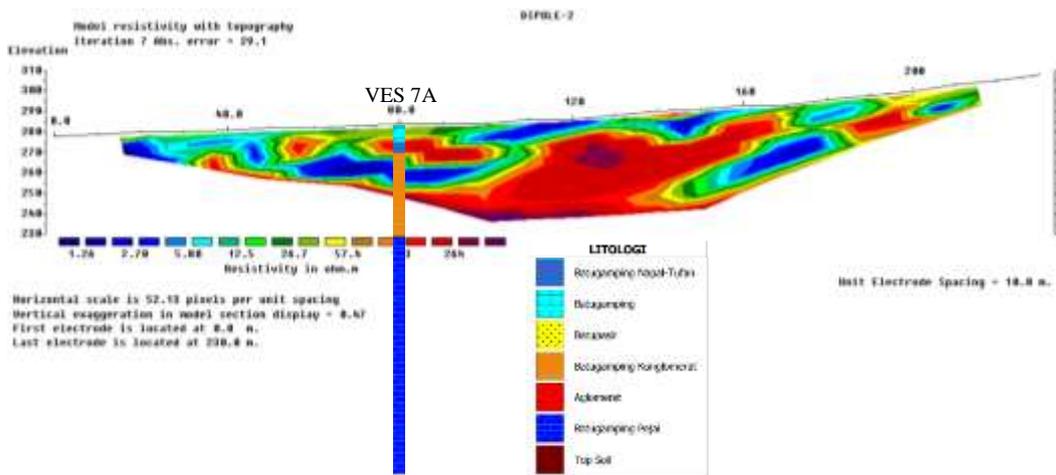
Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
7,35	Top soil	Top soil
340	Batugamping Pejal	Non-akuifer
97.1	Batugamping	Akuifer
254	Batugamping Konglomerat	Non-akuifer
15441	Batugamping Pejal	Non-akuifer

Gambar 4.27 dan Gambar 4.28 merupakan validasi hasil metode VES 6A dengan metode geolistrik 2D Dipole-3. Berdasarkan Gambar 4.27 dan Gambar

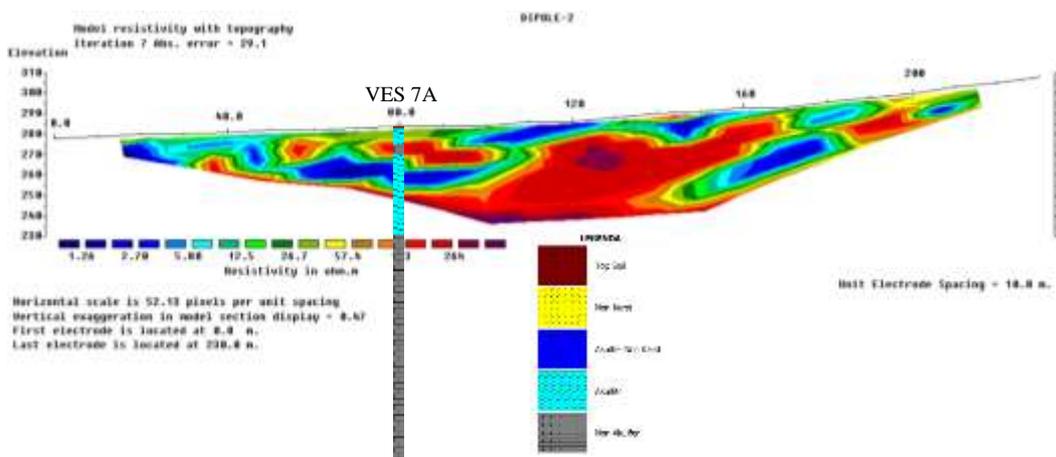
4.28, dapat dilihat bahwa terdapat kecocokan atau kesesuaian antara lapisan batuan yang berpotensi menjadi akuifer airtanah di titik VES 6A dengan anomali resistivitas 2D pada lintasan Dipole-3. Jika pada pada lapisan ketiga penampang VES 10A secara terdapat litologi Batugamping dengan nilai resistivitas 97,1 Ω .m yang dianggap berpotensi sebagai akuifer airtanah (Tabel 4.14). Maka hal ini terkonfirmasi di penampang 2D sebagai anomali sungai bawah permukaan yang memiliki nilai resistivitas 1,26 – 12,4 Ω .m (Tabel 4.13) yang berada pada kedalaman kurang lebih sama yaitu sekitar 5 s.d 23 meter (kedalaman potensi akuifer di VES 6A dapat dilihat di Lampiran 1. Nilai resistivitas yang dihasilkan oleh lapisan ketiga pada data VES 10A menunjukkan nilai resistivitas yang lebih tinggi dari sungai bawah permukaan. Namun pada kenyataannya jika dibandingkan dengan *range* keseluruhan pada penampang VES menunjukkan nilai resistivitas yang tergolong kecil (7,35 – 15441 Ω .m). Dengan adanya kesesuaian ini maka dapat diartikan bahwa hasil pengolahan data VES 6A tervalidasi dengan baik oleh lintasan Dipole-3.

4.2.3.2 Validasi titik VES 7A

Titik VES 7A ini berada pada jarak 80 meter dari titik awal lintasan Dipole-2. Adapun validasi hasil metode VES dengan metode geolistrik 2D tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30. Berdasarkan Gambar Gambar 4.29 dan Gambar 4.30, dapat dilihat bahwa terdapat kecocokan atau kesesuaian antara lapisan batuan yang berpotensi menjadi akuifer airtanah di titik VES 7A dengan anomali resistivitas 2D pada lintasan Dipole-2. Salah satu potensi akuifer airtanah pada titik VES 7A berada pada kedalaman 12 s.d 48 meter (Gambar 4.12 pada Sub Bab 4.2.1.3) dengan nilai resistivitas 134 Ω .m yang tersusun atas Batugamping Konglomerat. Hal ini terkonfirmasi di penampang 2D sebagai anomali sungai bawah permukaan yang memiliki nilai resistivitas 1,26 – 12,4 Ω .m (Tabel 4.13) yang berada pada kedalaman sekitar 9,25 – 29,4 meter. Dengan adanya kesesuaian ini maka dapat diartikan bahwa hasil pengolahan data VES 7A tervalidasi dengan baik oleh lintasan Dipole-2.



Gambar 4. 29 Validasi data VES 7A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-2 berdasarkan perbedaan litologi (Sumber : Padlilah, 2021)



Gambar 4. 30 Validasi data VES 7A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-2 berdasarkan analisis potensi akuifer (Sumber : Padlilah, 2021)

Tabel 4. 15 Interpretasi penampang geolistrik 2D lintasan Dipole-2 pada titik VES 7A

Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Jarak dari awal bentangan	Anomali
1,26 – 18,2 $\Omega.m$	1,71 – 14 m	15 – 50 m, 92 – 167 m	Top soil
1,26 – 12,4 $\Omega.m$	9,25 – 29,4 m	50 – 100 m	Sungai bawah permukaan
12,5 - 387,2 $\Omega.m$			Batuan gamping

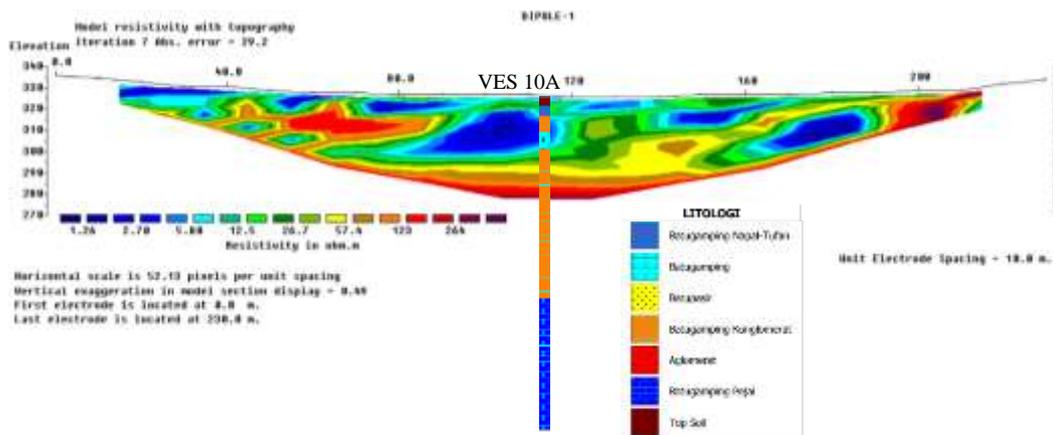
Sumber : Padlilah, 2021

Tabel 4. 16 Interpretasi penampang litologi dan identifikasi akuifer pada VES 7A

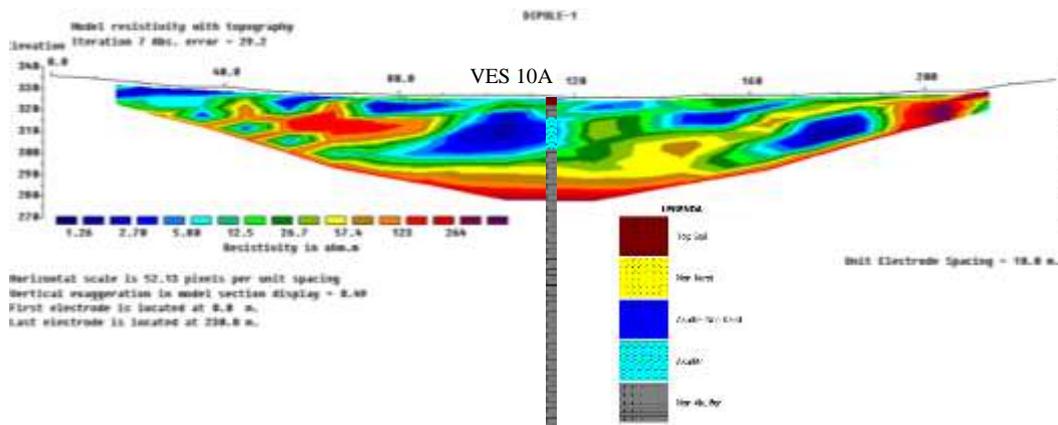
Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1,49	Top soil	Top soil
91,6	Batugamping	Akuifer
48,3	Batugamping	Akuifer
13	Batugamping Napalan-Tufan	Non-akuifer
134	Batugamping Konglomerat	Akuifer
10555	Batugamping Pejal	Non-akuifer

4.2.3.3 Validasi titik VES 10A

Titik VES 10A ini berada pada jarak 115 meter dari titik awal lintasan Dipole-1. Adapun validasi hasil metode VES dengan metode geolistrik 2D tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32



Gambar 4. 31 Validasi data VES 10A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-1 berdasarkan perbedaan litologi (Sumber : Padlilah, 2021)



Gambar 4. 32 Validasi data VES 10A menggunakan data geolistrik 2D lintasan Dipole-1 berdasarkan analisis potensi akuifer (Sumber : Padlilah, 2021)

Tabel 4. 17 Interpretasi penampang geolistrik 2D lintasan Dipole-1 pada titik VES 10A

Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Jarak dari awal bentangan	Anomali
1,26 – 18,2 $\Omega\text{.m}$	1,71 – 14 m	15 – 140 m	<i>Top soil</i>
1,26 – 12,4 $\Omega\text{.m}$	9,25 – 35 m	75 - 120 m	Sungai bawah permukaan
12,5 - 387,2 $\Omega\text{.m}$			Batuan gamping

Sumber : Padlilah, 2021

Tabel 4. 18 Interpretasi penampang litologi dan identifikasi akuifer pada VES 10A

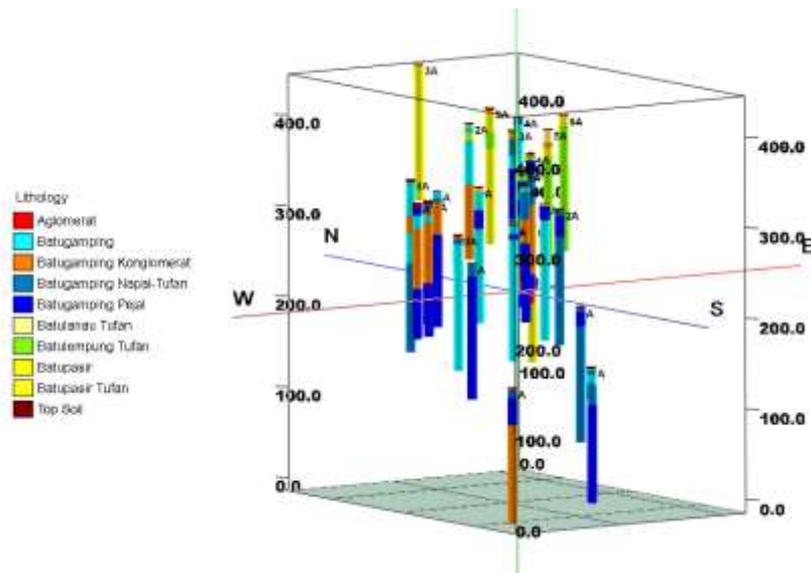
Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
4,44	<i>Top soil</i>	<i>Top soil</i>
10,4	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
150	Batugamping Konglomerat	Akuifer
48,9	Batugamping	Akuifer
201	Batugamping Konglomerat	<i>Non-Akuifer</i>
1261	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>

Berdasarkan Gambar 4.31 dan Gambar 4.32, dapat dilihat bahwa terdapat kecocokan atau kesesuaian antara lapisan batuan yang berpotensi menjadi akuifer airtanah di titik VES 10A dengan anomali resistivitas 2D pada lintasan Dipole-1 pada kedalaman yang sama. Yakni, jika pada pada lapisan ketiga dan keempat penampang VES 10A secara berurutan terdapat litologi Batugamping Konglomerat dengan nilai resistivitas 150 Ω .m serta Batugamping dengan nilai resistivitas 48,9 Ω .m yang dianggap berpotensi sebagai akuifer airtanah (Tabel 4.18). Hal ini terkonfirmasi di penampang 2D sebagai anomali sungai bawah permukaan yang memiliki nilai resistivitas 1,26 – 12,4 Ω .m (Tabel 4.17). Nilai resistivitas yang dihasilkan oleh lapisan ketiga dan keempat pada data VES 10A menunjukkan nilai resistivitas yang lebih tinggi dari sungai bawah permukaan. Namun pada kenyataannya jika dibandingkan dengan *range* keseluruhan pada penampang VES menunjukkan nilai resistivitas yang tergolong kecil (4,44 – 1261 Ω .m). Dengan adanya kesesuaian ini maka dapat diartikan bahwa hasil pengolahan data VES 10A tervalidasi dengan baik oleh lintasan Dipole-1.

4.2.4 Model 3D Akuifer di Kawasan Donorojo Pacitan

Kemudian untuk mempermudah dalam mengevaluasi kondisi bawah permukaan potensi akuifer karst Donorojo dalam hal ini mengestimasi kedalaman dan ketebalan akuifernya secara keseluruhan, maka penulis melakukan pengolahan lebih lanjut dengan membuat model 3D di area pengukuran geolistrik VES. Pengolahan model 3D akuifer karst Donorojo Pacitan ini dilakukan dengan memasukkan hasil pengolahan model akuifer 1D dari 25 titik pengukuran VES.

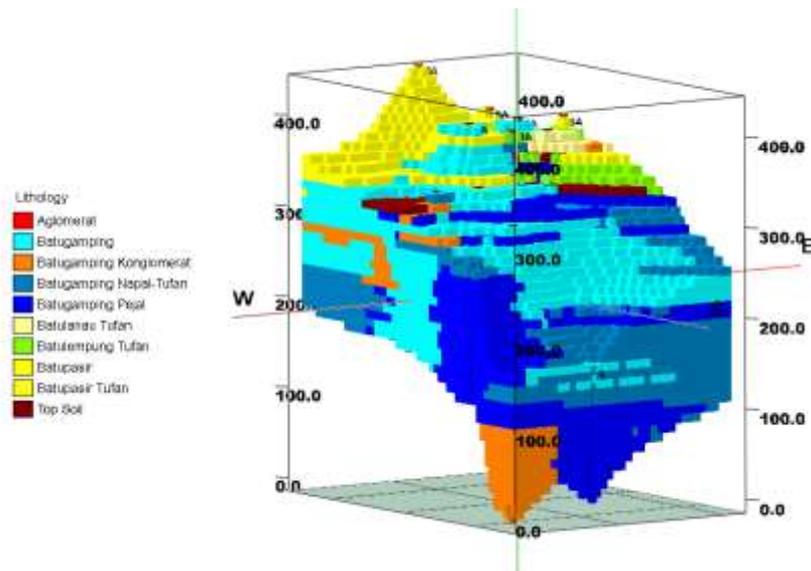
Gambar 4.33 adalah model 3D plot log litologi hasil pengolahan 25 data VES 1D di kawasan karst Donorojo Pacitan dengan variasi ketinggian yang berbeda-beda. Dari model 3D plot litologi ini kemudian diperoleh model 3D litologi penyusun kawasan karst Donorojo Pacitan. Berdasarkan hasil pemodelan 3D pada Gambar 4.34 diketahui bahwa kawasan Donorojo Pacitan tersusun atas *Top Soil*, Batupasir Tufan, Batupasir, Batulempung Tufan, Batulanau Tufan, Batugamping Pejal, Batugamping Napal-Tufan, Batugamping Konglomerat, Batugamping, dan Aglomerat.



Gambar 4. 33 Model 3D plot log litologi hasil VES di kawasan karst Donorojo Pacitan

Bagian utara daerah penelitian didominasi oleh Batupasir, Batupasir Tufan, Batulempung Tufan, dan Batulanau Tufan. Identifikasi tufan dipengaruhi oleh aktifitas vulkanik pada masa pembentukannya. Satuan batulanau tufan pada masa pembentukannya seperti pada satuan batulempung tufan yang dipengaruhi oleh aktivitas vulkanik (ESDM, 1995a; Ratman dan Yasin, 1978 dalam (Wicaksono dkk., 2020). Maka dari itu, daerah ini diketahui merupakan daerah Sedangkan bagian selatan didominasi oleh Batugamping, Batugamping Konglomerat, Batugamping Napal-Tufan, dan Batugamping Pejal yang merupakan penyusun Formasi Wonosari (Surono & Sudarno, 1992).

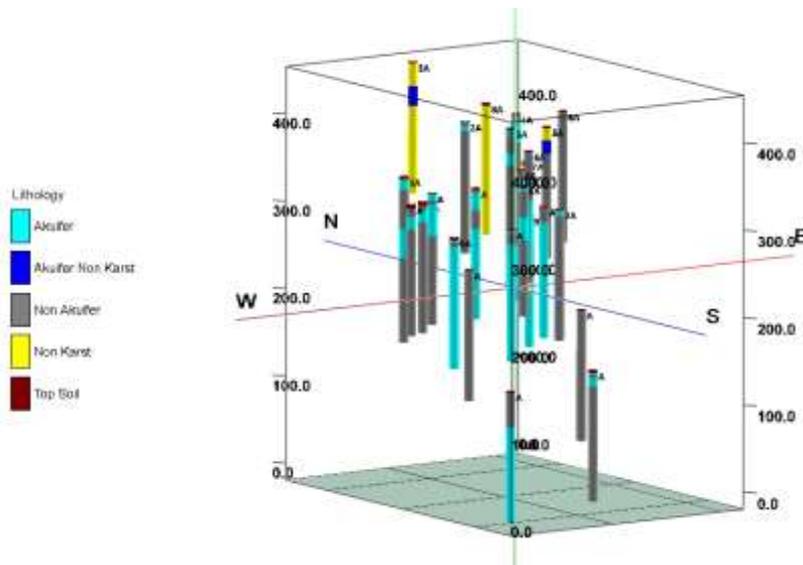
Dengan mengetahui litologi penyusun bawah permukaan di daerah penelitian secara menyeluruh dari data VES, penulis melakukan interpretasi target akuifer dengan mempertimbangkan litologi penyusun dan nilai resistivitasnya serta melakukan pemodelan 3D untuk mengetahui Gambaran/model bawah permukaan akuifer di kawasan karst Donorojo, Pacitan. Gambar 4.35 merupakan Gambar model 3D plot log dugaan potensi akuifer di kawasan karst Donorojo Pacitan. Dari data log ini kemudian dilakukan interpolasi dan diperoleh model dugaan potensi akuifer seperti ditunjukkan pada Gambar 4.36.



Gambar 4. 34 Model 3D litologi penyusun kawasan karst Donorojo Pacitan dari data geolistrik VES.

Berdasarkan Gambar 4.36 dapat kita ketahui bahwa daerah penelitian terbagi menjadi dua yaitu daerah Karst dimana pada daerah ini tersusun oleh batuan karbonat dan *non*-karst yang tersusun oleh batuan *non*-karbonat. Batuan karbonat *non*-akuifer ditunjukkan oleh warna abu-abu, sedangkan batuan karbonat yang diduga berpotensi sebagai akuifer karst ditunjukkan oleh warna biru muda. Kawasan *non*-karst ditunjukkan oleh warna kuning, dan ditemukan pula potensi akuifer di kawasan *non*-karst yang ditunjukkan oleh warna biru tua. Dari model 3D ini dapat dilihat perkiraan ketebalan dan kedalaman potensi akuifer di kawasan karst Donorojo Pacitan secara regional. Menurut jenis batuan dominan penyusunnya, akuifer karst di lokasi penelitian diklasifikasikan menjadi akuifer karst karbonat. Persebaran akuifer ini secara umum terlihat berada di bagian atas batuan karbonat dengan ketebalan kurang dari 10 meter. Dari model 3D terlihat bahwa akuifer karbonat di bagian utara berada lebih dekat di permukaan dan semakin ke selatan semakin dalam. Secara umum tersebar pada elevasi kedalaman 250 s.d 300 meter. hal ini diperkuat dengan pengamatan muka air tanah di lapangan dimana muka air tanah di bagian utara di daerah penelitian cukup dangkal sedangkan di bagian selatan jarang ditemui sumur dan lebih banyak berkembang sungai bawah permukaan di kedalaman sekitar 40 s.d 60 meter (seperti sungai

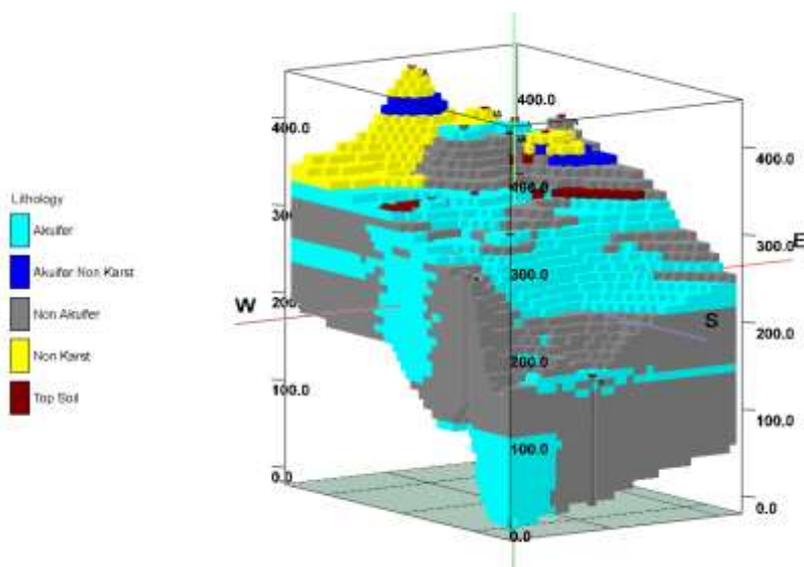
bawah permukaan di Luweng Dawung dan Luweng Musuk). Dugaan akuifer-akuifer yang berada cukup dekat dengan permukaan dengan kedalaman <10 meter diduga sebagai zona epikarst, yaitu bagian terluar dari sistem karst yang terdapat di puncak zona *vadose*, sebagian jenuh dengan air, menghemat sejumlah besar air dan meneruskan infiltrasi air hujan ke bagian yang lebih dalam yang merupakan zona jenuh akuifer karst. Atau dapat dikatakan sebagai daerah karst yang mempunyai porositas yang tinggi dan berfungsi sebagai media penyimpanan air hasil infiltrasi di daerah karst (Perrin 2003 dalam Haryono & Adji, 2017) .



Gambar 4. 35 Model 3D plot log dugaan potensi akuifer di kawasan karst Donorojo Pacitan.

Kemudian di beberapa titik VES terlihat bahwa pada kedalaman sekitar 10 s.d 50 terjadi peningkatan nilai resistivitas yang kemudian diinterpretasikan sebagai zona *non*-akuifer. Jika dikaitkan unsur dan model akuifer karst tidak terbatas (*unconfined karstic aquifer*) zona ini diduga sebagai zona yang letaknya lebih dalam dari zona epikarst, dimana zona ini adalah zona transisi akuifer karst. Secara vertikal, ujung zona *vadose* akan berakhir dengan batas muka airtanah. Zona *vadose* ini sering juga disebut sebagai zona aerasi atau zona tidak jenuh air dimana nilai resistivitas pada zona ini lebih besar dibandingkan dengan bagian di atasnya atau zona epikarst. Itu karena pori-pori batuan di zona *vadose* seringkali hanya mengandung udara (A. S. Bahri dkk., 2019). Air yang terinfiltrasi akan mengalir

melalui matriks batuan, celah-celah dan gua-gua di bawah permukaan. Menurut Parizek (1976, dalam Stevanović, 2015) arah aliran air akan sejajar dengan patahan atau patahan utama yang terdapat pada badan batuan. Sedangkan di beberapa titik VES terjadi penurunan nilai resistivitas pada kedalaman sekitar > 50 meter. Penurunan nilai resistivitas ini diduga sebagai zona jenuh air yang merupakan akuifer utama lapisan, di mana air akan disimpan dalam rentang waktu yang cukup lama. Menurut Stevanović (2015), ketebalan zona jenuh bergantung pada beberapa faktor seperti imbuhan air, permeabilitas, penyimpanan, posisi dan ukuran titik pelepasan, head hidrolis, strike dip lapisan batuan dan pengisian ulang buatan (Stevanović, 2015). Perbedaan atau ketidakseragaman hasil antar titik VES yang satu dengan yang lain diduga karena pengaruh dari heterogenitas kondisi bawah permukaan di kawasan karst (Atkinson, 1985; Goldscheider, 2005 dalam (Haryono, 2016)).



Gambar 4. 36 Model 3D dugaan potensi akuifer di kawasan karst Donorojo Pacitan.

4.3 Analisis Potensi Akuifer Airtanah di Kawasan Karst Donorojo Pacitan

Sebagai kesimpulan, dari hasil Metode APLIS dan Geolistrik menunjukkan bahwa zona potensi airtanah di kawasan karst Donorojo dibagi menjadi 4 zona yaitu zona potensi airtanah sangat rendah, rendah, sedang, dan tinggi. Zona potensi airtanah tertinggi dan terluas adalah mencakup 84,08 % dari total luas kawasan karst Donorojo, Pacitan. Daerah dengan resapan tertinggi

terletak di bagian selatan daerah penelitian (Kawasan Karst Donorojo, Pacitan) yang merupakan daerah dengan tingkat pelarutan yang tinggi atau masif. Kawasan ini berada di atas batuan karbonat karstifikasi dengan permeabilitas yang baik, dan memiliki bentuk infiltrasi preferensial yang melimpah (*dolin*, *polje*, ponor, gua vertikal/sinkhole, dsb) seperti Luweng Marik, Luweng Kalijati, Luweng Kedung Banteng, Luweng Grasak, dsb. Nilai imbuhan sangat rendah hingga rendah terletak di bagian utara daerah penelitian yang merupakan bagian dari batuan padat yang tersusun dari Formasi Nampol, Formasi Wuni, Formasi Jaten, dan Batuan Intrusif. Litologi penyusun di daerah ini memiliki permeabilitas yang rendah dan juga memiliki laju infiltrasi yang cukup rendah, serta tidak terdapat manifestasi seperti *polje* dan sinkhole yang merupakan pintu masuk air hujan atau air dari permukaan menuju akuifer bawah permukaan karst. Menurut jenis batuan dominan penyusunnya, akuifer karst di lokasi penelitian diklasifikasikan menjadi akuifer karst karbonat yang tersusun atas Batugamping dan Batugamping Konglomerat yang memiliki range nilai resistivitas antara 30 s.d 170 Ohm.m karena merujuk pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Wicaksono dkk., (2020), Murti (2009), dan Suharso (2018) nilai resistivitas yang cukup rendah pada litologi ini mengindikasikan keterdapatannya airtanah.



(a)

(b)

Gambar 4. 37 Luweng Marik (a) dan Luweng Grasak (b) yang merupakan salah satu tempat masuknya air permukaan menuju sistem sungai bawah permukaan di kawasan karst Donorojo, Pacitan (Sumber : Dokumentasi penulis)

Kemudian dari hasil metode APLIS dan Geolistrik (1D dan pemodelan 3D) metode VES kawasan Donorojo Pacitan diasumsikan memiliki tiga komponen daerah tangkapan air, yaitu: kawasan karst yang berada di bagian selatan daerah

penelitian, kawasan *non*-karst yang berdekatan (aliran *allogenic*) di bagian utara daerah penelitian, dan masukan dari bagian atas kawasan karst (sungai masuk/tertelan) atau masukan langsung secara vertikal seperti di Luweng Kalijati, Luweng Marik, Luweng Grasak, dsb (Gambar 4.37). Hujan yang jatuh di permukaan tanah kawasan karst sebagian akan mengalami penguapan, dan sisanya akan masuk ke sistem akuifer karst sebagai *allogenic runoff*, *internal runoff* dan *diffuse infiltration*. Hal ini merujuk pada teori tiga komponen daerah tangkapan air kawasan karst yang disampaikan oleh Ford & Williams (2007) dan White (1988). Hujan yang jatuh harus menjenuhkan tanah dan zona rekahan (epikarst) sebelum masuk ke zona aerasi. Sungai yang tertelan dan masuk melalui ponor pada *doline*/lembah biasanya langsung membentuk lorong (*conduit*) dan dapat berkembang menjadi saluran terbuka. Selain itu, air yang dialirkan dari daerah tangkapan hujan di atas kawasan karst akan menuju zona aerasi melalui lorong-lorong vertikal (luweng). Akhirnya, aliran tersebut bergabung dengan lorong *conduit* (sungai bawah tanah) seperti Luweng Dawung, Luweng Musuk, Luweng Ombo, dsb. dari masukan lain dan/atau ada juga yang menjadi mataair seperti mata air Sumber Kalitanjung, Kentongan, Sendang Gebalan, Sumber Situs Danyangan Kisen, dsb (Gambar 4.38).

Dengan perkembangan tersebut, nilai permeabilitas juga meningkat pada angka yang signifikan, begitu halnya dengan nilai transmisivitas yang memungkinkan batuan karbonat dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah yang cukup yang ditandai dengan rendahnya (menurunnya) nilai resistivitas (Murti, 2009) (A. S. Bahri dkk., 2019). Kawasan Karst pada Donorojo sendiri termasuk dalam kawasan karst kelas I dan II, dimana ditandai dengan proses karstifikasi yang berkembang (Zaenuri, 2007 dalam (Murti, 2009) (Aliyan, 2018) (Pacitan, 2020).



(a)

(b)

Gambar 4. 38 Sumber mata air Kalitanjung (a) dan Sumber Situs Danyangan Kisen (b) (Sumber : Dokumentasi penulis)

Batuan karbonat yang mengalami proses karstifikasi ditandai dengan batuan karbonat yang memiliki porositas sekunder berkembang, dalam artian batuan karbonat tidak merupakan batuan yang berstruktur masif (dolomit). Pada interpretasi geolistrik sendiri, nilai resistivitas batuan masif lebih besar jika dibandingkan dengan batuan yang bersifat mudah larut dan batuan yang mengandung air (Soenarto, 2004 dalam Wijaya, L., 2009). Nilai resistivitas batuan karbonat yang berstruktur masif (dolomit) $3,5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$ (Telford, dkk., 1990). Sedangkan perolehan nilai resistivitas pada penelitian ini secara umum berada pada rentang 10 – 250 Ohm.m. Hal ini menunjukkan bahwa proses karstifikasi pada lokasi penelitian memang berkembang baik (Murti, 2009) (Rahmat, 2018). Batuan karbonat pada lokasi penelitian ini sangat berpotensi menjadi akifer karst yang baik yang mensuplai air menuju lorong-lorong drainase ke sungai bawah tanah seperti Luweng Musuk dan Luweng Dawung yang sudah terbukti memiliki sungai bawah permukaan dari pengamatan langsung di lapangan, dimana pada tipe akifer aliran bebas juga memiliki aliran tipe difusi (*diffuse*), tetapi lorong-lorong solusional lebih dominan, dan sebagian besar aliran adalah melalui lorong-lorong *conduit* yang ada. Air tanah karst pada akifer ini sangat terkontrol oleh distribusi dan arah-arah dari lorong-lorong tersebut dan juga terkontrol oleh adanya sesar (Aliyan, 2018).

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut,

- 5.1.1 Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode APLIS, zona potensi airtanah di kawasan karst Donorojo Pacitan terbagi menjadi 4 yaitu zona potensi airtanah sangat rendah, rendah, sedang, dan tinggi. Zona potensi airtanah yang tinggi mendominasi bagian selatan Donorojo, Pacitan dimana daerah ini tersusun oleh Batugamping yang terkarstifikasi baik, sedangkan zona potensi airtanah yang rendah berada di bagian utara Donorojo yang tersusun dari Batuan padu.
- 5.1.2 Berdasarkan hasil pengolahan data Geolistrik VES potensi akuifer karst di lokasi penelitian tersusun atas Batugamping dan Batugamping konglomerat dengan range nilai resistivitas antara 30 s.d 170 Ohm.m. Potensi akuifer ini dibagi menjadi dua yaitu akuifer yang berada pada zona epikarst dengan kedalaman < 10 meter yang merupakan akuifer permukaan diduga sebagai daerah karst yang mempunyai porositas yang tinggi, dan jenuh dengan air, berfungsi sebagai media penyimpanan air hasil infiltrasi di daerah karst sebelum meneruskannya ke ke bagian yang lebih dalam yang merupakan zona jenuh akuifer karst. Sedangkan di beberapa titik VES ditemukan akuifer yang terletak lebih dalam yaitu > 50 meter dan diduga sebafei zona jenuh air atau merupakan akuifer utama lapisan, di mana air akan disimpan dalam rentang waktu yang cukup lama. Perbedaan atau ketidakseragaman hasil antar titik VES yang satu dengan yang lain diduga karena pengaruh dari heterogenitas kondisi bawah permukaan di kawasan karst.
- 5.1.3 Kemudian dari hasil metode APLIS dan Geolistrik (1D dan pemodelan 3D) metode VES kawasan Donorojo Pacitan diasumsikan memiliki tiga komponen daerah tangkapan air, yaitu: kawasan karst yang berada di bagian selatan daerah penelitian, kawasan *non*-karst yang berdekatan (aliran *allogenic*) di bagian utara daerah penelitian, dan masukan dari bagian atas

kawasan karst (sungai masuk/tertelan) atau masukan langsung secara vertikal seperti di Luweng Kalijati, Luweng Marik, Luweng Grasak, dsb. Dilihat dari nilai resistivitas batuan di titik-titik pengukuran geolistrik VES yang cukup rendah, batuan karbonat di kawasan Donorojo telah mengalami proses karstifikasi yang berkembang baik. Sistem akuifer yang berkembang diduga adalah system akuifer karst tidak terbatas atau *Unconfined Karstic Aquifer* dimana sistem lorong-lorong solusional lebih dominan dan membentuk jaringan *conduit*.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut,

- 5.2.1 Kedepannya dapat dilaksanakan *ground truth* dan pemetaan geologi untuk mendapatkan data litologi dan zona infiltrasi yang lebih akurat dan terbaru, karena parameter litologi dan zona infiltrasi memiliki bobot paling besar yang artinya memiliki pengaruh besar terhadap pembentukan akuifer airtanah.
- 5.2.2 Dibutuhkan data bor untuk menguji/memvalidasi secara lebih akurat potensi akuifer airtanah yang ditemukan pada penelitian ini untuk pengembangan dan pemanfaatan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahr, W. M. (2008). *Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*. In *Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*. <https://doi.org/10.1002/9780470370650>
- Alem, H., Soudejani, A. E., & Farmanieh, S. N. (2017). "Groundwater Recharge Assessment in the Karst Aquifers of North Khorasan , Iran Using APLIS Method APLIS". *ACTA CARSOLOGICA* 46/2–3, 283–294, POSTOJNA
- Aliyan, S. A. (2018). *Identifikasi Kontrol Struktur Geologi terhadap Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan di Kawasan Karst Pringkuku, Pacitan*. Tesis Master. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Aliyan, S. A., Bahri, A. S., Widodo, A., & Utama, W. (2019). "Remote Sensing Data Integration of Landsat 8 and SRTM for Geomorphological Characteristics Identification in Karst Pringkuku , Pacitan , East Java". *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(1), 212–218.
- Allocca, V., Manna, F., & De Vita, P. (2014). "Estimating annual groundwater recharge coefficient for karst aquifers of the southern Apennines (Italy)". *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(2), 803–817. <https://doi.org/10.5194/hess-18-803-2014>
- Andreo, B., Barberá, J. A., Mudarra, M., Marín, A. I., García-Orellana, J., Rodellas, V., & Pérez, I. (2018). "Une approche multi-méthode pour l'évaluation des ressources en eaux souterraines dans les aquifères côtiers carbonatés (karst): l'étude de cas de la Sierra Almirajara (sud de l'Espagne)". *Hydrogeology Journal*, 26(1), 41–56. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1652-7>
- Andreo, B., Vías, J., Durán, J. J., Jiménez, P., López-Geta, J. A., & Carrasco, F. (2008). "Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: Application to pilot sites in southern Spain". *Hydrogeology Journal*, 16(5), 911–925. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0274-5>

- Bahri, A. S., Abdullah, M. I. U. S., Aliyan, S. A., Purwanto, M. S., Widodo, A., Hilyah, A., Fajar, M. H. M., Hardyani, P. V, Sunardi, Alita, E. W., Rahmat, M., & Nurfitriana, I. (2021). "Identification of underground river with microtremor method in Dersono karst area , Pacitan". *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 649 (2021) 012001 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/649/1/012001>
- 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>
- Bahri, F. A., Rismayanti, H. F., & Warnana, D. D. (2017). "Groundwater Analysis Using Vertical Electrical Sounding and Water Quality Tester in Sukolilo Area, Surabaya, East Java: Significant Information for Groundwater Resources". *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(2), 74. <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2017i2.2283>
- Cahyadi, A., Haryono, E., & Barianto, D. H. (2017). *Hidrogeologi Kawasan Karst Gunungsewu: Panduan Lapangan Fieldtrip Paai 2017*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/t5dgp>
- De la Torre, B., Mudarra, M., & Andreo, B. (2020). "Investigating karst aquifers in tectonically complex alpine areas coupling geological and hydrogeological methods". *Journal of Hydrology X*, 6(November 2019), 100047. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100047>
- Duran, Z., Doğru, A.G. & G. Toz, (2004). "Web-based mul- timedia GIS for historical sites.- In: Altan, O. (ed.) Geo-Imagery Bridging Continents". *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*, 12th –23rd July 2004, Istanbul, Turkey. ISPRS, Technical Commission V, 434–438, Turkey
- Ebraheem, A. M., Sherif, M. M., Al Mulla, M. M., Akram, S. F., & Shetty, A. V. (2012). "A geoelectrical and hydrogeological study for the assessment of groundwater resources in Wadi Al Bih, UAE". *Environmental Earth Sciences*, 67(3), 845–857. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1527-0>
- Entezari, M., Karimi, H., Gholam Heidari, H., & Jafari Aghdam, M. (2020).

- "Estimation of groundwater recharge level in karstic aquifers using modified APLIS model". *Arabian Journal of Geosciences*, 13(4).
<https://doi.org/10.1007/s12517-020-5173-7>
- Firdaus, Bakri, H., & Rauf, J. (2018). "Penentuan Lapisan Akuifer Berdasarkan Hasil Interpretasi Geolistrik (Tahanan Jenis) di Desa Nonong Provinsi Sulawesi Tengah". *Jurnal Geomine*, 6(2), 71–79.
- Ford, D., & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. In John Wiley & Sons Ltd (Vol. 31, Nomor 2). <https://doi.org/10.1111/j.1365-4362.1992.tb03246.x>
- Handayani, D., Soelistijadi, R., & Sunardi. (2005). "Pemanfaatan Analisis Spasial untuk Pengolahan Data Spasial Sistem Informasi Geografi". *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, X(2), 108–116.
- Hariyanto, T., Ekaprathama, S. A., & Kurniawan, A. (2018). "Analisis Potensi Mata Air Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Wilayah Perbatasan Kabupaten Lumajang Dan Kabupaten Probolinggo)". *Geoid*, 12(2), 158–162. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v12i2.3614>
- Hartantyo, E. (2020). "Vertical Electrical Sounding Analysis for Local Subsurface Water Bearing Identification Due to Isolated Hill . Case-study: Madurejo Village , Prambanan District , Yogyakarta Province , Indonesia". *Indonesian Journal of Applied Physics* Vol.10 No.1 halaman 50
- Hartmann, A., Goldscheider, N., Wagener, T., Lange, J., & Weiler, M. (2013). "Karst water resources in a changing world". *Review of Geophysics*, 2013(September), 218–242.
<https://doi.org/10.1002/2013RG000443>.Received
- Haryono, E., & Adji, T. N. (2017). *Geomorfologi Dan Hidrologi Karst*.
<https://doi.org/10.31227/osf.io/7jtgx>
- Hermawan, O. R., & Eka Putra, D. P. (2016). "The Effectiveness of Wenner-Schlumberger and Dipole-dipole Array of 2D Geoelectrical Survey to Detect The Occurring of Groundwater in the Gunung Kidul Karst Aquifer System Yogyakarta, Indonesia". *Journal of Applied Geology*, 1(2), 71.
<https://doi.org/10.22146/jag.26963>
- Kneisel, C., (2006). "Assessment of Subsurface Lithology in Mountain

- Environments Using 2D Resistivity Imaging". *Geomorphology* 80, 32–44.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.09.012>
- Murti, H. A. (2009). *Analisis Pendugaan Potensi Akifer dengan Metode Geolistrik Resistivitas Sounding dan Mapping di Kawasan Karst Kecamatan Giritontro Kabupaten Wonogiri*. Universitas Sebelas Maret.
- Navarro, A. (2013). *Groundwater recharge assessment in karst aquifers by APLIS method and potential at European scale*. International Workshop on Groundwater Systems in Europe, Berlin 2013
- Neumann, T., Berner, Z., Stuben, D., Bahri, S., & Jaya, M. (2009). "Geowissenschaftliche Bewertung von Karsthöhlen für die Wasserbewirtschaftung in Gunung Sewu". *WasserWirtschaft*, 99(7–8), 31–36.
- Okpoli, C. C. (2013). "Sensitivity and resolution capacity of electrode configurations". *International Journal of Geophysics*, 2013(October 2013).
<https://doi.org/10.1155/2013/608037>
- Omolaiye, G. E., Oladapo, I. M., Ayolabi, A. E., Akinwale, R. P., Akinola, A. A., Omolaye, K. L., & Sanuade, O. A. (2020). "Integration of remote sensing, GIS and 2D resistivity methods in groundwater development". *Applied Water Science*, 10(6), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01219-x>
- Pacitan, B. K. (2020). Potensi dan Produk Unggulan Jawa Timur. In *Bps* (Nomor 8).
- Padlilah, M. (2021). *Penerapan Metode Combined-Inversion pada Data Resistivitas 2d Konfigurasi Dipole-Dipole dan Wenner-Schlumberger di Daerah Karst Desa Gedompol, Kabupaten Pacitan*. Tugas Akhir Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prahasta, Eddy. (2009). *Sistem Informasi Geografis : Konsep-konsep Dasar (Perspektif Geodesi & Geomatika)*. Bandung : Penerbit Informatika
- Prayogo, T. (2009). "Pemetaan Geohidrologi Daerah Donorojo Kabupaten Pacitan". *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 10(1), 54.
<https://doi.org/10.29122/jtl.v10i1.1503>
- Puntodewo, A., Dewi, S., Tarigan, J., 2003, *Sistem Informasi Geografis untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*, Center for International Forestry Research (CIFOR)

- Rahmat, M. (2018). *Analisis Parameter Fisis (Vp, Bulk Density, Resistivitas) dan Geokimia untuk Karakterisasi Batuan Karbonat Kawasan Karst Pringkuku, Pacitan*. Tugas Akhir Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics 2nd Edition*. In A John Wiley & Sons, Ltd.
- Silva, R. W. da C., & Filho, W. M. (2012). "Geoelectrical mapping of contamination in the cemeteries: The case study in Piracicaba, São Paulo/Brazi". *Environmental Earth Sciences*, 66(5), 1371–1383. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1347-7>
- Stevanović, Z. (2015). *Karst Aquifers – Characterization and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12849-8>
- Suharso, K. B. (2018). *Analisis Zona Akuifer pada Kawasan Karst Daerah " X " Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Analysis of Aquifer Zone in " X " Field Area of Karst ising Geoelectric Method Of Configuration*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Surono, B. T., & Sudarno, L. (1992). *Peta Geologi Lembar Surakarta-Girintontro, Jawa*.
- Telford. (1990). *Applied geophysics (second edition)*. In Cambridge University Press (Vol. 69, Issues 1–2). [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(91\)90163](https://doi.org/10.1016/0031-9201(91)90163)
- Bemmelen, R. W. Van. 1949. *The Geology of Indonesia vol IA General Geology*. Martinus Nijhoff. The Hague, Netherland.
- Weight, W. D. (2008). *Hydrogeology Field Manual (Second)*. The McGraw-Hill Companies, Inc. <https://doi.org/10.1036/0071477497>
- White, W.B., (1988). *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain*. Oxford University Press, New York
- Wicaksono, A. P., Febriarta, E., Nurani, D. T. T., & Larasati, A. (2020). "Evaluasi Kebutuhan Air Persemaian Di Kawasan Karst Nggorang Manggarai Barat, Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur". *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(3), 572–581. <https://doi.org/10.14710/jil.18.3.572-581>
- Widiyanti, W., & Dittmann, A. (2014). "Climate Change and Water Scarcity Adaptation Strategies in the Area of Pacitan, Java Indonesia". *Procedia Environmental Sciences*, 20, 693–702.

<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.083>

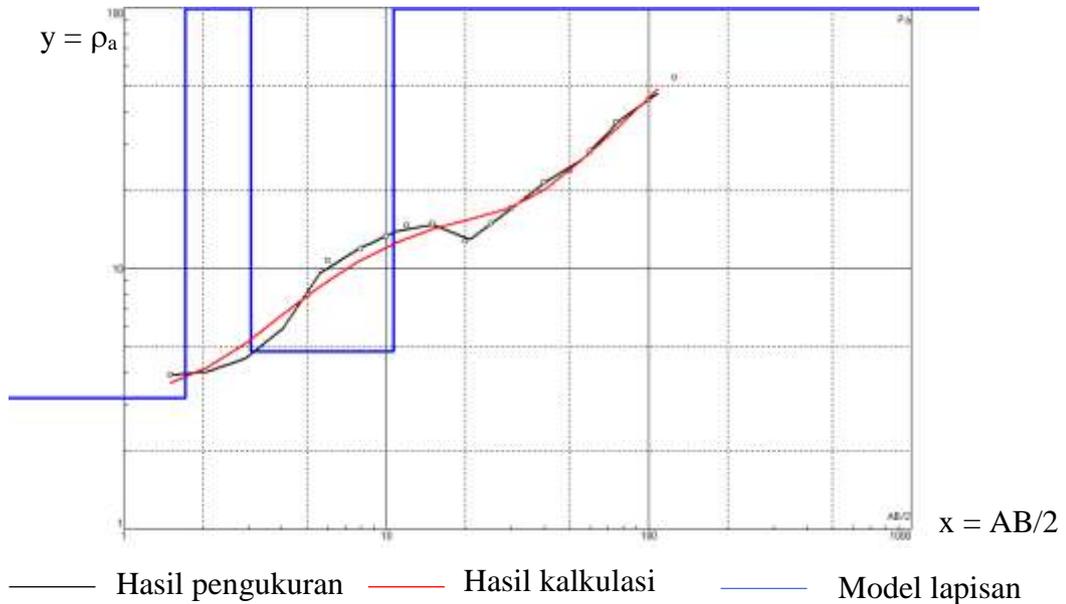
- Wijaya, L. (2009). *Identifikasi pencemaran airtanah dengan metode geolistrik di wilayah ngringo jaten karanganyar*. Tugas Akhir. Jurusan Fisika. Universitas Sebelas Maret
- Wuryanta, A. (2018). "Zonasi Kerentanan Air Tanah Pada Bentang Alam Karst". Seminar Nasional Geomatika 2018: Penggunaan dan Pengembangan Produk Informasi Geospasial Mendukung Daya Saing Nasional. 209–216.
- Yahya, Lukman; Mustafa, L. S. (2018). "Geologi dan Petrogenesis Andesit Daerah Donorejo dan sekitarnya, Kecamatan Punung, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur." 1–12.
- Yogafanny, E., Anastasia, T. T., & Utama, V. F. (2020). "Zonasi Kerentanan Air Tanah Menggunakan Metode COP dan APLIS di Daerah Aliran Sungai Gremeng, Desa Umbulrejo, Ponjong, Gunungkidul". *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 4(2), 103–120.
- Zaree, M., Javadi, S., & Neshat, A. (2019). "Potential detection of water resources in karst formations using APLIS model and modification with AHP and TOPSIS". *Journal of Earth System Science*, 128(4), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1119-4>

LAMPIRAN

Lampiran 1.

Hasil pengolahan dan interpretasi metode VES

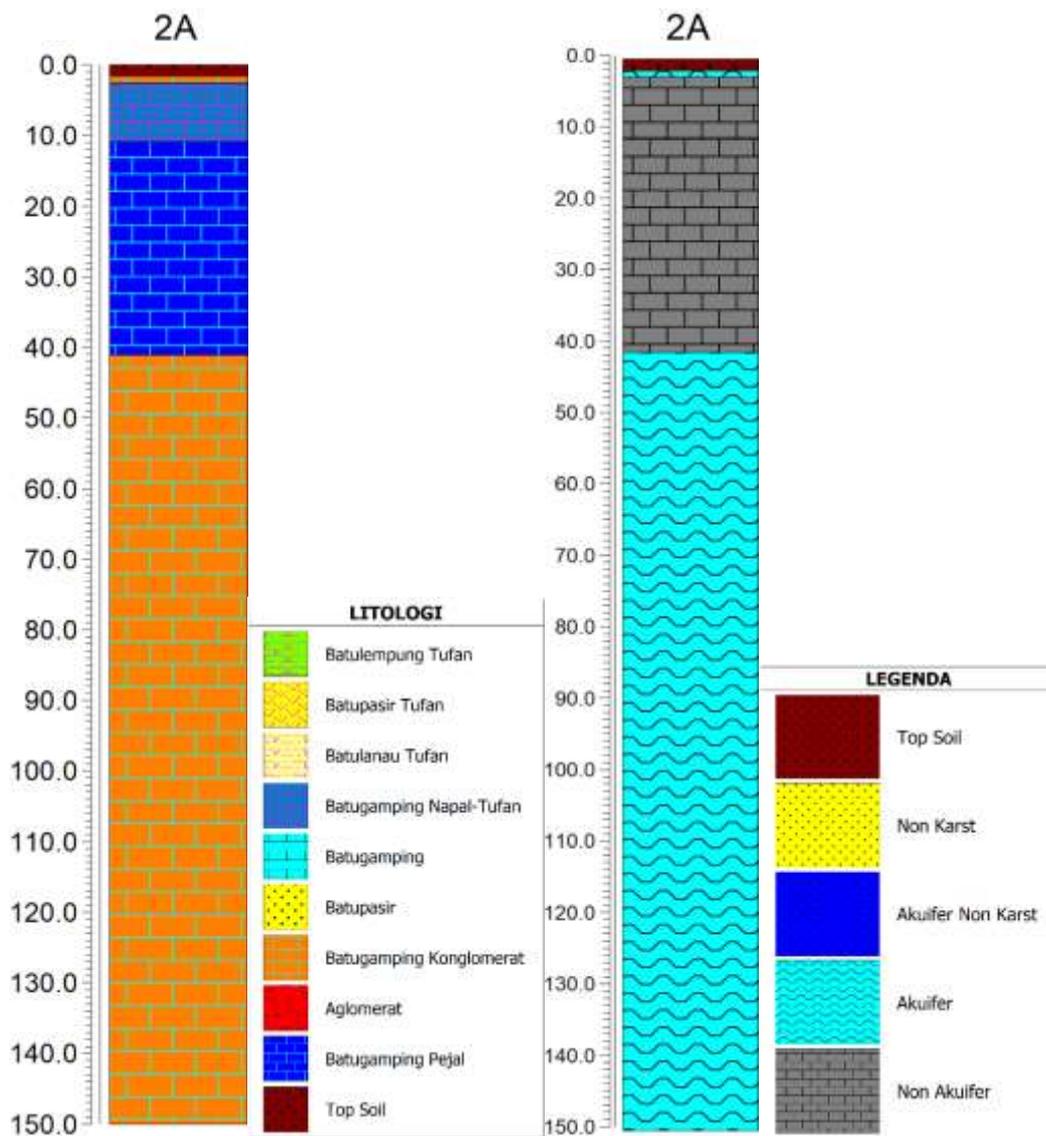
1. Hasil dan interpretasi titik VES 2A



Gambar 39 Hasil *curve matching inversion* titik 2A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi.

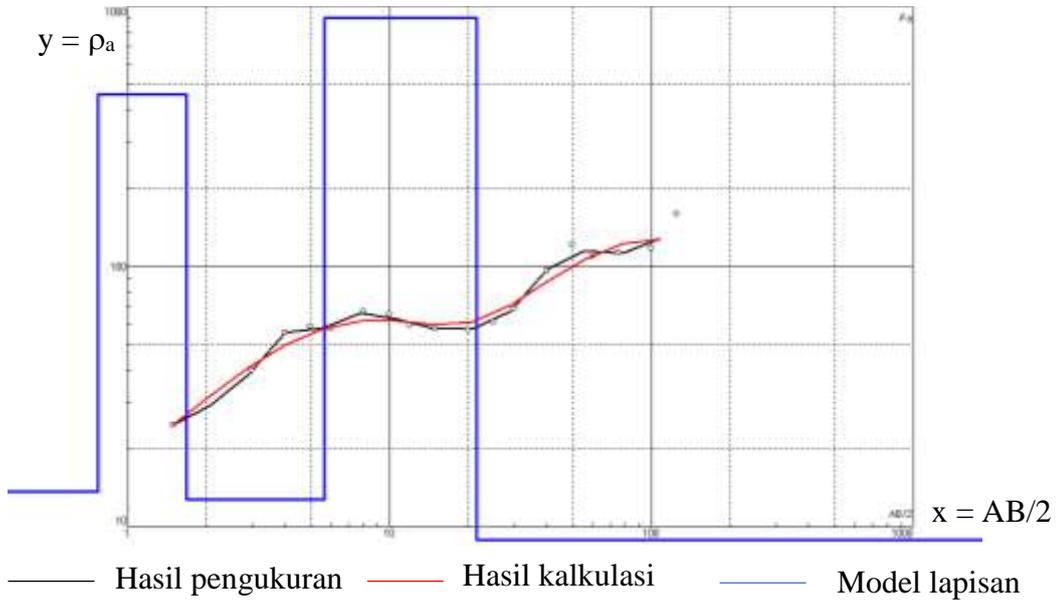
Tabel 1 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 2A

Titik 2A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	1.559	1.559	3.377	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	2.488	0.929	137.7	Batugamping Konglomerat	Akuifer
3	10.84	8.352	5.854	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
4	41.06	30.22	628.9	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
5	150	108.94	121.4	Batugamping Konglomerat	Akuifer



Gambar 2 (a) Interpretasi litologi titik 2A (b) Identifikasi akuifer di titik 2A ditemukan potensi akuifer Batugamping konglomerat pada kedalaman sekitar 40 meter.

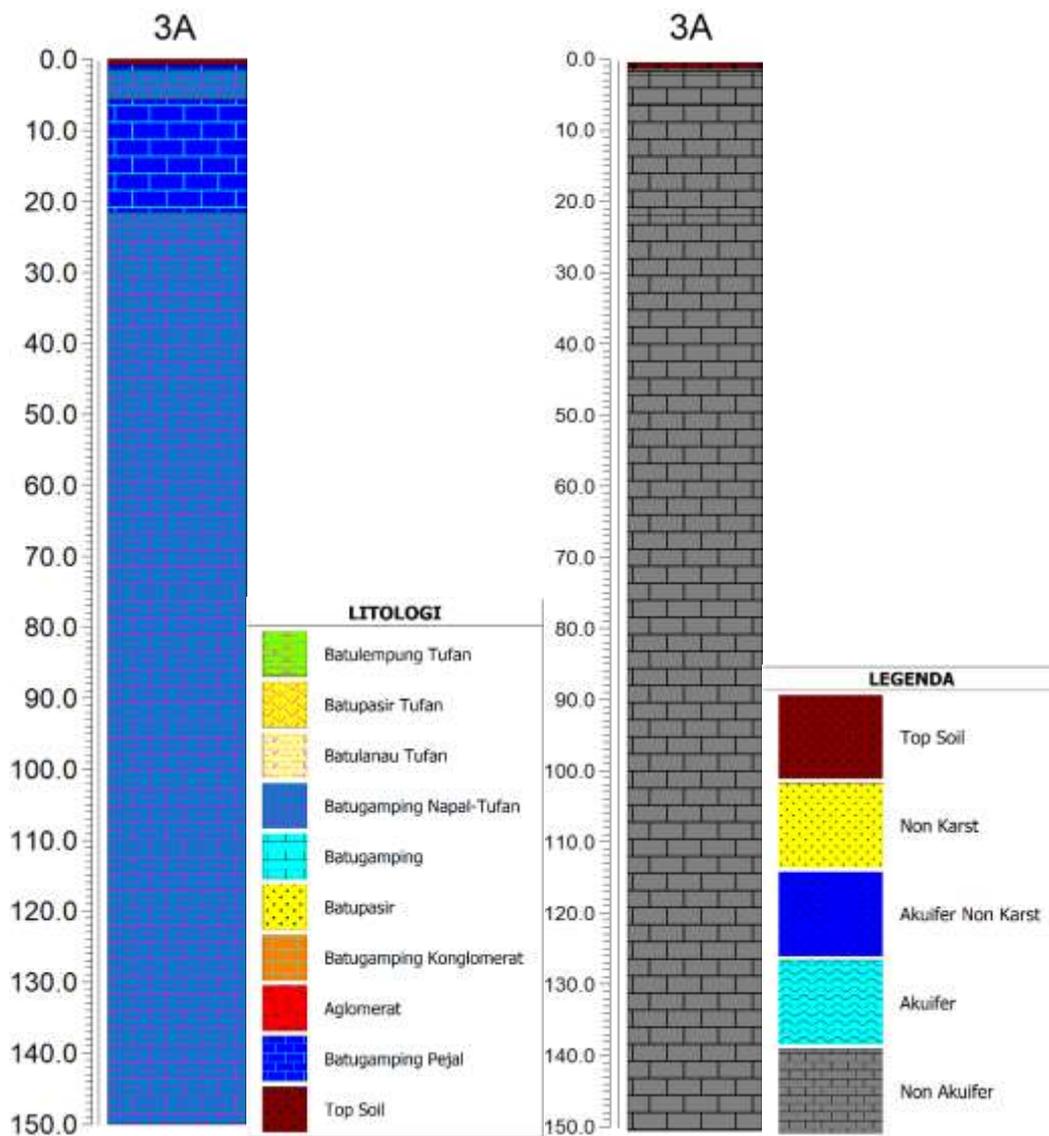
2. Hasil dan interpretasi titik VES 3A



Gambar 3 Hasil *curve matching inversion* titik 3A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi.

Tabel 2 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 3A

Titik 3A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0.772	0.772	13.6	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	1.68	0.906	459	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
3	5.65	3.97	12.7	Batugamping Napalan-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
4	21.5	15.9	907	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
5	150	128.5	8.92	Batugamping Napalan-Tufan	<i>Non-akuifer</i>



Gambar 4 (a) Interpretasi litologi titik 3A (b) Identifikasi akuifer di titik 3A tidak ditemukan potensi akuifer.

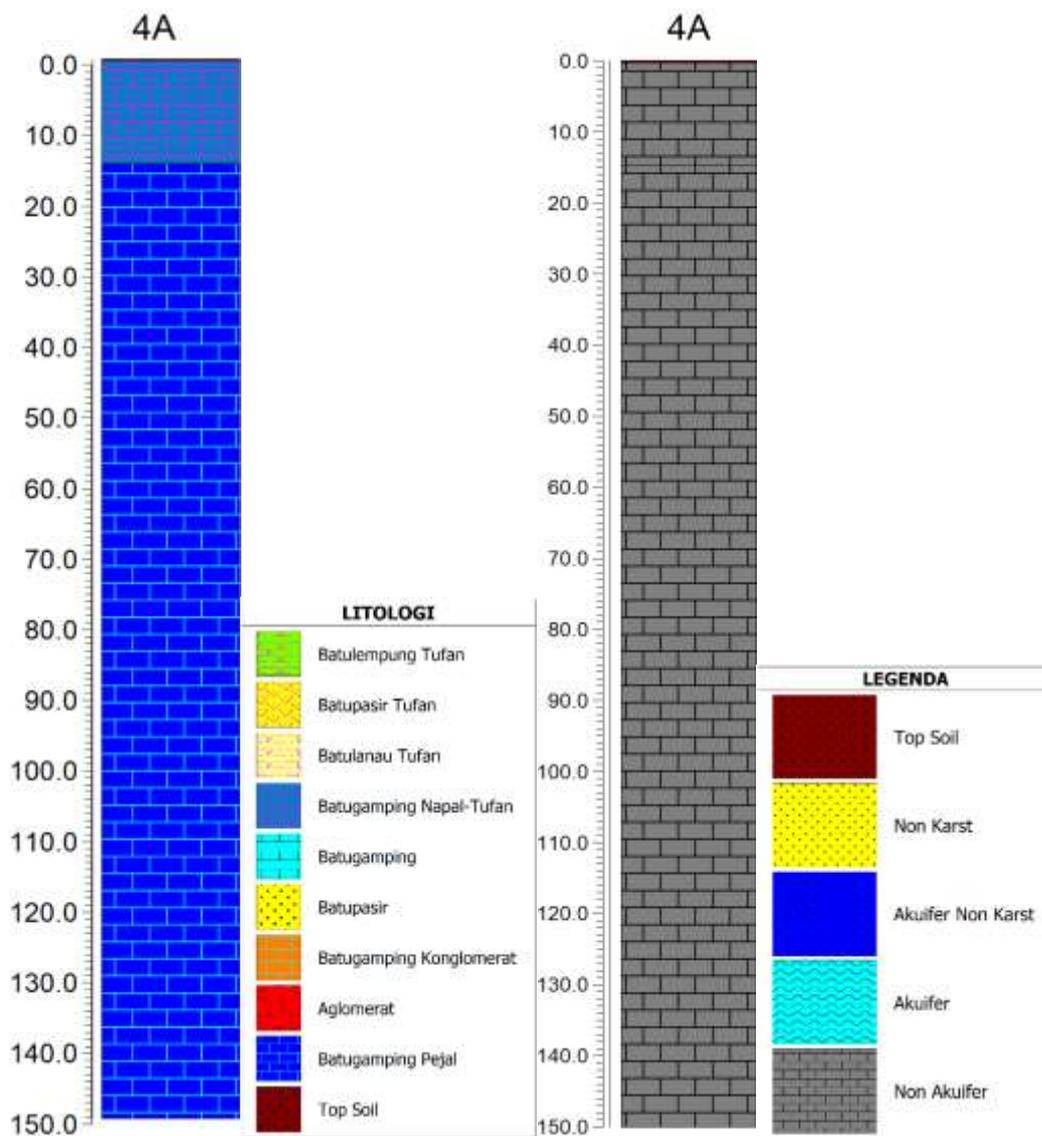
3. Hasil dan interpretasi titik VES 4A



Gambar 5 Hasil *curve matching inversion* titik 4A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 3 lapisan litologi.

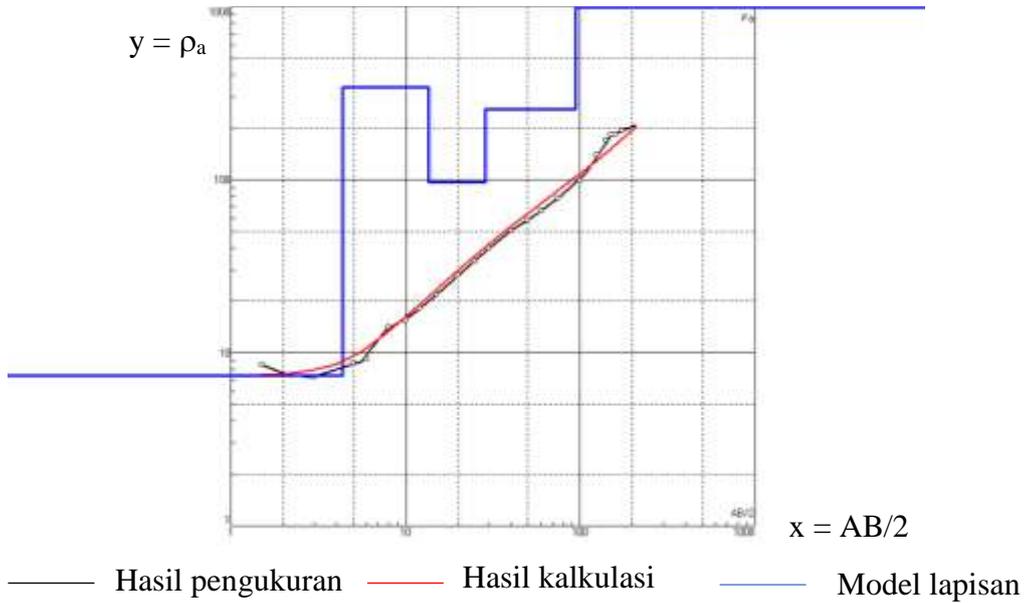
Tabel 3 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 4A

Titik 4A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ω m)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0.2415	0.2415	3.55	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	14.8	14.5585	10.16	Batugamping Napalan-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
3	150	135.2	902	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>



Gambar 6 (a) Interpretasi litologi titik 4A (b) Identifikasi akuifer di titik 4A tidak ditemukan potensi akuifer.

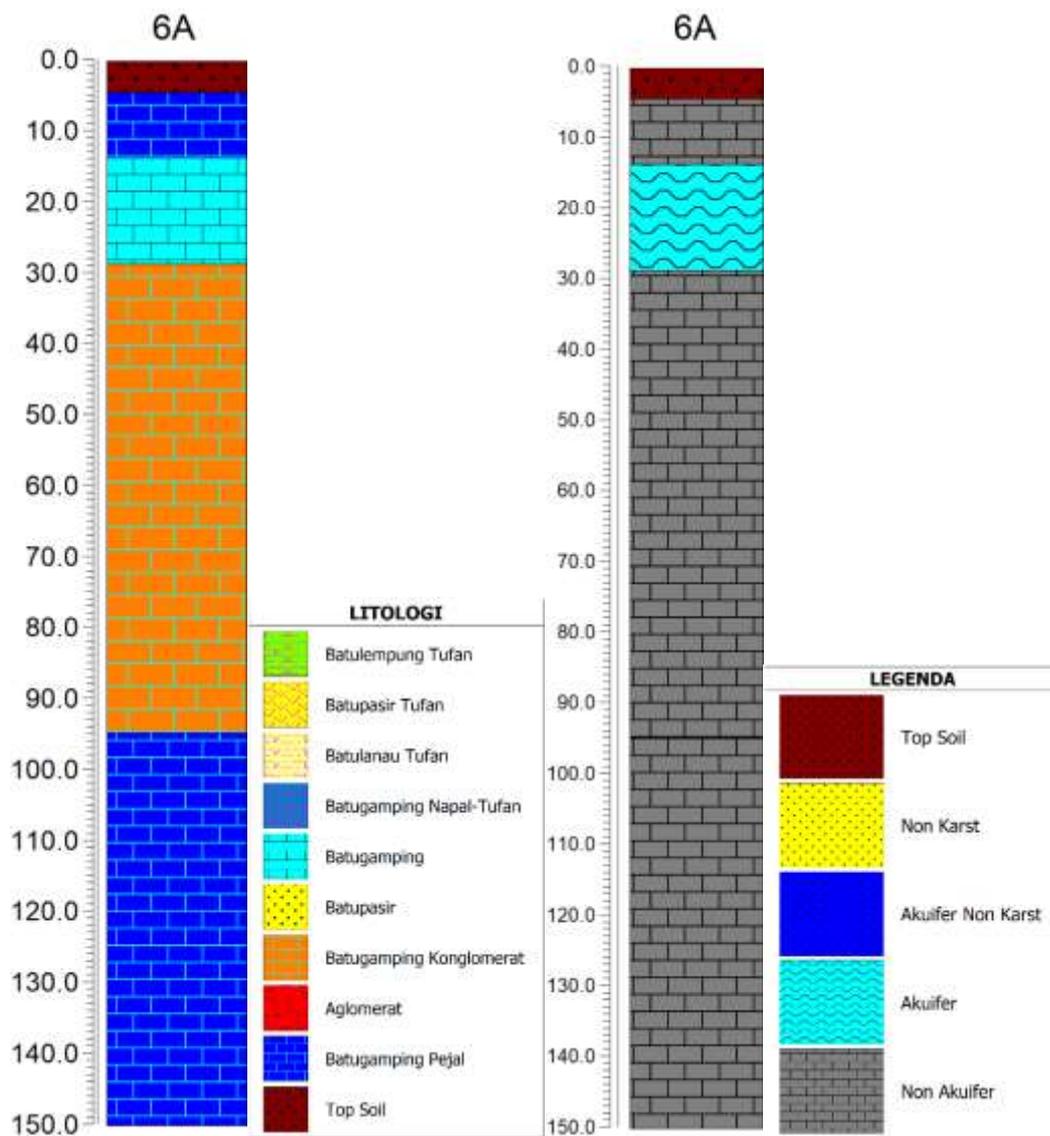
4. Hasil dan interpretasi titik VES 6A



Gambar 7 Hasil *curve matching inversion* titik 6A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi.

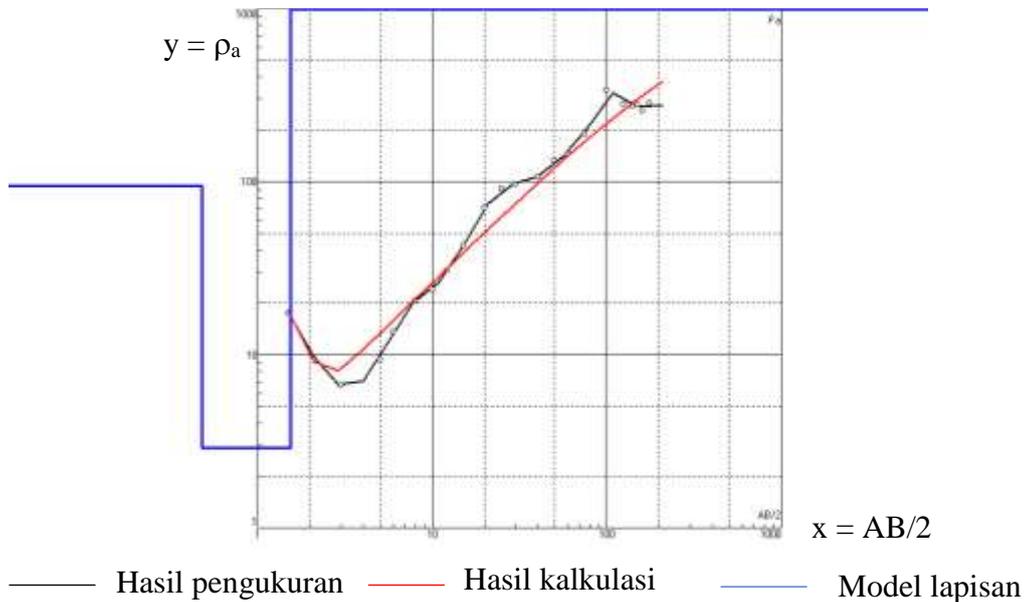
Tabel 4 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 6A

Titik 6A				Litologi	Identifikasi akuifer
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ω m)		
1	4.36	4.36	7.35	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	13.6	9.26	340	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
3	28.6	16	97.1	Batugamping	Akuifer
4	94.6	66	254	Batugamping Konglomerat	<i>Non-akuifer</i>
5	150	55.4	15441	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>



Gambar 8 (a) Interpretasi litologi titik 6A (b) Identifikasi akuifer di titik 6A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 13 s.d 28 meter.

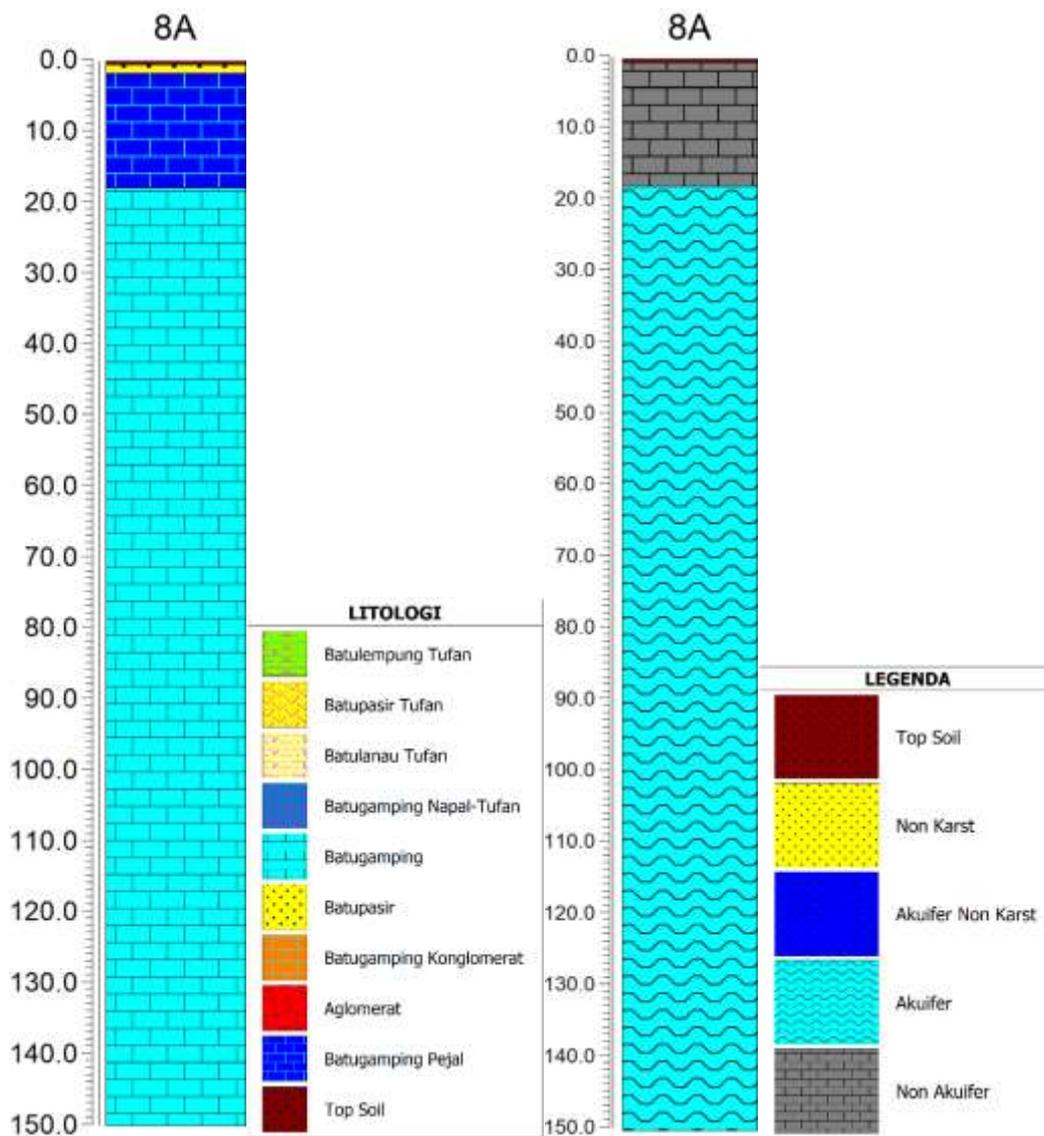
5. Hasil dan interpretasi titik VES 8A



Gambar 9 Hasil *curve matching inversion* titik 8A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi.

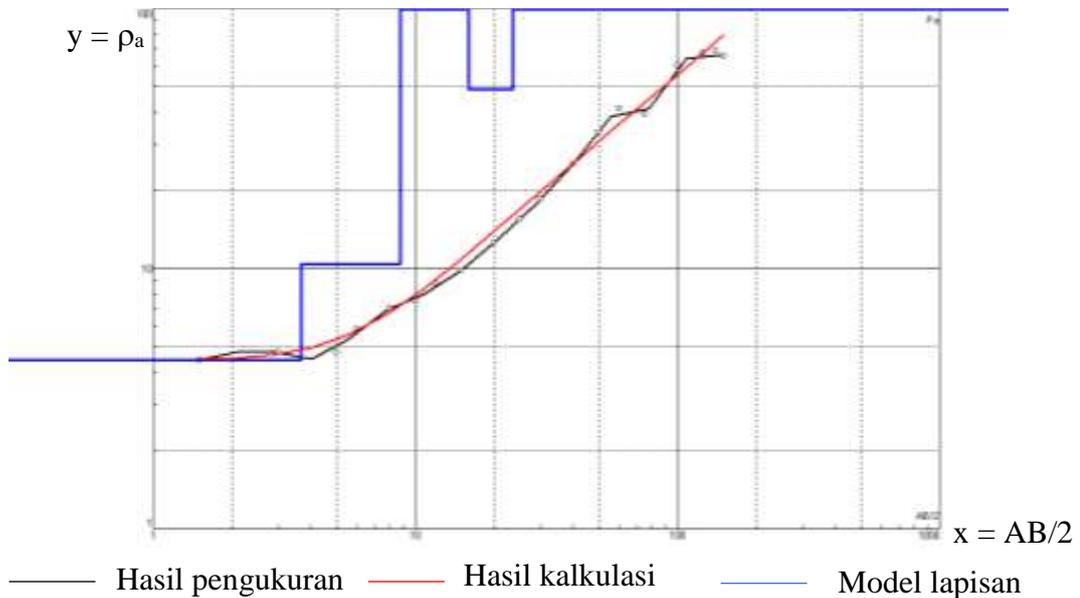
Tabel 5 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 8A

Titik 8A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ω m)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0.504	0.504	102	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	1.74	1.236	3.52	Batupasir	<i>Non-akuifer</i>
3	3.9	2.16	44526	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
4	17.8	13.9	359	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
5	150	132.2	31.9	Batugamping	Akuifer



Gambar 10 (a) Interpretasi litologi titik 8A (b) Identifikasi akuifer di titik 8A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 20 meter.

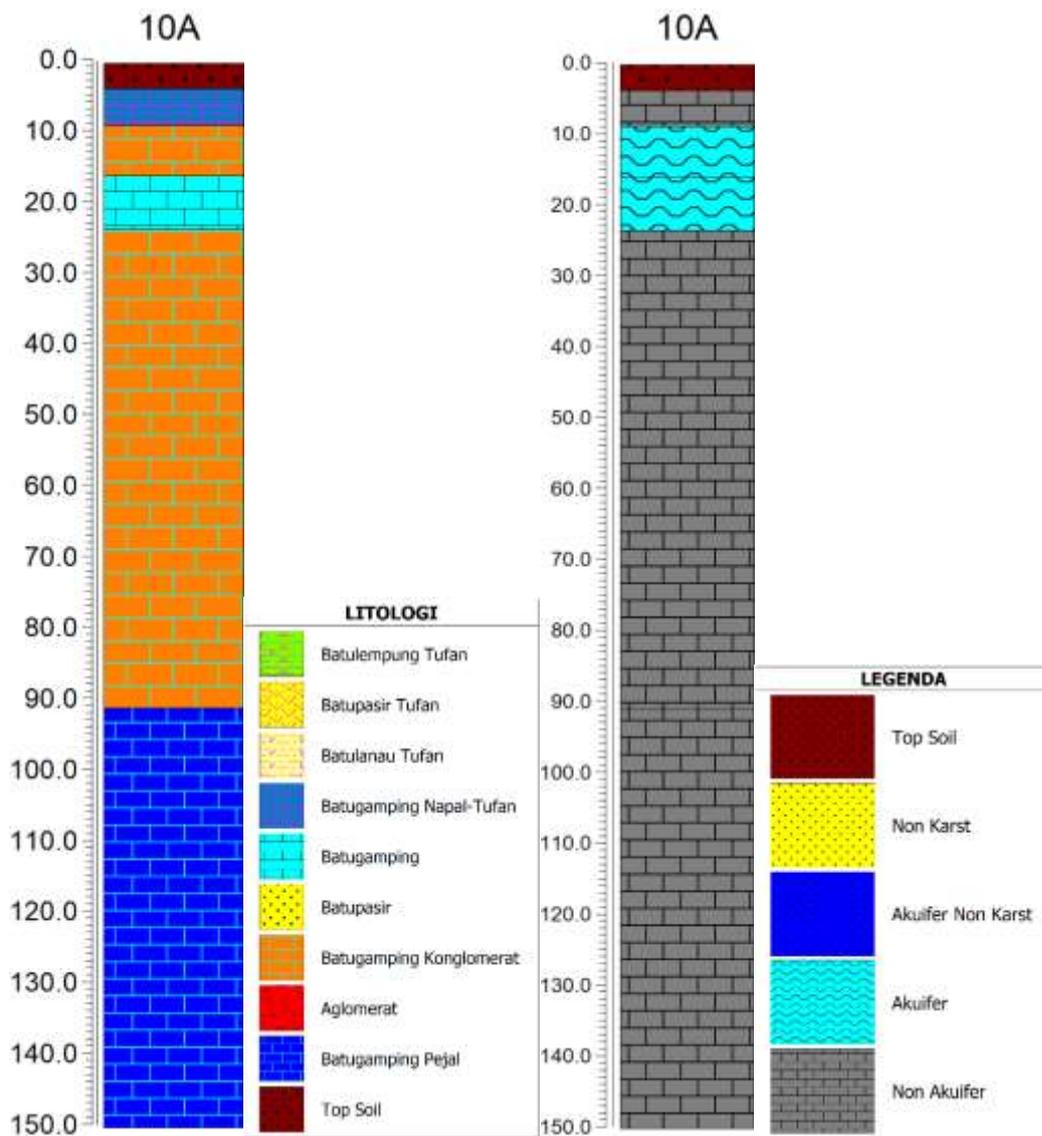
6. Hasil dan interpretasi titik VES 10A



Gambar 401 Hasil *curve matching inversion* titik 10A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi.

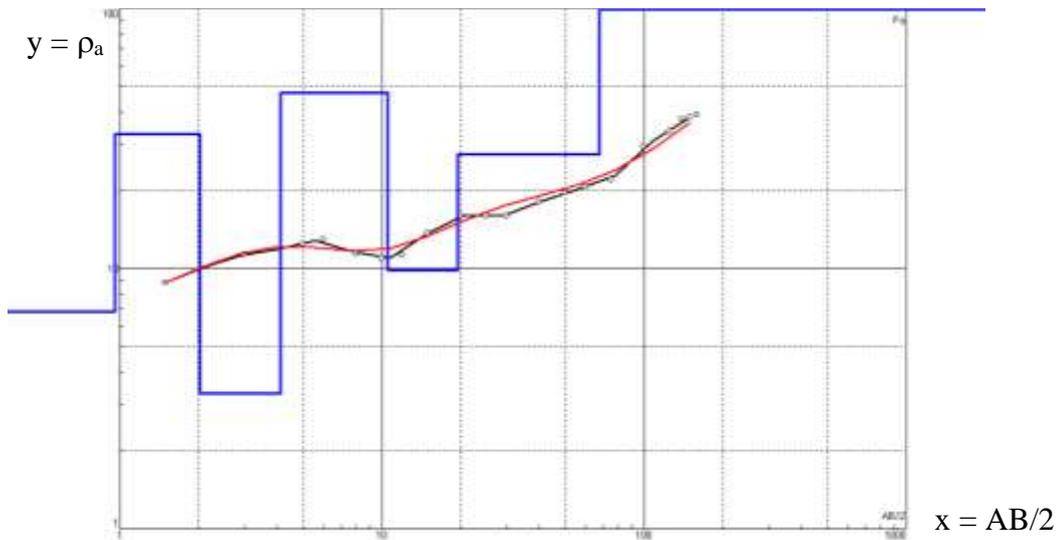
Tabel 6 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 10A

Titik 10A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	3.66	3.66	4.44	Top Soil	Top Soil
2	8.74	5.08	10.4	Batugamping Napal-Tufan	Non-akuifer
3	15.9	7.18	150	Batugamping Konglomerat	Akuifer
4	23.4	7.52	48.9	Batugamping	Akuifer
5	90.8	67.4	201	Batugamping Konglomerat	Non-akuifer
6	150	59.2	1261	Batugamping Pejal	Non-akuifer



Gambar 12 (a) Interpretasi litologi titik 10A (b) Identifikasi akuifer di titik 10A ditemukan potensi akuifer Batugamping Konglomerat dan Barugamping pada kedalaman sekitar 10 s.d 23 meter.

7. Hasil dan interpretasi titik VES 12A

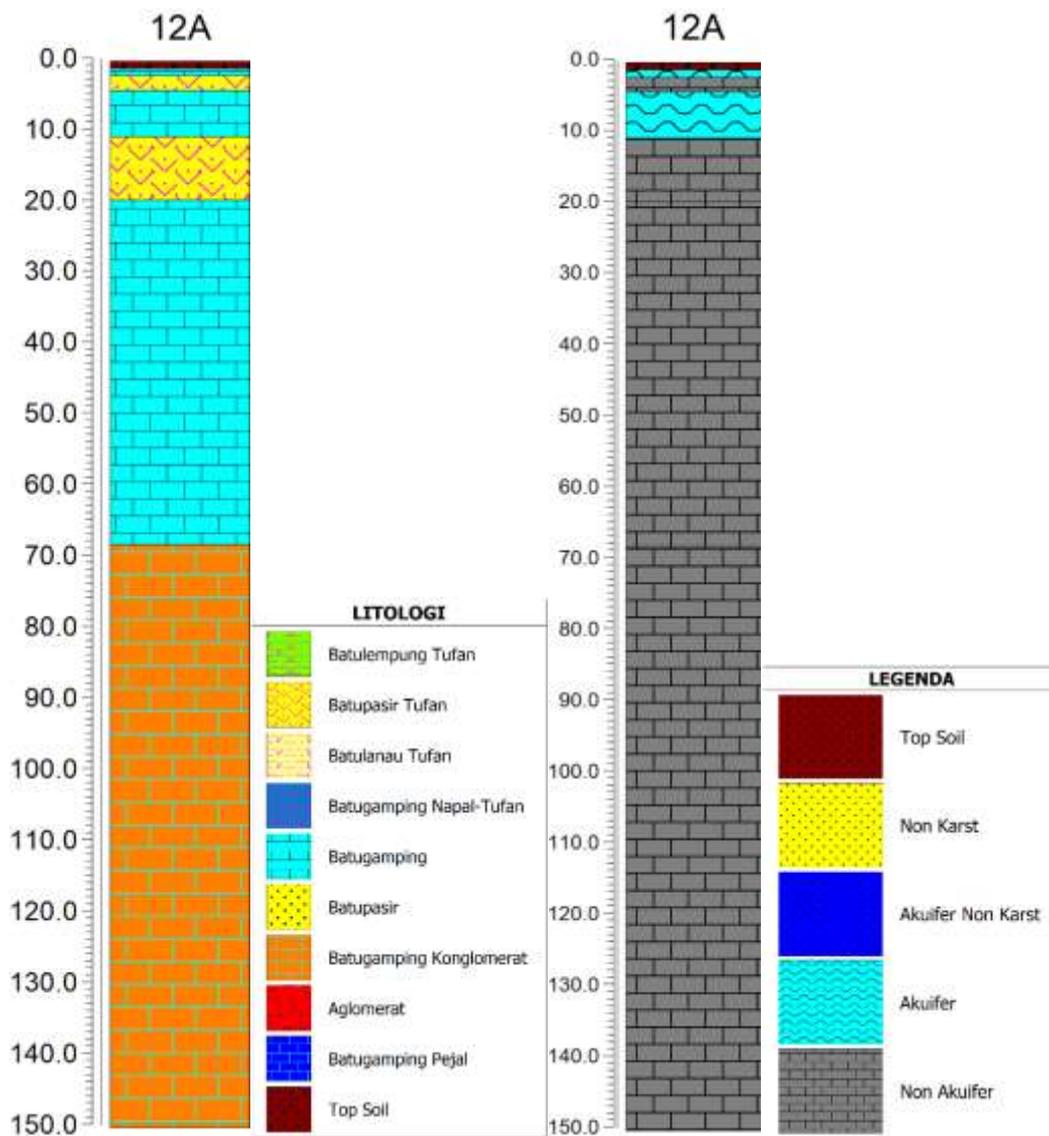


— Hasil pengukuran — Hasil kalkulasi — Model lapisan

Gambar 413 Hasil *curve matching inversion* titik 12A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 7 lapisan litologi.

Tabel 7 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 12A

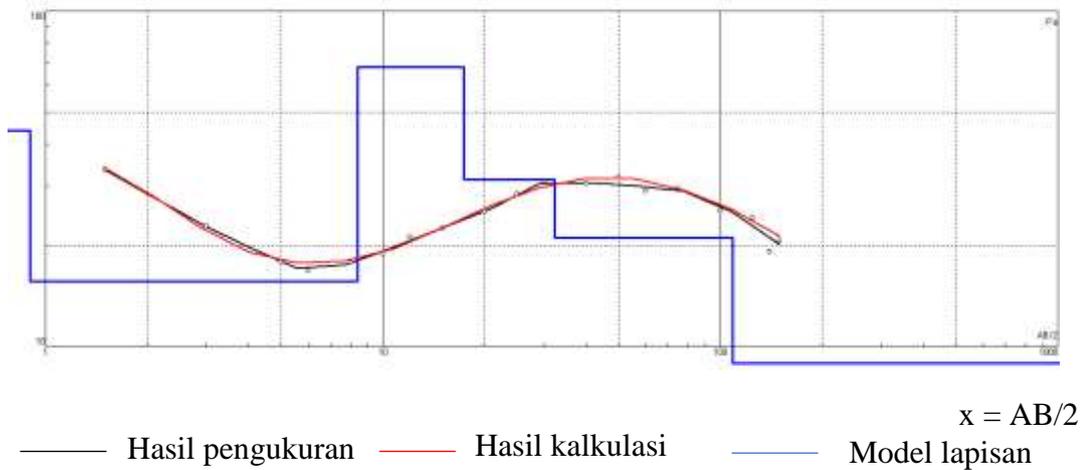
Titik 12A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0.962	0.962	6.83	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	2.03	1.07	33	Batugamping	Akuifer
3	4.11	2.08	3.32	Batupasir Tufan	<i>Non-akuifer</i>
4	10.6	6.45	47.5	Batugamping	Akuifer
5	19.5	8.98	9.83	Batupasir Tufan	<i>Non-akuifer</i>
6	67.9	48.4	27.4	Batugamping	<i>Non-akuifer</i>
7	150	82.1	199	Batupasir Konglomerat	<i>Non-akuifer</i>



Gambar 14 (a) Interpretasi litologi titik 12A (b) Identifikasi akuifer di titik 12A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 2 meter dan 10 meter.

8. Hasil dan interpretasi titik VES 14A

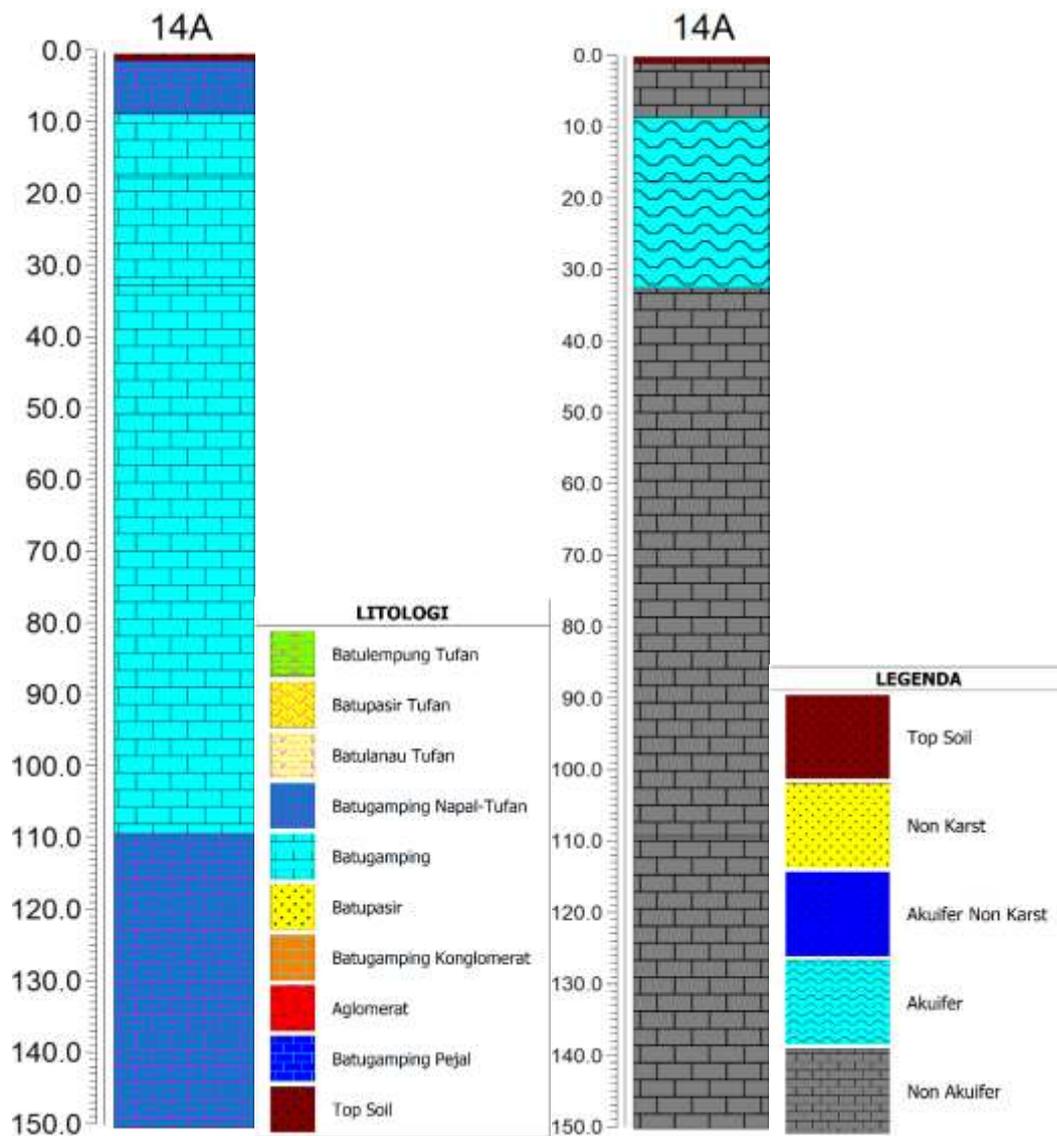
$$y = \rho_a$$



Gambar 425 Hasil *curve matching inversion* titik 14A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi.

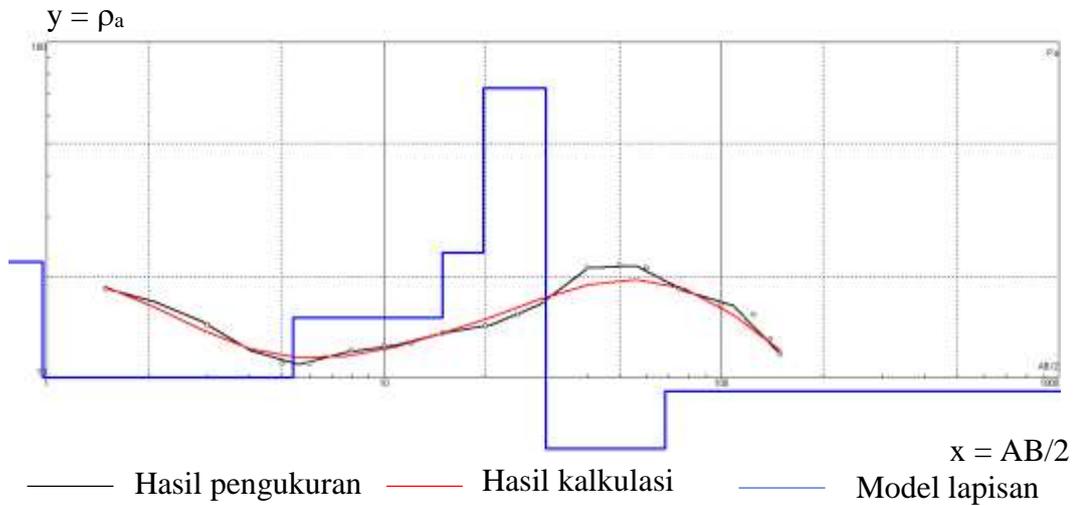
Tabel 8 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 14A

Titik 14A				Litologi	Identifikasi akuifer
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)		
1	0.9	0.9	44	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	8.39	7.49	15.6	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
3	17.3	8.95	68.1	Batugamping	Akuifer
4	32.3	14.9	31.4	Batugamping	Akuifer
5	109	76.3	21.1	Batugamping	<i>Non-akuifer</i>
6	150	41	8.89	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>



Gambar 16 (a) Interpretasi litologi titik 14A (b) Identifikasi akuifer di titik 14A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 10 s.d 30 meter.

9. Hasil dan interpretasi titik VES 15A

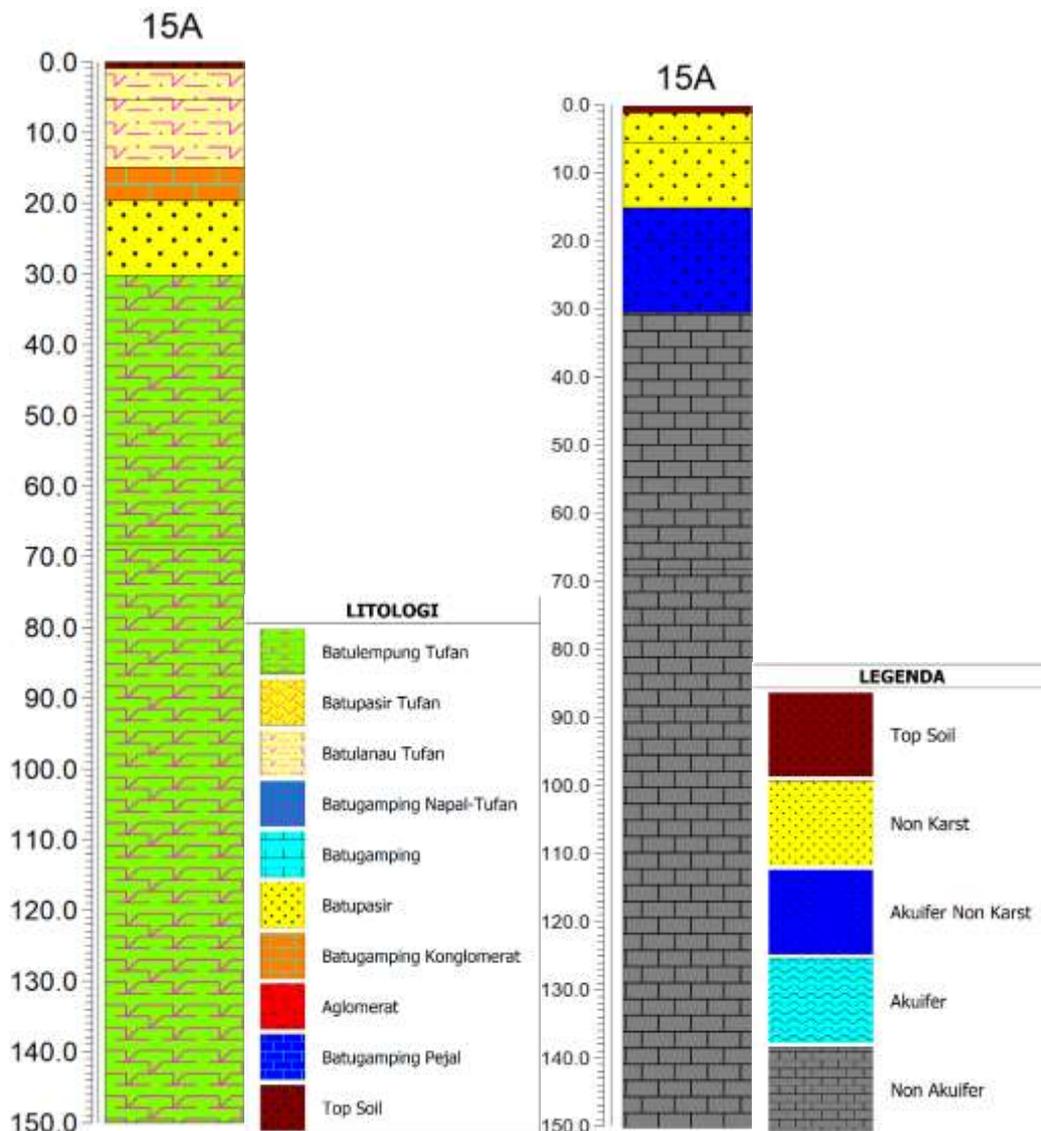


Gambar 437 Hasil *curve matching inversion* titik 15A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 7 lapisan litologi.

Tabel 9 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 15A

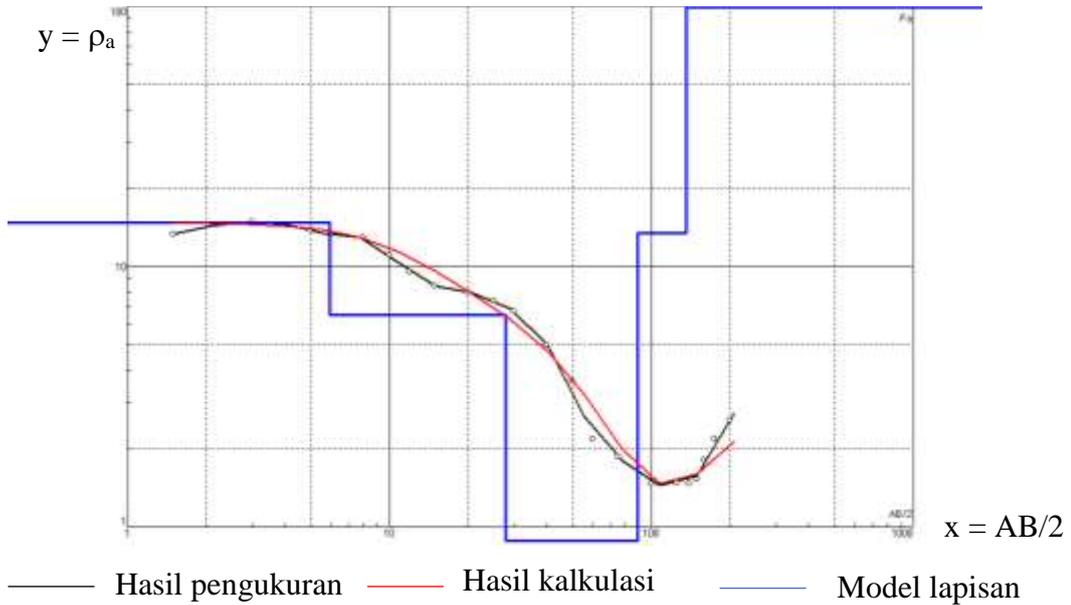
Titik 15A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0.976	0.976	22.1	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	5.37	4.39	10	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-karst</i>
3	14.9	9.55	15.1	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-karst</i>
4	19.7	4.74	23.5	Batugamping	Akuifer <i>Non-karst</i>
5	30.2	10.5	72.8	Batugamping	Akuifer <i>Non-karst</i>
6	68	37.8	4.82	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>

7	150	82	9	Batugamping Napal-Tufan	Non-akuifer
---	-----	----	---	----------------------------	-------------



Gambar 18 (a) Interpretasi litologi titik 15A (b) Identifikasi akuifer di titik 15A ditemukan potensi akuifer *non*-karst yaitu berupa batupasir pada kedalaman sekitar 19 s.d 30 meter.

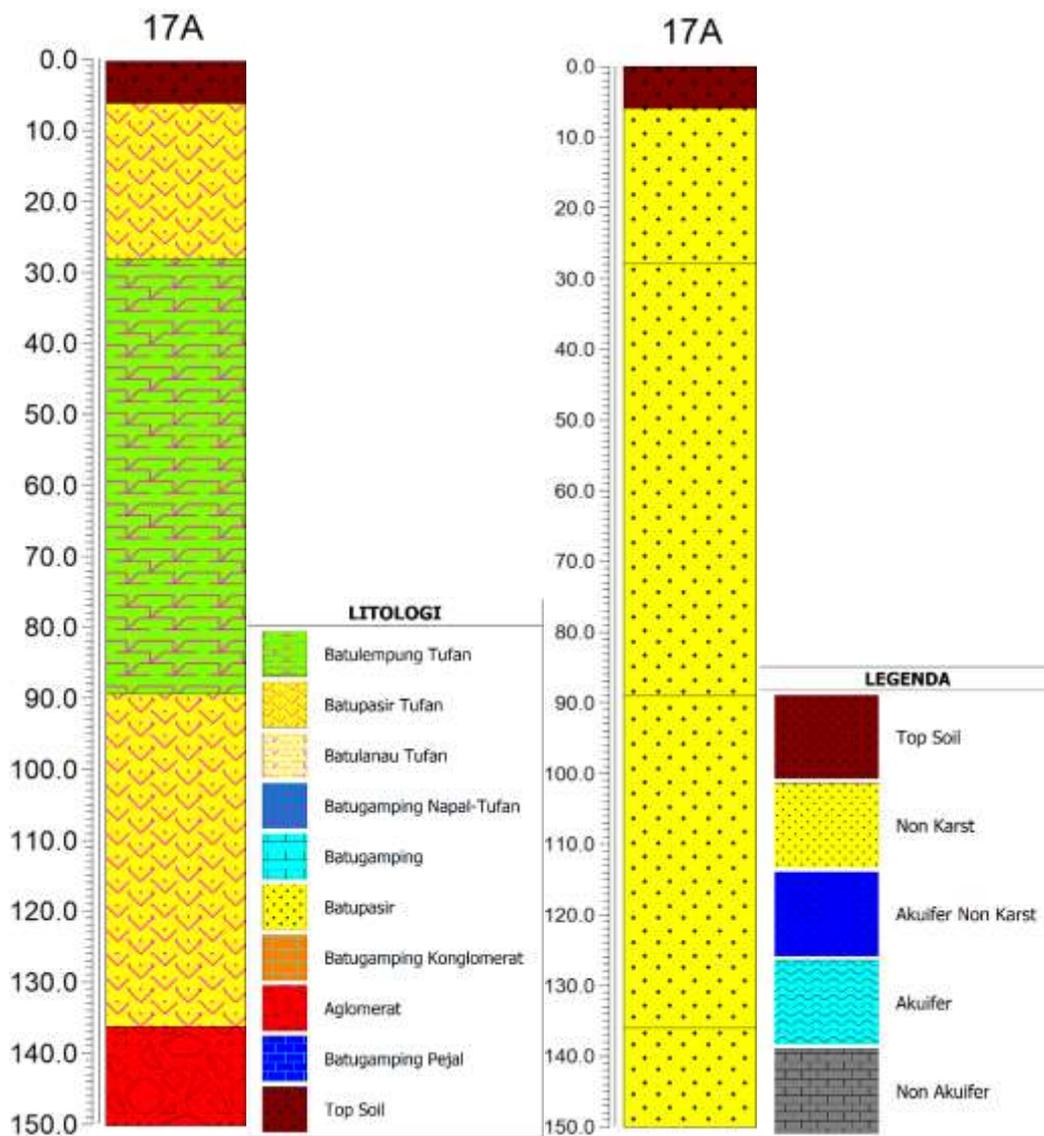
10. Hasil dan interpretasi titik VES 17A



Gambar 449 Hasil *curve matching inversion* titik 17A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 5 lapisan litologi.

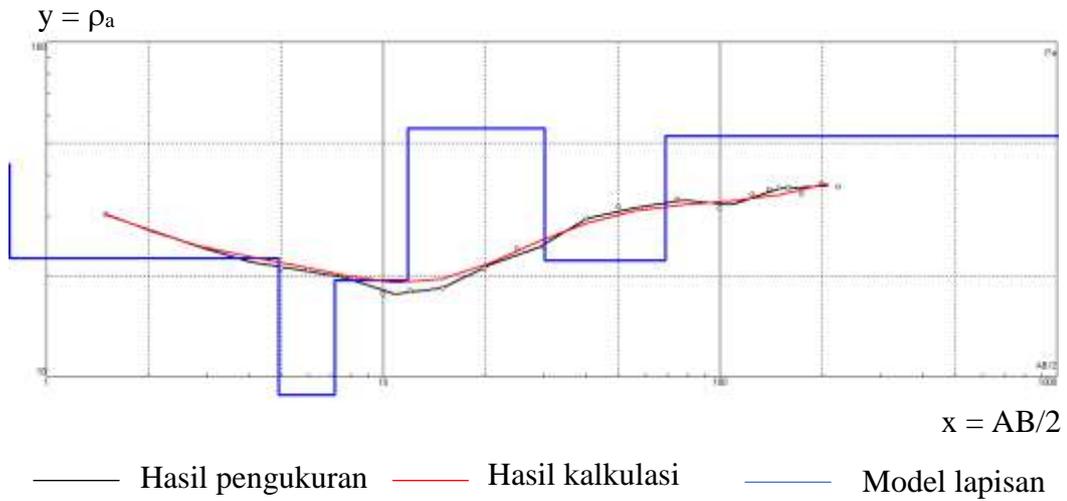
Tabel 10 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 17A

Titik 17A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ω m)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	5.93	5.93	14.7	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	27.9	22	6.53	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>
3	89.1	61.2	0.679	Batulempung Tufan	<i>Non-karst</i>
4	136	47.2	13.4	Batupasir Tufan	<i>Non-karst</i>
5	150	14	193	Aglomerat	<i>Non-karst</i>



Gambar 20 (a) Interpretasi litologi titik 17A (b) Identifikasi akuifer di titik 17A tidak ditemukan potensi akuifer.

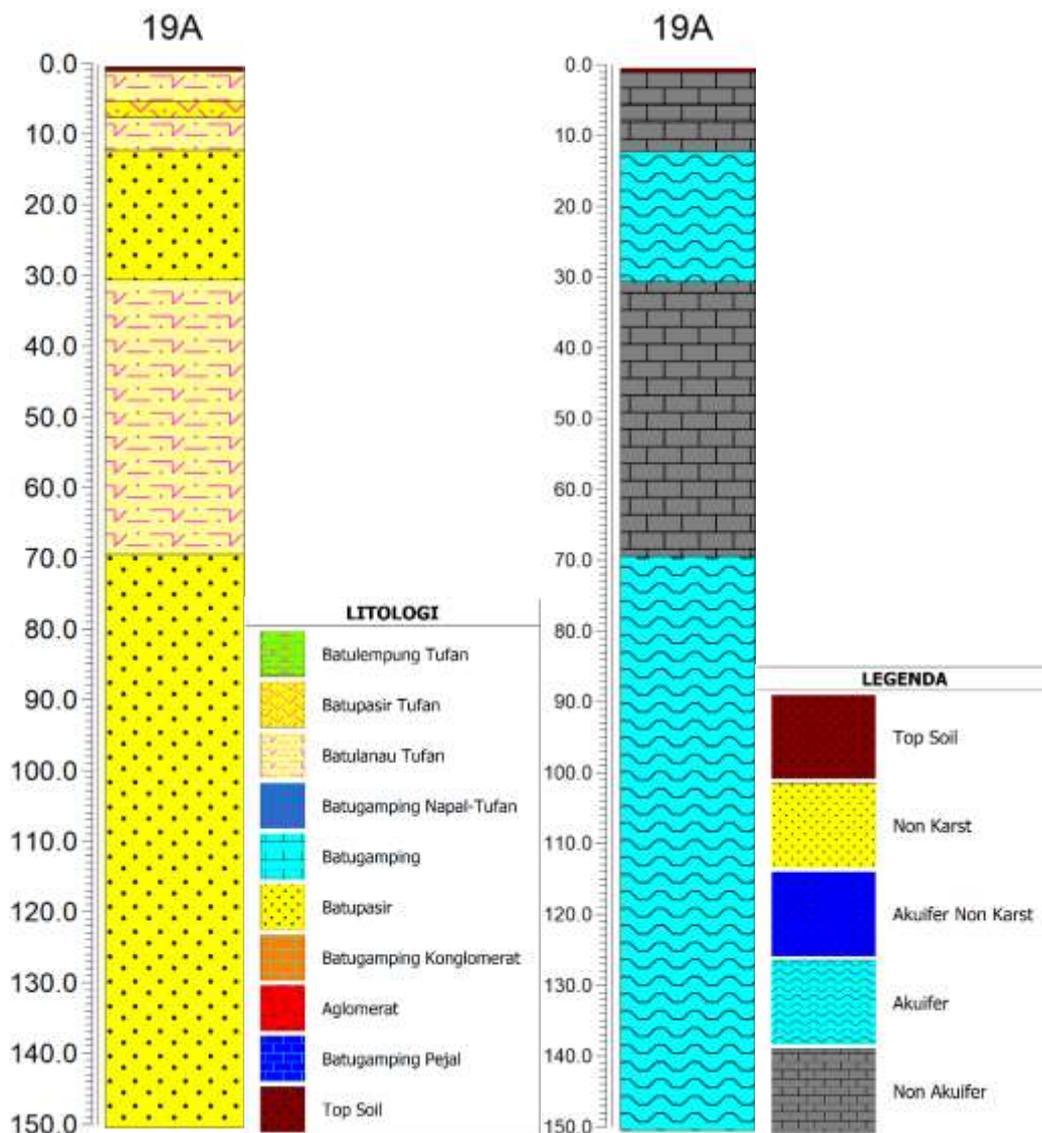
11. Hasil dan interpretasi titik VES 19A



Gambar 21 Hasil *curve matching inversion* titik 19A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 7 lapisan litologi.

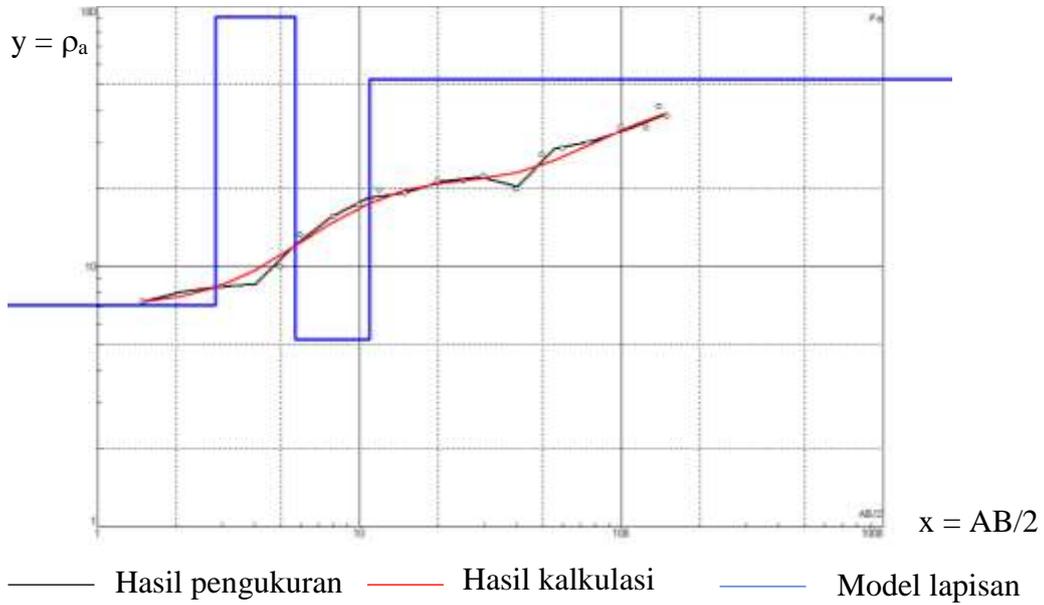
Tabel 11 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 19A

Titik 19A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	0.563	0.563	43.2	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	4.88	4.32	22.6	Batulanau Tufan	<i>Non-karst</i>
3	7.18	2.3	8.83	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-karst</i>
4	11.8	4.62	19.4	Batulanau Tufan	<i>Non-karst</i>
5	30.1	18.3	55.3	Batupasir	Akuifer <i>Non-Karst</i>
6	68.9	38.8	22.2	Batulanau Tufan	<i>Non-karst</i>
7	150	81.1	52.3	Batupasir	Akuifer <i>Non-Karst</i>



Gambar 22 (a) Interpretasi litologi titik 19A (b) Identifikasi akuifer di titik 19A ditemukan potensi akuifer Batupasir pada kedalaman sekitar 10 s.d 30 meter dan kedalaman 70 meter.

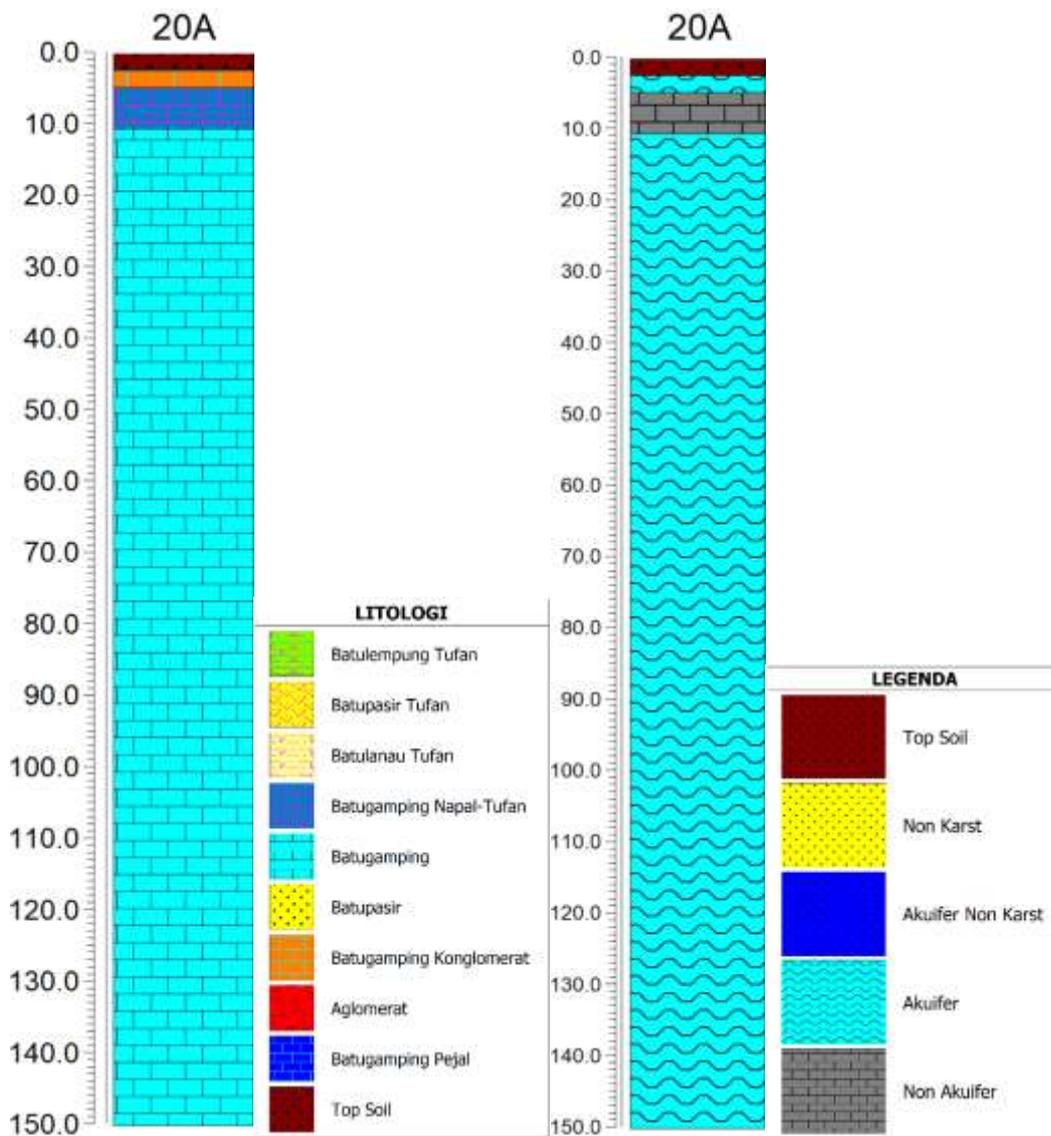
12. Hasil dan interpretasi titik VES 20A



Gambar 23 Hasil *curve matching inversion* titik 20A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 4 lapisan litologi.

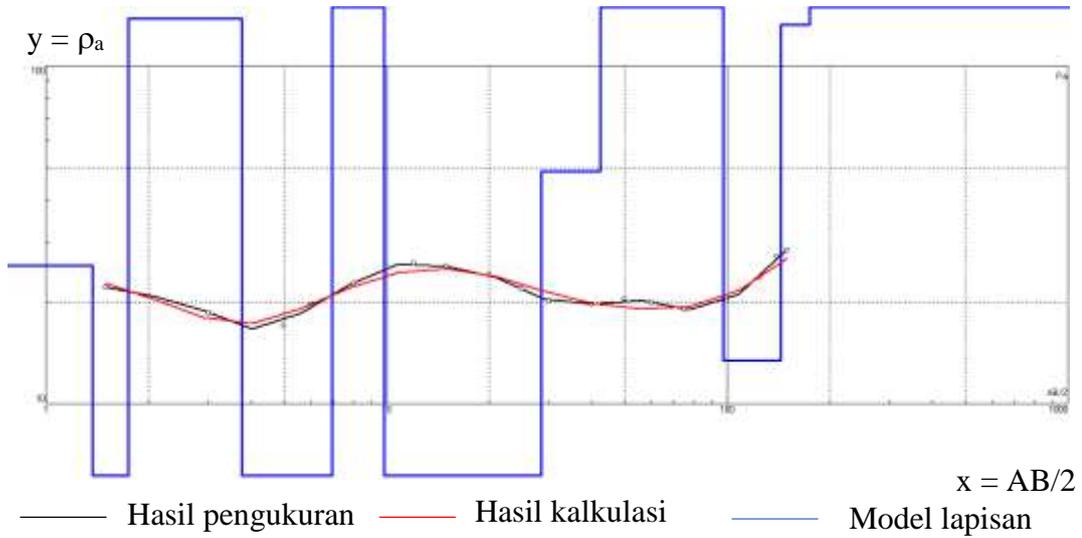
Tabel 12 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 20A

Titik 20A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	2.3	2.3	6.29	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	4.7	2.4	108	Batugamping Konglomerat	Akuifer
3	10.5	5.8	4.925	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
4	150	139.5	58.13	Batugamping	Akuifer



Gambar 24 (a) Interpretasi litologi titik 20A (b) Identifikasi akuifer di titik 20A ditemukan potensi akuifer Batugamping konglomerat pada kedalaman sekitar 4 meter dan akuifer Batugamping pada kedalaman mulai dari sekitar 10 meter.

13. Hasil dan interpretasi titik VES 23A

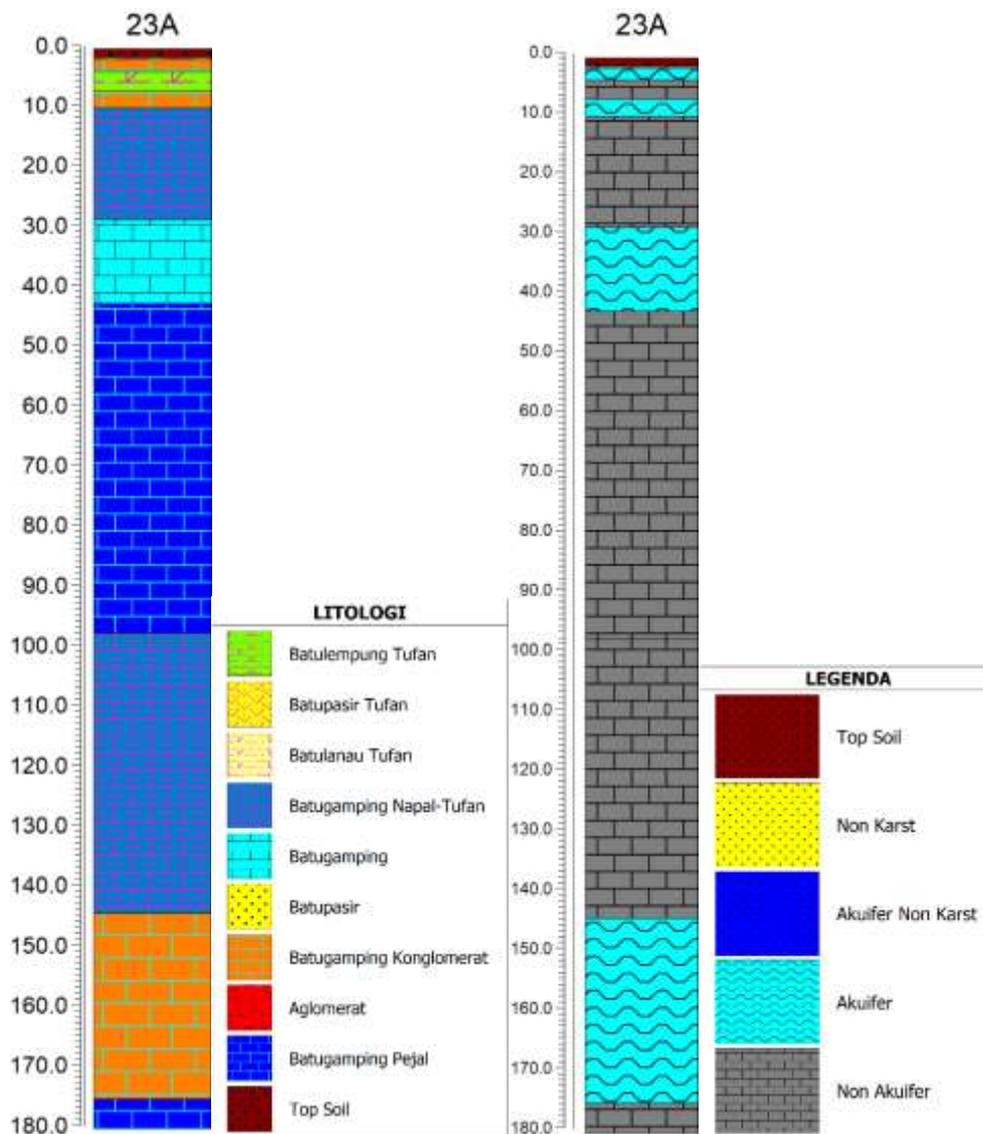


Gambar 25 Hasil *curve matching inversion* titik 23A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 11 lapisan litologi.

Tabel 14 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 23A

Titik 23A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	1.37	1.37	25.6	Top Soil	Top Soil
2	1.74	0.374	2.12	Batulempung Tufan	Non-akuifer
3	3.75	2.01	138	Batugamping Konglomerat	Akuifer
4	6.93	3.18	3.31	Batulempung Tufan	Non-akuifer
5	9.82	2.89	169	Batugamping Konglomerat	Akuifer
6	28.4	18.6	5	Batugamping Napal-Tufan	Non-akuifer

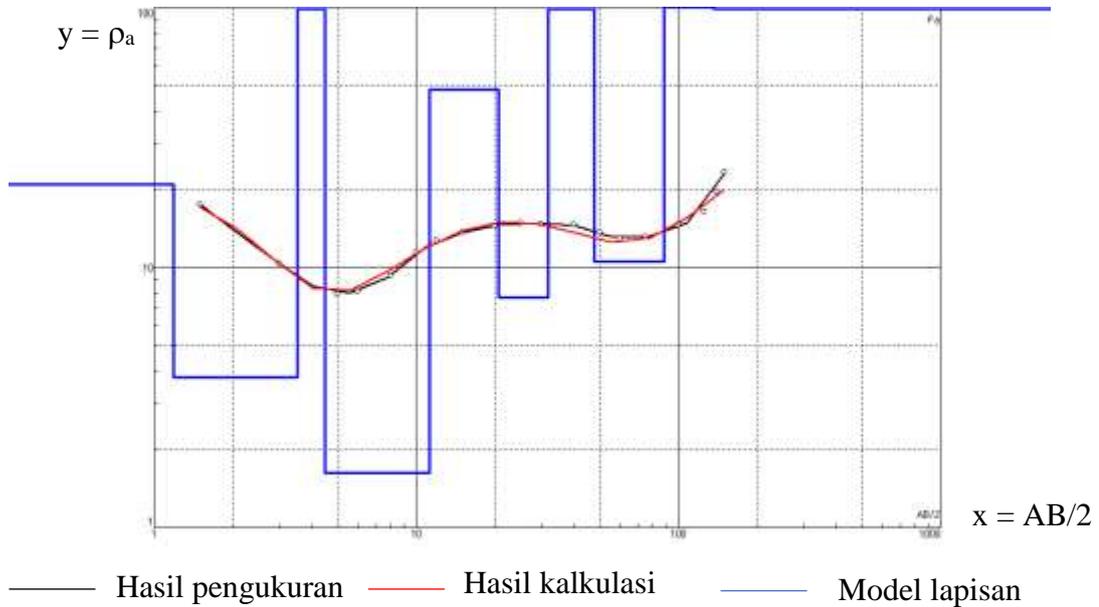
7	42.4	18.6	48.7	Batugamping	Akuifer
8	97.3	14	626	Batugamping Pejal	Non-akuifer
9	144	54.9	13.4	Batugamping Napal-Tufan	Non-akuifer
10	175	46.2	132	Batugamping Konglomerat	Akuifer
11	180	5	812	Batugamping Pejal	Non-akuifer



Gambar 26 (a) Interpretasi litologi titik 23A (b) Identifikasi akuifer di titik 23A ditemukan potensi akuifer Batugamping konglomerat pada kedalaman sekitar 3

meter, 10 meter dan >150 meter, serta akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 30 s.d 40 meter.

14. Hasil dan interpretasi titik VES 25A

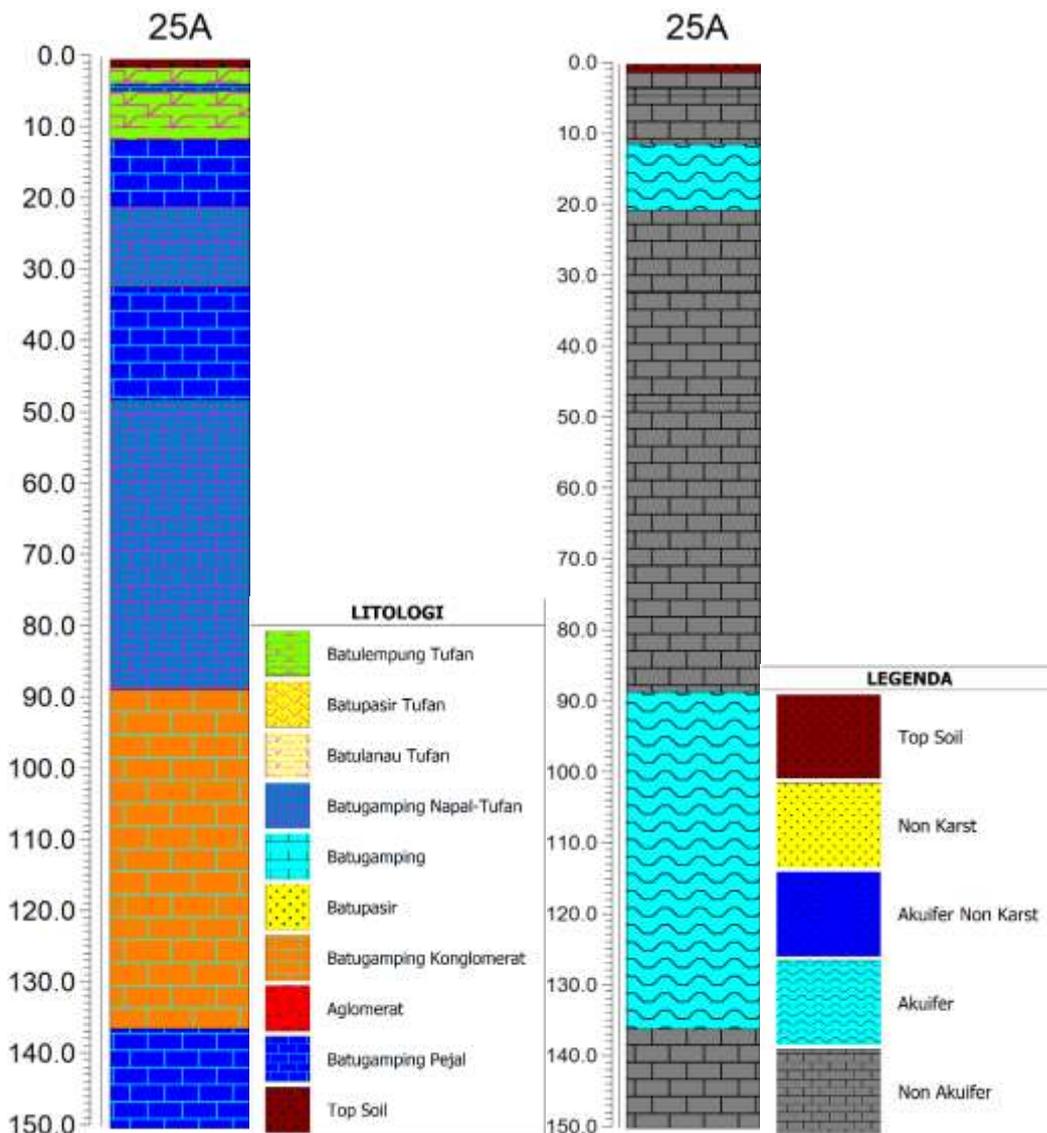


Gambar 27 Hasil *curve matching inversion* titik 25A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 10 lapisan litologi.

Tabel 15 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 25A

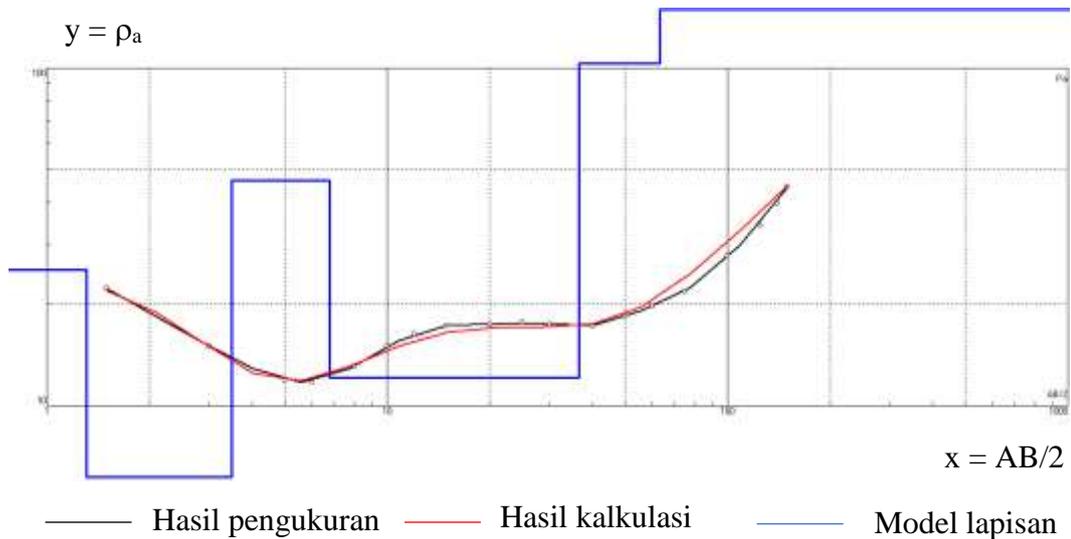
Titik 25A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	1.19	1.19	21	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	3.52	2.33	3.77	Batulempung Tufan	<i>Non-akuifer</i>
3	4.47	0.952	321	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>
4	11.3	6.8	1.62	Batulempung Tufan	<i>Non-akuifer</i>
5	20.6	9.32	48.5	Batugamping	Akuifer

6	32	11.4	7.65	Batugamping Napal-Tufan	Non-akuifer
7	47.8	15.8	626	Batugamping Pejal	Non-akuifer
8	88.5	40.7	10.6	Batugamping Napal-Tufan	Non-akuifer
9	136	48	101	Batugamping Konglomerat	Akuifer
10	150	14	758	Batugamping Pejal	Non-akuifer



Gambar 28 (a) Interpretasi litologi titik 25A (b) Identifikasi akuifer di titik 25A ditemukan potensi akuifer Batugamping Napal-Tufan pada kedalaman sekitar 10 s.d 20 meter dan akuifer Batugamping konglomerat pada kedalaman sekita 90 meter.

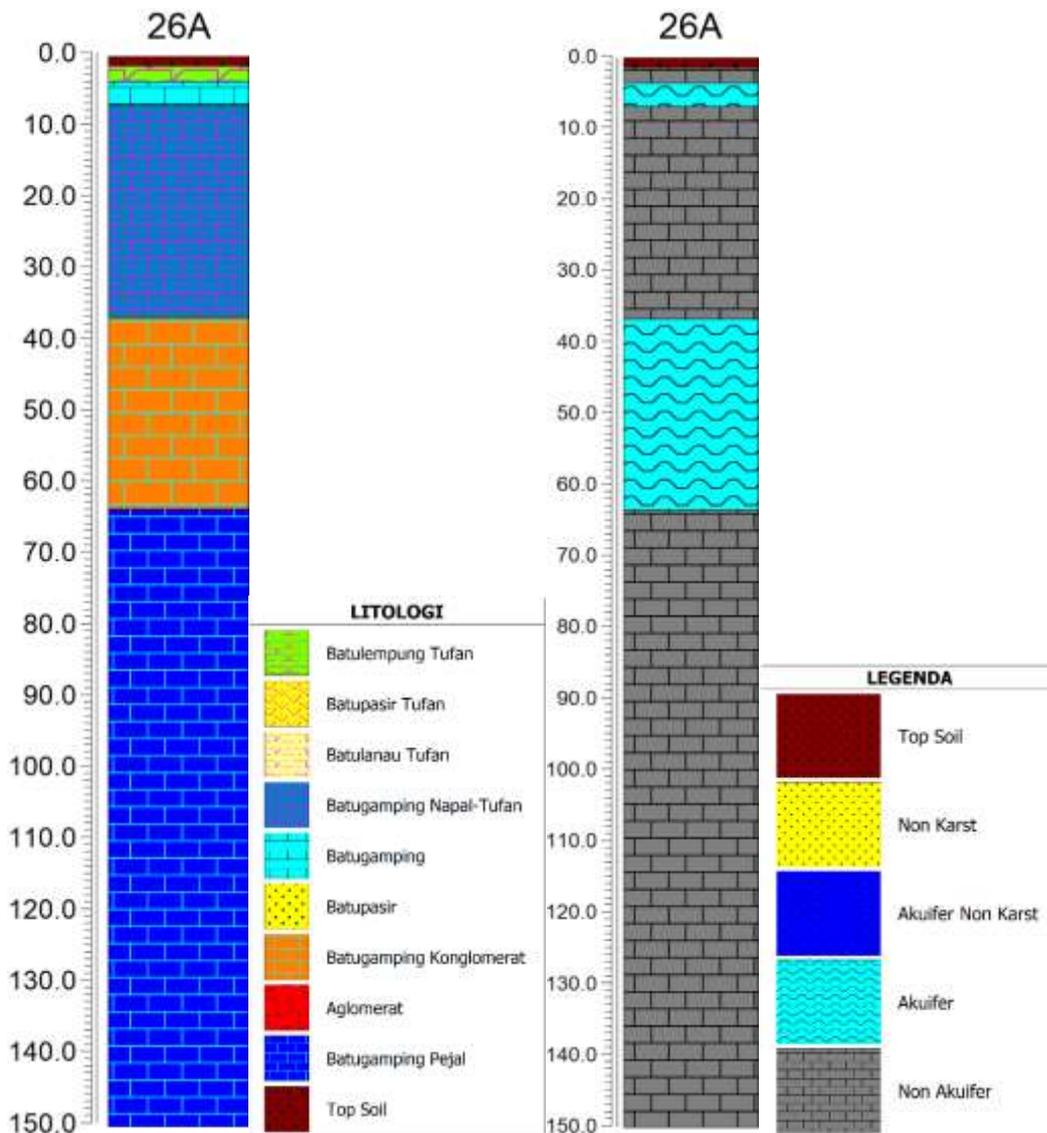
15. Hasil dan interpretasi titik VES 26A



Gambar 29 Hasil *curve matching inversion* titik 26A, dimana kurva hitam menunjukkan data hasil pengukuran; kurva merah menunjukkan hasil kalkulasi; sedangkan kurva biru menunjukkan model hasil inversi sebanyak 6 lapisan litologi.

Tabel 16 Hasil interpretasi litologi dan identifikasi akuifer titik 26A

Titik 26A					
No	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Litologi	Identifikasi akuifer
1	1.31	1.31	25.2	<i>Top Soil</i>	<i>Top Soil</i>
2	3.5	2.19	6.01	Batulempung	<i>Non-akuifer</i>
3	6.79	3.29	46.3	Batugamping	Akuifer
4	36.6	29.8	12.1	Batugamping Napal-Tufan	<i>Non-akuifer</i>
5	63.4	26.8	103	Batugamping Konglomerat	Akuifer
6	150	86.6	904	Batugamping Pejal	<i>Non-akuifer</i>



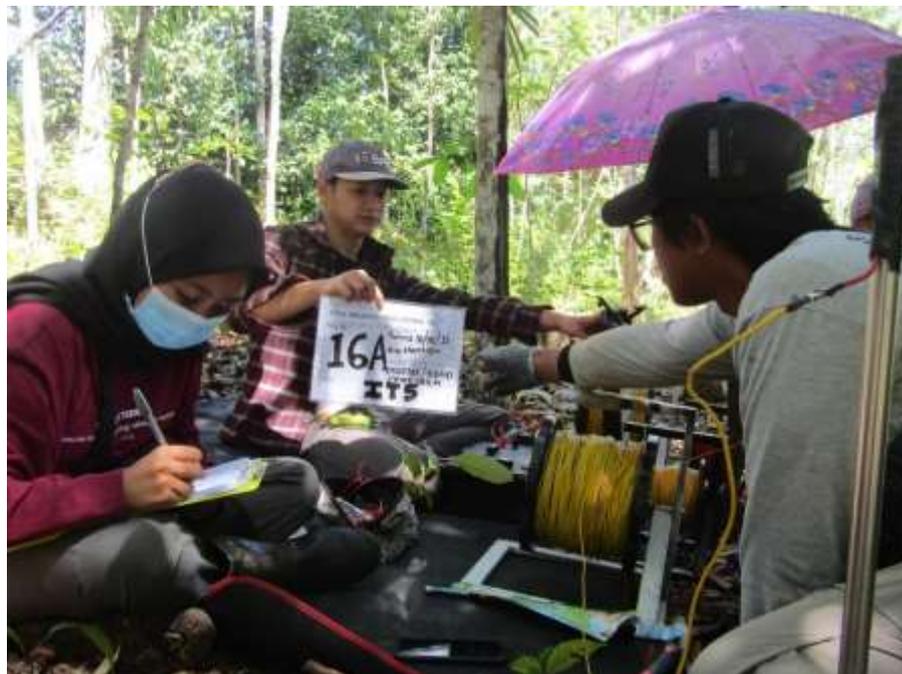
Gambar 30 (a) Interpretasi litologi titik 26A (b) Identifikasi akuifer di titik 26A ditemukan potensi akuifer Batugamping pada kedalaman sekitar 6 meter dan akuifer Batugamping konglomerat pada kedalaman sekita 40 s.d 60 meter.

Lampiran 2.

Dokumentasi Pengambilan Data Geolistrik di Lapangan



Gambar 31. Akuisisi data geolistrik VES di titik 11A



Gambar 32. Akuisisi data geolistrik VES di titik 16A

BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Putry Vibry Hardyani yang biasa dipanggil Pibri. Penulis lahir di Magetan pada tanggal 18 Desember 1996. Sehingga, pada saat penyelesaian tesis ini penulis berumur 25 tahun. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Bangsri 2 , kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Magetan dan SMA Negeri 1 Magetan. Penulis mendapatkan gelar sarjana sains terapan (S.T) dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2018 setelah 4 tahun menempuh pendidikan sarjana di Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Setelah lulus penulis melanjutkan pendidikan pascasarjana di Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dengan program beasiswa *Fresh Graduate*.