

Pendugaan Aliran Conduit Sistem Akuifer Kawasan Karst Gua Pindul Gunung Kidul Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner

Bonang Surya Utama* dan Silvia Reva Anindya

Teknik Geofisika, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Indonesia

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel:

Draft diterima: 31 Maret 2023

Revisi diterima: 24 April 2023

Diterima: 26 April 2023

Tersedia Online: 30 April 2023

Corresponding author:

bonangsurya19@gmail.com

ABSTRAK

Kawasan karst mengandung litologi batu gamping yang mudah terlarutkan air, sehingga air hujan dapat mempercepat proses pelarutan batuan di bawah permukaan dan membentuk rongga. Sistem hidrologi kawasan Pindul memiliki tipe akuifer karst aliran *conduit*. Komponen aliran *conduit* berupa saluran terbuka dan seperti pipa/lorong yang memiliki beragam bentuk. Distribusi dan arah aliran *conduit* tersebut mengontrol sistem akuifer karst Gua Pindul di Gunung Kidul. Metode geolistrik resistivitas konfigurasi *wenner* dapat mengetahui keberadaan aliran *conduit* bawah permukaan kawasan karst dengan mengetahui perbedaan nilai tahanan jenis batuan. Pengukuran geolistrik resistivitas dilakukan menggunakan 8 lintasan dengan masing-masing panjang lintasan 200 meter. Hasil pengolahan data dan interpretasi penampang resistivitas menunjukkan keberadaan aliran *conduit* pada 5 lintasan dengan nilai resistivitas 0,174–25 Ωm . Hasil penelitian dapat memberikan gambaran untuk mengetahui kawasan sungai bawah permukaan.

Kata kunci: Akuifer, Conduit, Geolistrik, Karst, Wenner

ABSTRACT

Karst areas contain limestone lithology that is easily dissolved by water, so rainwater can accelerate the process of dissolving rocks below the surface and forming cavities. The hydrological system of the Pindul area has a conduit flow karst aquifer type. The components of conduit flow are open channels and pipe-like passages that have various shapes. The distribution and direction of conduit flow control the Pindul Cave karst aquifer system in Gunung Kidul. The wenner configuration resistivity geoelectric method can determine the presence of a subsurface—conduit flow in karst areas by knowing the difference in rock-specific resistance values. Resistivity geoelectric measurements were carried out using 8 tracks with each track length of 200 meters. The results of data processing and interpretation of the resistivity cross-section show the presence of conduit flow in 5 passes with a resistivity value of 0.174-25 Ωm . The results of the study can provide an overview to determine the subsurface river area.

Keywords: Aquifer, Conduit, Geoelectric, Karst, Wenner

1. PENDAHULUAN

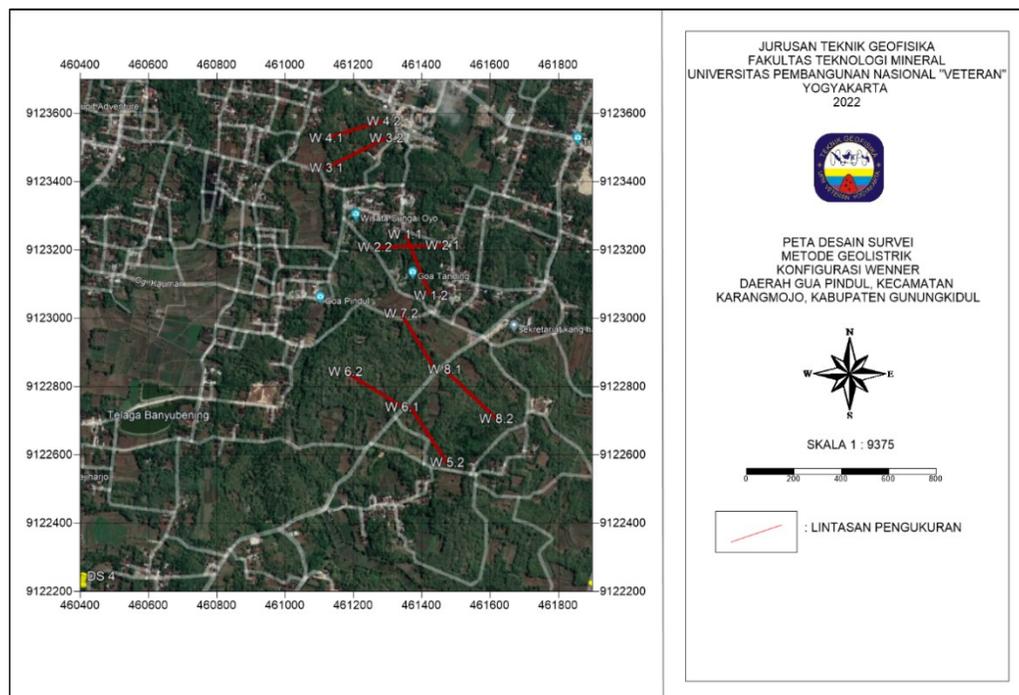
Kawasan karst adalah kawasan yang berkembang akibat dominannya proses pelarutan. Berkembangnya porositas sekunder di kawasan karst menyebabkan wilayah ini memiliki karakteristik yang unik sekaligus memberikan tantangan tersendiri bagi pengelolaannya [1]. Karst memiliki zona anisotropis yaitu aliran yang sulit untuk diprediksi arah maupun karakteristiknya sehingga menyebabkan kawasan karst belum dikelola secara optimal. Menariknya, aliran permukaan daerah karst lebih sulit dikenali karena berkembang di bawah permukaan melalui celah, retakan, hingga lorong akibat pelarutan. Tipe aliran di kawasan karst secara garis besar dibedakan menjadi 2, yakni aliran airtanah melalui rongga antar butir batuan yang disebut *diffuse* dan aliran airtanah yang melalui celah atau lorong pelarutan yang disebut *conduit* [2][3]. Aliran *conduit* memiliki tipe porositas

sekunder [4]. Aliran *conduit* berupa pipa/lorong bertipe *turbulent* (memiliki diameter > 1 meter) sehingga dapat mengakibatkan kecepatan aliran fluida yang sangat tinggi. 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 [5]. Luas sistem *conduit* adalah seluas 1,75 km² dari total luas daerah tangkapan air Gua Pindul yaitu 15,44 km² [6].

Menurut peta Geologi Lembar Yogyakarta [7], Gua Pindul, Gunung Kidul termasuk dalam formasi Wonosari. Formasi Wonosari didominasi litologi batuan karbonat yang terdiri dari batugamping berlapis dan batugamping terumbu. Salah satu metode geofisika yang cocok digunakan untuk memetakan kondisi bawah permukaan pada daerah karst adalah metode geolistrik tahanan jenis. Metode geolistrik telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi di dunia pertambangan, studi hidrogeologi, mitigasi bencana tanah longsor, studi keteknikan, studi lingkungan, dan arkeologi [8]. Metode geolistrik tahanan jenis merupakan metode geofisika yang mempelajari struktur di bawah permukaan bumi berdasarkan perbedaan resistivitas batuan melalui deteksi dari permukaan bumi [9]. Pengukuran metode geolistrik tahanan jenis dilakukan dengan dengan cara mengalirkan arus ke dalam bumi melalui elektroda arus dan mengukur potensialnya di permukaan bumi dengan menggunakan elektroda potensial. Metode geolistrik resistivitas terbagi menjadi beberapa konfigurasi lainnya, salah satunya adalah konfigurasi *wenner*. Metode ini memanfaatkan nilai resistivitas dari lapisan di bawah permukaan bumi, dengan menggunakan teknik pengukuran secara *mapping* (horizontal), sehingga dapat mengidentifikasi perubahan respon dari lapisan di bawah permukaan secara lateral. Konfigurasi *wenner* memiliki sensitivitas dan akurasi yang cukup tinggi dan baik terhadap perubahan nilai resistivitas secara lateral dan horizontal sehingga dapat membedakan antara persebaran batugamping dengan aliran *conduit* yang mengandung air. Dengan diketahuinya aliran *conduit*, maka dapat diperkirakan adanya sumber akuifer pengontrol DAS (Daerah Aliran Sungai) bawah permukaan daerah Gua Pindul.

2. METODE PENELITIAN

Gambar 1 merupakan peta desain survei pada daerah penelitian, yakni di sekitar Daerah Wisata Gua Pindul, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Peta Desain Survei ini dibuat dengan bantuan *software* Google Earth dan *Surfer*, dengan tujuan agar dapat mencakup seluruh luasan kavling dari daerah penelitian, sehingga hasil yang didapatkan lebih maksimal. Peta ini dibuat dengan besar skala 1 : 9475. Berdasarkan desain survei ini, ditentukan jumlah lintasan sebanyak 8 (delapan) lintasan. Panjang lintasan yaitu sebesar 200 meter dengan jarak antar elektroda sebesar 10 meter.



Gambar 1. Peta Desain Survei

Peralatan dan perlengkapan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *resistivitymeter Iris Syscal* dan *Naniura* yang digunakan untuk mengukur besar nilai arus (I) dan beda potensial (V), untuk kemudian dapat diolah hingga didapatkan nilai

resistivitas (ρ) dari lapisan di bawah permukaan. Kemudian *accu*, elektroda arus & potensial, kabel, GPS, Kompas, payung, meteran, palu, HT, dan tabulasi data.

Kemudian melakukan pengambilan data dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus sehingga mendapatkan nilai beda potensial medium bawah permukaan dan ditangkap oleh elektroda potensial. Oleh karenanya, medium di bawah permukaan bumi tidak homogen (sejenis), yang bergantung dari pemasangan elektroda arus dan potensial atau faktor geometri (k), selain tegangan yang terbaca (V) dan arus yang dikirimkan (I), maka hambatan jenis (resistivitas) didapatkan dengan persamaan berikut [10].

$$\rho = k \frac{V}{I}$$

Dengan ρ = tahanan jenis/resistivitas ($\Omega.m$), k = faktor geometri, V = tegangan listrik (V), dan I = arus listrik (A). Dari tahap akuisisi data menghasilkan nilai resistivitas semu. Untuk mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya, selanjutnya melakukan tahap pengolahan data menggunakan *software Res2Dinv* yang menghasilkan penampang resistivitas 2D.

Kelebihan konfigurasi *wenner* adalah dengan lebar spasi elektroda potensial yang besar maka tidak memerlukan peralatan yang sensitive [11]. Pada tahanan jenis *mapping*, empat elektroda konfigurasi dengan spasi yang sama dipindahkan secara keseluruhan dengan jarak yang tetap sepanjang garis pengukuran. Konfigurasi *wenner* dapat mendeteksi ketidakhomogenan lokal dari lokasi yang diamati karena adanya sifat bahwa pembesaran jarak elektroda arus diikuti pula oleh pembesaran jarak elektroda potensial [12] dengan kata lain, konfigurasi *wenner* dapat mendeteksi ketidakhomogenan lapisan bawah permukaan pada daerah penelitian karena besar jarak masing-masing elektroda arus sama dengan besar jarak masing-masing elektroda potensial.



Gambar 2. Rangkaian Elektroda Konfigurasi Wenner Alpha [13]

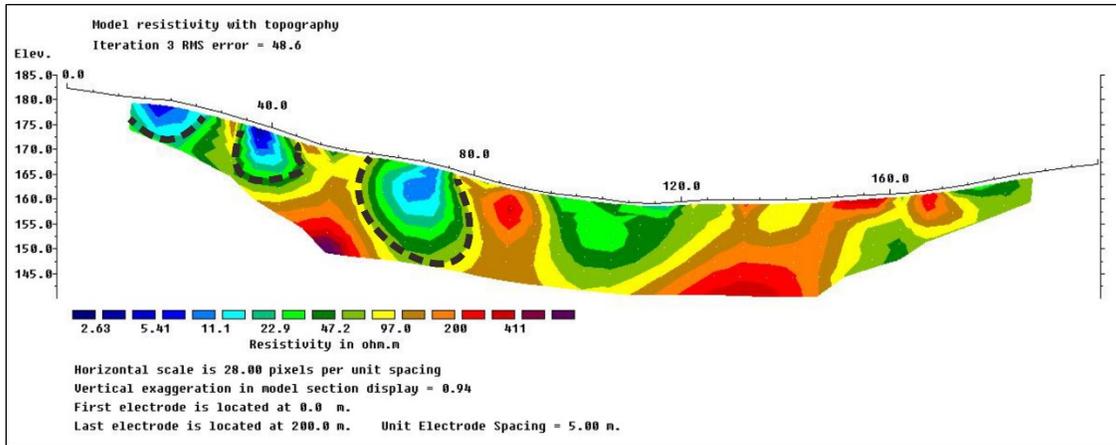
Interpretasi data hasil pengolahan pada metode resistivitas dengan konfigurasi *wenner*, dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Nilai resistivitas yang didapatkan masih dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah sifat porositas, kekompakan batuan, permeabilitas batuan, serta kandungan mineral-mineral penyusun dari batuan tersebut. Selain itu, terdapat faktor penting lainnya yang sering mempengaruhi nilai resistivitas, yaitu kandungan air. Air merupakan material yang bersifat konduktif sehingga air memiliki nilai resistivitas yang rendah, karena nilai resistivitas berkebalikan dengan nilai konduktivitas. Tabel 2 menunjukkan nilai resistivitas batuan Daerah Yogyakarta.

Tabel 1. Tabel Resistivitas Daerah Yogyakarta [14]

Material	Nilai Resistivitas (Ωm)
Breksi-pasiran	100 – 200
Breksi/Gamping	200 – 800
Batuan Beku Andesit	> 800

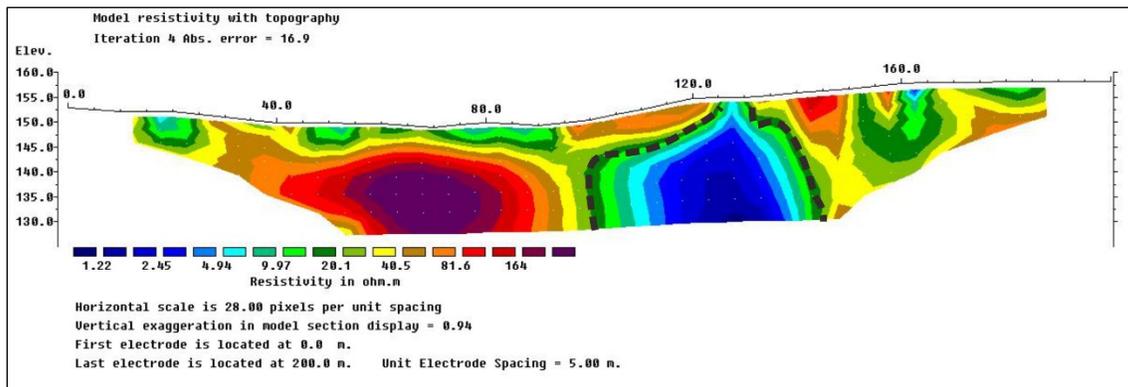
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Software Res2Dinv*. Dari hasil pengolahan data dikaitkan litologi/lapisan bawah permukaan dengan tinjauan geologi daerah penelitian serta mempertimbangkan penelitian terdahulu pada lokasi penelitian yang sama maka mendapatkan hasil pengukuran beserta interpretasi sebagai berikut.



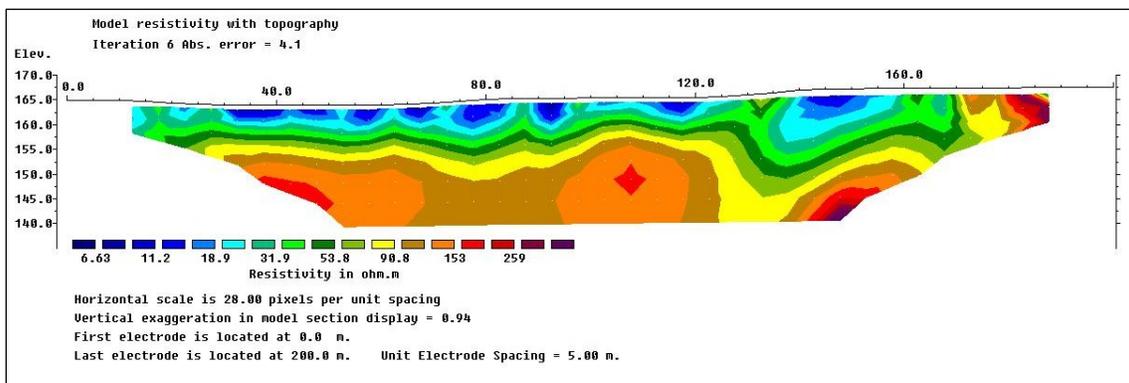
Gambar 3. Penampang Resistivitas Lintasan 1

Penampang lintasan 1 menunjukkan adanya anomali berupa *closure* berwarna biru yang ditandai dengan garis hitam putus-putus yang berbentuk kantung. Anomali tersebut diperkirakan sebagai rongga/lorong *conduit* yang mengandung air pada kedalaman 10 meter pada jarak 10-25 meter, kedalaman 20 meter pada jarak 35-45 meter, dan kedalaman 30 meter pada jarak 60-75 meter.



Gambar 4. Penampang Resistivitas Lintasan 2

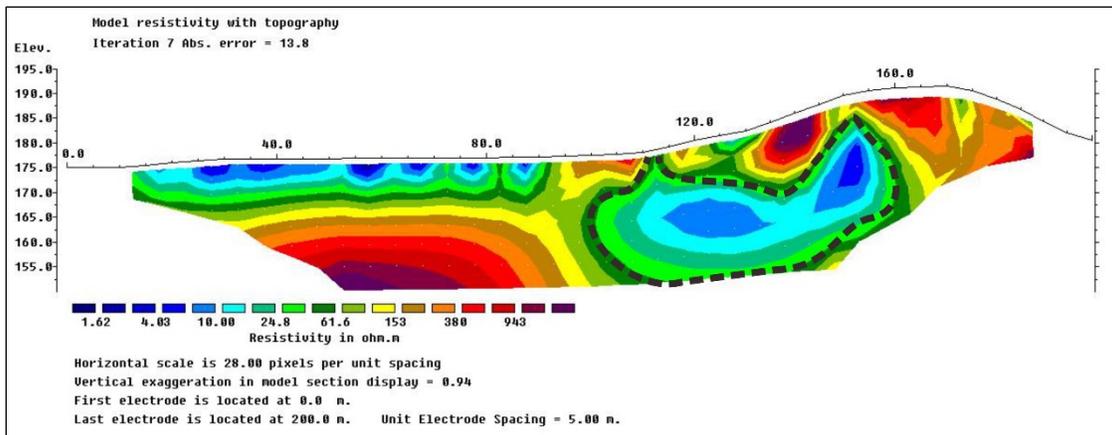
Penampang lintasan 2 menunjukkan adanya anomali berupa *closure* berwarna biru yang ditandai dengan garis hitam putus-putus pada jarak 100-135 meter memiliki nilai resistivitas berkisar antara 1.22 sampai 20.1 Ω m yang diperkirakan sebagai rongga/lorong *conduit* yang mengandung air pada kedalaman 5-25 meter.



Gambar 5. Penampang Resistivitas Lintasan 3

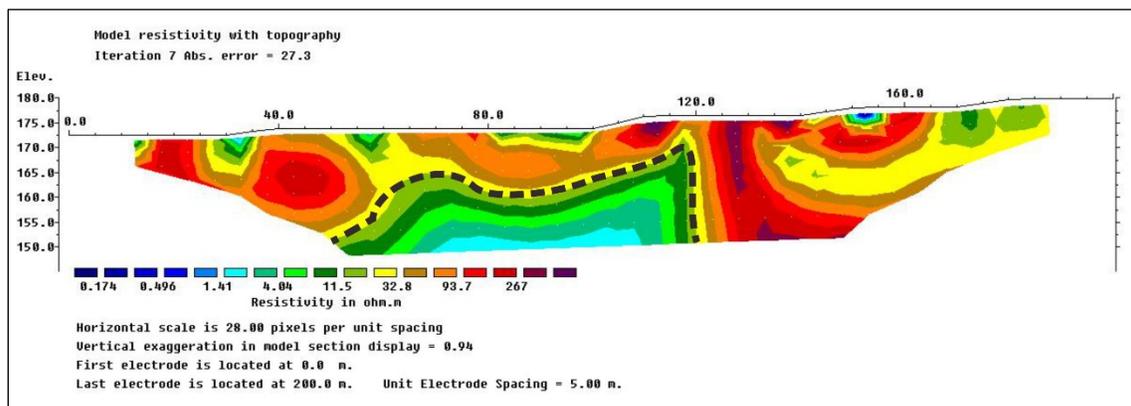
Penampang lintasan 3 menunjukkan adanya lapisan berwarna biru pada kedalaman 0-5 meter. Diperkirakan lapisan ini adalah gamping yang tersaturasi oleh air hujan karena pada saat pengukuran terjadi hujan yang menyebabkan terjadinya genangan

sehingga mempengaruhi keadaan bawah permukaan. Kemungkinan anomali berwarna biru pada kedalaman 0-10 meter dan jarak 135-160 meter dapat diperkirakan sebagai resapan air yang bermuara ke lorong/pipa conduit di sekitarnya.



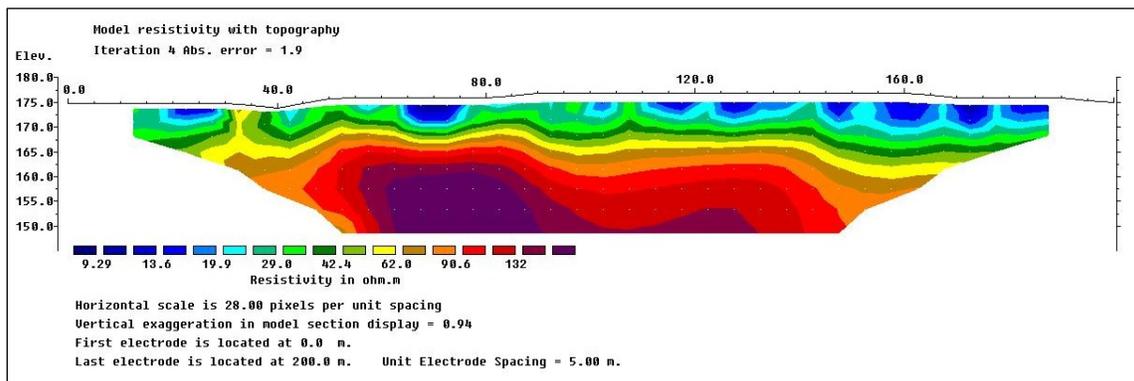
Gambar 6. Penampang Resistivitas Lintasan 4

Penampang lintasan 4 menunjukkan adanya anomali berupa *closure* berwarna biru yang ditandai dengan garis hitam putus-putus pada jarak 105-155 meter yang diperkirakan sebagai rongga/lorong *conduit* yang mengandung air pada kedalaman 5-20 meter. Namun pada titik 10 meter hingga 90 meter dengan kedalaman 0-5 meter menunjukkan nilai resistivitas yang rendah, hal ini diakibatkan oleh hujan yang terjadi saat pengukuran sehingga diperkirakan lapisan ini adalah gamping yang tersaturasi oleh air hujan.



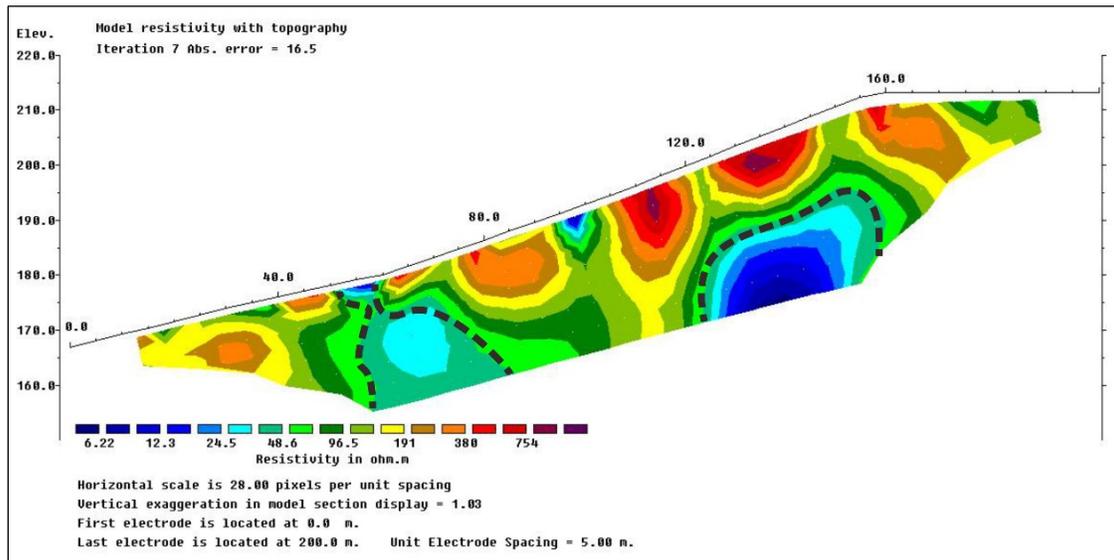
Gambar 7. Penampang Resistivitas Lintasan 5

Penampang lintasan 5 menunjukkan adanya anomali berupa *closure* berwarna biru yang ditandai dengan garis hitam putus-putus pada jarak 50-115 meter yang diperkirakan sebagai rongga/lorong *conduit* yang mengandung air pada kedalaman 20-25 meter.



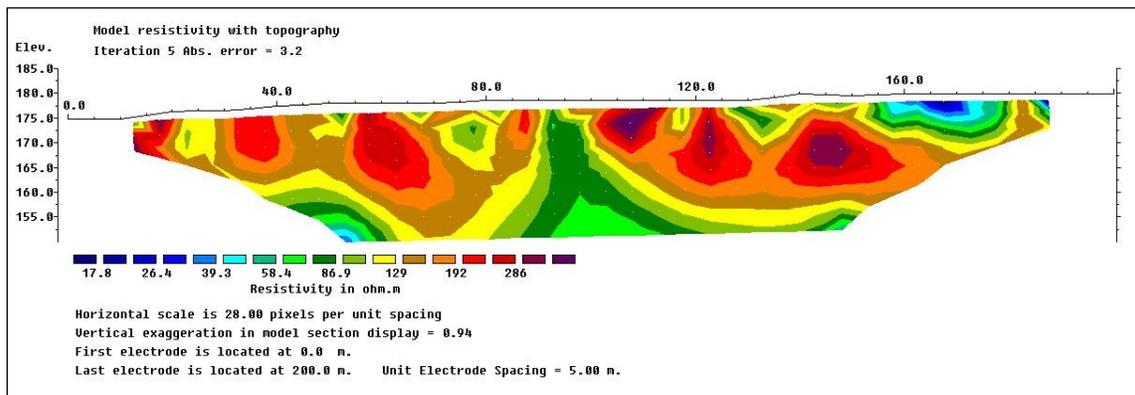
Gambar 8. Penampang Resistivitas Lintasan 6

Penampang lintasan 6 menunjukkan adanya lapisan berwarna biru pada kedalaman 0-5 meter. Diperkirakan lapisan ini adalah gamping yang tersaturasi oleh air hujan karena telah terjadi hujan pada saat pengukuran sehingga mempengaruhi keadaan bawah permukaan yang berakibat lapisan menunjukkan nilai resistivitas yang rendah.



Gambar 9. Penampang Resistivitas Lintasan 7

Penampang lintasan 7 menunjukkan adanya anomali berupa closure berwarna biru pada jarak 50-70 meter dan 115-145 meter. Anomali tersebut ditandai dengan garis hitam putus-putus yang diperkirakan sebagai rongga/lorong conduit yang mengandung air pada kedalaman 160 meter dan 170 meter.



Gambar 10. Penampang Resistivitas Lintasan 8

Pada penampang lintasan 8 tidak ditemukan adanya target mengenai rongga/lorong conduit.

Tabel 2. Tabel Resistivitas Hasil Pengukuran

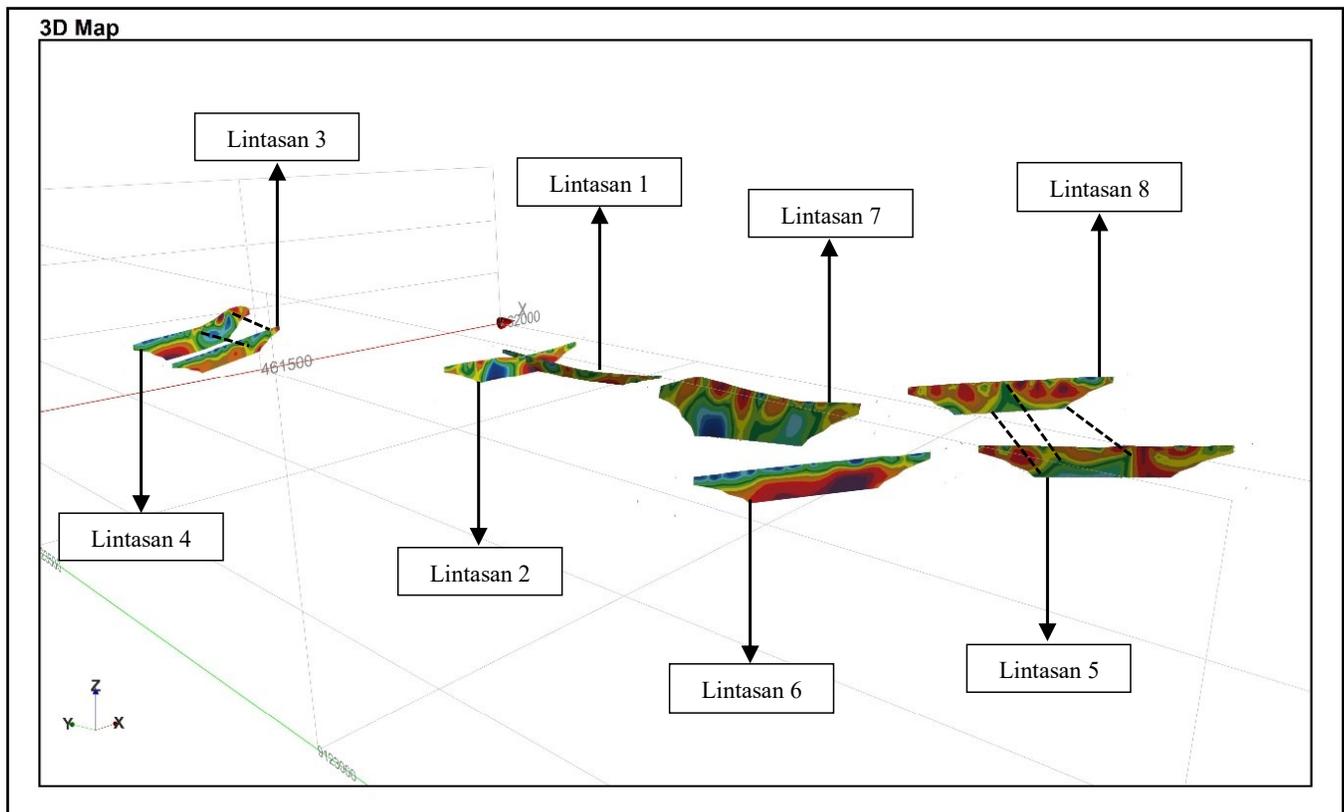
Material	Nilai Resistivitas (Ωm)
Rongga/lorong Conduit	0.174 - 25
Gamping basah/wet limestone	25 – 100
Gamping kering/dry limestone	> 100

Nilai resistivitas dengan rentang antara 0,174 - 25 Ωm ditandai dengan klosur warna biru diduga sebagai rongga/lorong conduit yang mengandung air. Berdasarkan penelitian terdahulu dengan lokasi penelitian yang sama, menunjukkan nilai resistivitas air tanah pada Gua Pindul adalah 30 Ωm [15]. Lalu untuk nilai resistivitas dengan rentang antara 25 – 100 Ωm ditandai dengan klosur warna hijau diduga sebagai gamping basah yang disebabkan karena memiliki sifat porositas yang tinggi. Selanjutnya, nilai resistivitas > 100 Ωm yang ditandai dengan klosur warna merah diduga sebagai gamping kering memiliki sifat porositas yang rendah.

Dugaan rongga/lorong conduit terdapat pada penampang lintasan 1,2,4,5, dan 7. Dimana komponen aliran conduit ini memiliki komponen saluran terbuka dan pipa dengan ukuran dan bentuk yang beragam serta keseragaman tipe porositas anisotropik [4]. Selain itu kondisi aliran turbulen – aliran conduit memiliki skala tunak/tak tunak [16] yaitu kondisi aliran dimana sifat partikel suatu tempat tidak berubah terhadap waktu dan berkembang penuh. Selain itu muka air tanah pada aliran conduit sering menggantung di beberapa ketinggian [4], sehingga dapat diketahui air tanah tersebut yang menunjukkan nilai resistivitas yang rendah dengan rentang antara 0,174 - 25 Ωm dan memiliki kedalaman kantung/rongga conduit yang berbeda beda.

Litologi gamping daerah penelitian dibedakan menjadi gamping basah/wet limestone dan gamping kering/dry limestone. Porositas pada akuifer karst dibentuk oleh rekahan-rekahan batuan karena struktur geologi maupun pelarutan batuan. Porositas yang demikian kemudian selanjutnya disebut porositas sekunder dan rongga antar butir penyusun batuan yang disebut sebagai porositas primer. Porositas primer mempunyai sifat isotropik, sifat aliran laminar, dan mempunyai respon yang lambat [5]. Lapisan gamping yang memiliki porositas primer inilah yang diduga dapat mengalirkan fluide tipe laminar dan responnya yang lambat, sehingga diduga sebagai litologi gamping basah/wet limestone yang menunjukkan nilai resistivitas sedang dengan rentang antara 25 – 100 Ωm .

Lapisan gamping yang memiliki nilai resistivitas > 100 Ωm , diinterpretasikan sebagai litologi gamping kering/dry limestone. Litologi gamping kering/dry limestone relatif memiliki sifat porositas dan pelarutan batuan yang rendah. Sehingga kekompakan batuan gamping relatif lebih tinggi yang menyebabkan nilai resistivitasnya lebih tinggi.



Gambar 11. Korelasi Penampang Resistivitas Semua Lintasan

Gambar 11 merupakan korelasi penampang resistivitas semua lintasan. Pada lintasan 3 terdapat anomali yang diperkirakan sebagai resapan air yang kemudian bermuara ke lorong/pipa conduit di sekitarnya. Lintasan 4 terdapat kemungkinan aliran conduit. Lintasan 3 sejajar dengan lintasan 4 apabila ditarik menggunakan garis putus-putus, anomali tersebut dapat dikorelasikan memiliki kemungkinan aliran conduit yang saling terhubung. Kemudian pada lintasan 5 sejajar dengan lintasan 8 juga terdapat anomali yang kemungkinan menunjukkan aliran conduit yang saling terhubung. Pada lintasan 1, 2, dan 7 diperkirakan memiliki aliran conduit namun tidak berhubungan dengan lintasan lainnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan penelitian metode geolistrik konfigurasi wenner, keadaan bawah permukaan daerah penelitian terdiri dari rongga/lorong conduit yang mengandung air, gamping basah/wet limestone, dan gamping

kering/dry limestone. Rongga/lorong conduit diperkirakan terdapat pada lintasan 1, 2, 4, 5, dan 7. Pada korelasi penampang resistivitas menunjukkan adanya kemungkinan aliran conduit yang saling terhubung di lintasan 3 dan 4 serta lintasan 5 dan 8. Diketahuinya aliran conduit pada penelitian ini, maka diketahui adanya faktor pendukung sumber akuifer pengontrol DAS (Daerah Aliran Sungai) bawah permukaan daerah Gua Pindul.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada teman-teman Deconvolution Teknik Geofisika angkatan 2019 UPN “Veteran” Yogyakarta yang telah bersedia untuk memberikan data ini kepada kami serta beberapa pihak yang turut membantu pengambilan data lapangan.

6. REFERENSI

- [1] N. Kresic, “Water in Karst: Management, Vulnerability and Restoration”. New York, Mc Graw Hill, 2013.
- [2] W.B. White, “Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains”. New York, Oxford University Press, 1988.
- [3] A. Cahyadi, B.A. Prabawa, T.A. Tivianton, H. Nugraha, “Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia : Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia”, Volume 2. Yogyakarta, Deepublish, 2014.
- [4] D. Gillieson, “Caves: Processes, Development and Management”. Oxford, Blackwell, 1996.
- [5] M. Widyastuti, A. Cahyadi, M.H.D. Sasongko, “Hidrologi dan Hidrogeologi Karst”, in “Pedoman Praktis Survei Terintegrasi Kawasan Karst”, E. Haryono, Yogyakarta : Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPF) Universitas Gadjah Mada, 2016 pp. 20-43.
- [6] R. F. Agniy, “Kajian Hidrogeologi Karst Sistem Gua Pindul, Kecamatan Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul”, Skripsi, Fakultas Geografi, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2016.
- [7] W. Rahardjo, “Peta Geologi Lembar Yogyakarta”. Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1995.
- [8] W.S. Giamboro, P. Pratiknyo, A. Novianto, L.N. Utami, “Analisa Persebaran Wetland Berdasarkan Metode Geolistrik di Kecamatan Pandak, Kab. Bantul, DIY”, JURNAL MINERAL, ENERGI DAN LINGKUNGAN, vol. 4, no. 2, pp 1-8, Desember, 2020.
- [9] A. P. Setiahadiwibowo, “Identifikasi Rongga Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole Daerah Nusakambangan Cilacap Jawa Tengah”, KURVATEK, vol. 5, no. 2, pp 47-54, November, 2020.
- [10] W. M. Telford, L.P. Geldart, R.E. Sheriff, *Applied Geophysics, Second Edi*. Cambridge, Cambridge University Press, 1990.
- [11] H.R. Burger, A.F. Sheehan, C. Jones, *Introduction to Applied Geophysics Exploring The Shallow Subsurface*. New York, W. W. Norton, 2004.
- [12] P.V. Sharma, *Environmental an Engineering Geophysics*. Cambridge, Cambridge University Press, 1997.
- [13] M.F. Zakaria, *Buku Panduan Praktikum Geolistrik*. Yogyakarta, Laboratorium Geolistrik Teknik Geofisika UPN “Veteran” Yogyakarta, 2020.
- [14] A. Santoso, *Buku Panduan Praktikum Geolistrik*. Yogyakarta, Laboratorium Geolistrik Teknik Geofisika UPN “Veteran” Yogyakarta, 2015.
- [15] B. Fahmi, F.A. Prihutama, N. Arasyi, F.R. Wijaya, A.R. Isdianty, N.F. Ramadhani, “Identifikasi Sistem Sungai Bawah Tanah di Goa Pindul, Gunungkidul, Yogyakarta Menggunakan Kombinasi Data Geolistrik Resistivitas, Elektromagnetik VLF, dan Pemetaan Sistem Sungai Bawah Tanah”, SNITT Politeknik Negeri Balikpapan, vol. 2, no. 5, pp 33-37, Oktober, 2017.
- [16] D. Ford, P. Williams, *Karst Geomorphology and Hydrology*. London, Chapman and Hall, 1992