

IDENTIFIKASI POLA ALIRAN AKUIFER KARST DENGAN METODE GEOLISTRIK SELF POTENSIAL SP

Abdul Wahid, Hery Leo Sianturi, Christine Mbiliyora dan Bernandus

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui, Kupang, Nusa Tenggara Timur, 85001, Indonesia
Email: abdul.wahid@staf.undana.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian dengan menerapkan metode geolistrik self potential SP pada lokasi penelitian Pesisir Pantai Sendang Biru untuk melihat pola aliran akuifer karst. Berdasarkan analisis dan interpretasi data penyebaran anomali potensial alam positif dan negatif dengan rentang nilai potensial alam antara -10.644 mV hingga 11.294 mV diklasifikasikan menjadi zona potensial alam negatif dengan nilai -10,644 mV hingga -0.100 mV dan zona potensial alam positif dengan nilai 0.026 mV hingga 11.294 mV, maka diperoleh hasil bahwa pola aliran akuifer karst mengalir dari arah timur lokasi penelitian ke arah barat serta potensi keberadaan akuifer menyebar di lokasi penelitian

Kata Kunci: Pola aliran; akuifer karst; Self Potensial

Abstract

Research has been carried out by applying the self potential SP geoelectric method at the Sendang Biru Coastal to see the flow pattern of the karst aquifer. Based on the analysis and interpretation of data on the distribution of positive and negative natural potential anomalies with a range of natural potential values between -10,644 mV to 11,294 mV, they are classified into negative natural potential zones with values of -10,644 mV to -0,100 mV and positive natural potential zones with values of 0.026 mV to 11,294 mV, the result is that the flow pattern of the karst aquifer flows from the east of the research location to the west and the potential for the existence of the aquifer to spread across the research location

Keywords: Flow pattern; aquifer karst; Self Potential

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di antara Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, memiliki garis pantai tropis sepanjang 95.186 km, dikelilingi oleh konfigurasi pulau-pulau berjumlah 17.504 yang terbentang sepanjang 3.977 mil dengan karakter wilayah pesisir merupakan akibat interaksi yang ditimbulkan oleh aktivitas di darat dan di laut [1]. Kawasan batu gamping Pulau Jawa, diperkirakan mencapai 11.124,18 km², 90% dari luasan batu gamping diperkirakan telah mengalami proses pelarutan karstsifikasi menjadi karst membentuk bentang alam eksokarst dan endokarst *upriant* [2]. Bentang alam karst dikontrol oleh batuan mudah larut, curah hujan, dan ketinggian batuan, terbentuk akibat proses pelarutan yang menyebabkan berkembangnya sistem sungai bawah permukaan. Proses karstsifikasi dan saluran

terpadu *conduit* pada skala waktu geologis kurang lebih 50.000 tahun, tergantung pada kondisi hidrolik, komposisi kimia dan struktur batuan [3]. Akuifer karst memiliki hidrologi khas dan memasok 25% populasi dunia [4], sangat penting dalam penyediaan air, irigasi, dan pembangkit, namun merupakan sistem yang sangat rentan dan dinamis [5].

Keberadaan sumber daya berupa sungai bawah tanah, mata air dan air permukaan serta volume mata air yang besar telah digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat sehari-hari. Namun, lanskap karst telah berubah menghasilkan polusi di sekitar pemukiman, selain itu terjadi penurunan volume mata air. Sungai bawah tanah yang paling potensial terdapat di Gua Mbah Wajib, Gua Limbah, Krompyang Gua, Gua Kedung Pitu, dan Gua Emas [6], Wilayah pesisir Pantai Dusun Sendang Biru Desa Tambak Rejo Kecamatan

Sumber Manjing Wetan yang terletak di bagian selatan Kabupaten Malang memiliki bentang alam Karst Sendang Biru [2]. Aquifer karbonat karst biasanya memiliki pola aliran air tanah *conduit* kompleks yang dihasilkan dari heterogenitas pengendapan dan rekahan. Pengamatan keadaan hidrogeologis yang kompleks menunjukkan aliran *conduit* bergantung pada variasi hidrodinamik dan hidrokimia pada mata air [7], akuifer karst sumber utama air di banyak wilayah, mampu menyimpan dan mentransmisikan sejumlah besar air, permeabilitas berlebihan menyebabkan peningkatan kerentanan dan menyebarkan kontaminasi, medan karst sangat sensitif terhadap aktivitas manusia karena area luas, tanah tipis dan aliran air cepat ke air tanah[8].

Penelitian geofisika pada kawasan karst telah banyak dilakukan yang berkaitan dengan potensi akuifer dan bahaya bencana geologi kawasan karst, antara lain mengetahui distribusi air tanah antara aliran *conduit* dan sumber mata air dengan metode SP dalam mengatasi kekeringan [9], mengidentifikasi sistem aliran sungai bawah permukaan dengan metode SP dan ERT [10], memahami topografi akibat pelarutan disolusi penyebab depresi keruntuhan dengan kombinasi metode ERT, IP dan SP mengungkapkan jalur aliran preferensial dari akuifer[11], Metode SP dalam analisis air tanah di daerah karst [12], investigasi aliran sungai karst [13,14].

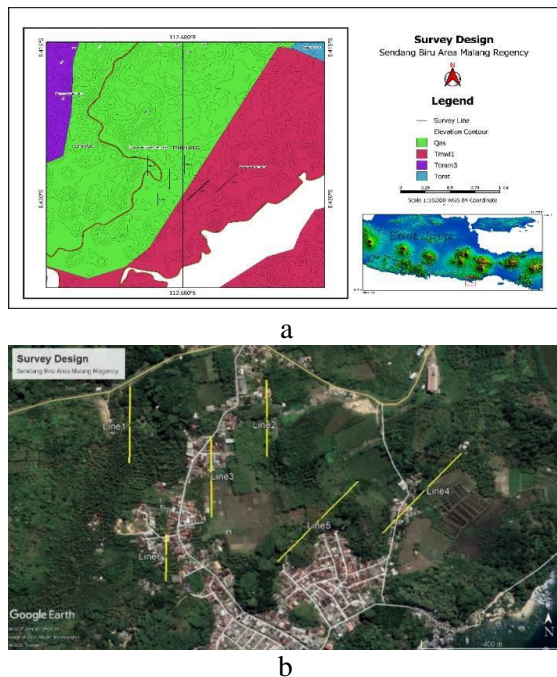
Berdasarkan gambaran di atas, sangatlah penting melakukan penelitian tentang pola aliran akuifer karst untuk memahami potensi dan karakteristik arah alirannya.

METODE

Metode SP bersifat pasif dengan mengukur tegangan yang terjadi secara alami di bawah permukaan, relatif sederhana dalam hal tegangan diukur menggunakan elektroda non polarisasi dan voltmeter impedansi tinggi untuk meminimalkan polarisasi pada antarmuka elektroda diperlukan menghindari aliran arus dari tanah. Dalam kondisi alami, sinyal SP muncul dari efek elektro-kinetik, elektro-kimia, dan termo-listrik. Efek elektro-kinetik, atau

potensial streaming, muncul dari transfer progresif dari muatan berlebih melalui bahan berpori, efek elektro-kimia berasal dari adanya gradien konsentrasi ion dan elektron, seperti yang dihasilkan dari kondisi redoks. Efek termolistrik disebabkan oleh diferensial difusi termal ion cairan dalam pori dan elektroda dalam media berpori[15]. SP mendeteksi jalur preferensial ketika terdapat aliran air. Fenomena elektro filtrasi sangat menarik untuk melacak aliran air di rongga yang dipenuhi air, sinyal yang paling sering direka pada struktur tidak hanya memiliki satu sumber arus telurik juga karena induksi ionosfer dan badai elektromagnetik [16], metode SP memiliki relevansi khusus dalam geofisika air tanah karena air yang mengalir melalui ruang pori tanah menghasilkan arus listrik yang ukurannya sebanding dengan intensitas aliran. Pengukuran potensial secara alami di permukaan tanah dengan menggunakan sepasang elektroda non polarisasi dan voltmeter impedansi tinggi. Potensial ini dapat berasal dari berbagai proses elektrokimia, elektrofisika dan bioelektrik di dalam tanah tetapi proses utama yang relevan dengan studi hidrologi adalah potensial aliran dihasilkan oleh aliran air yang mengalir melalui pori batuan [17].

Pantai Sendang Biru terletak di Desa Tambak Rejo, Kecamatan Sumber Manjing Wetan Kabupaten Malang Jawa Timur dengan posisi geografis terletak pada 08^o37'- 08^o41' LS dan 112^o35'- 112^o43'BT. Topografi dengan ketinggian 0–100 m di atas permukaan laut. Secara umum Kecamatan Sumber Manjing Wetan memiliki struktur geologi bawah permukaan tanah berupa batuan sedimen karst. Pada permukaan ketika musim hujan air sangat banyak dan melimpah, namun ketika musim kemarau tiba terjadi kekeringan dan ada beberapa sumur yang masih terisi air tergantung pada posisi yang dilewati oleh aliran air bawah permukaan. Kawasan karst ini didominasi oleh batuan gamping, napal pasiran, sisipan batuan lempung tergabung dalam Formasi Wonosari, juga berada pada daerah batuan sedimentasi dengan usia batuan jenis Tersier tipe Miosen. (Gambar 1).



Gambar 1. Desain Survei Lokasi Penelitian ArcGis (a), *Google Map* (b)[18]

Alat dan bahan pada akuisisi data Geolistrik *Self Potential* yaitu dua buah elektroda *porous pot*, Larutan Tembaga Sulfat Jenuh (CuSO_4), Alat ukur Potensial Digital Voltmeter, 2 buah *roll* kabel dan 1 *roll* meter, Cangkul dan Linggis, *Log book*, alat tulis, dan *GPS*. Metode SP dilakukan dengan jarak antara pot berpori adalah 5 m pada 6 lintasan ukur (Gambar 1). Pengukuran dilakukan dengan sistem *Leap Frog* dengan $a = 5$ m menggunakan elektroda berupa kawat tembaga yang dicelupkan ke dalam larutan CuSO_4 dalam 2 pot berpori dengan konsentrasi larutan yang sama. Data potensial alam terukur kemudian dikoreksi menggunakan koreksi kalibrasi kemudian diplot untuk mendapatkan peta kontur isopotensial dengan *software Surfer 10* digunakan untuk menginterpretasikan arah aliran sungai bawah tanah di lokasi penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali SP negatif yang dihasilkan oleh aliran air tanah dapat ditutupi oleh respon SP positif yang dihasilkan oleh infiltrasi. Aliran fluida melalui media bawah permukaan menghasilkan potensial elektrokinetik atau aliran yang berbeda dari daerah tanpa gerakan fluida, anomali potensial alam negatif dan resistivitas rendah menunjukkan bahwa anomali mungkin mewakili *sinkhole* sedimen.

Area penelitian memiliki rentang nilai potensial alam antara -10.644 mV hingga 11.294 mV diklasifikasikan menjadi zona potensial alam negatif dengan nilai $-10,644$ mV hingga -0.100 mV dan zona potensial alam positif dengan nilai 0.026 mV hingga 11.294 mV.

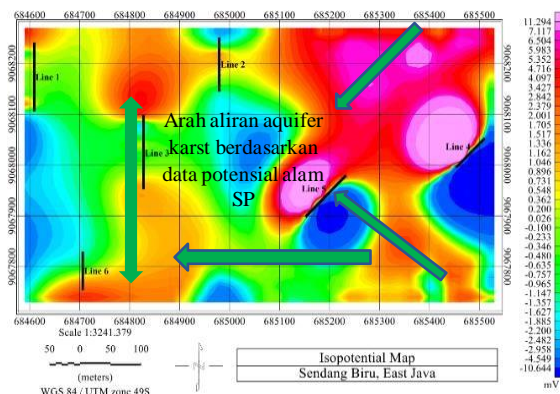
Pada bagian barat lokasi penelitian antara lintasan 1, 3 dan 6 merupakan zona SP negatif hingga positif, anomali negatif menunjukkan keberadaan aliran air melalui media bawah permukaan menghasilkan potensial elektrokinetik, anomali potensial alam negatif mungkin mewakili dalam saluran utama *conduit* [19], anomali potensial alam negatif umumnya terkait yang mengidentifikasi beberapa target sebagai lokasi yang mungkin untuk *conduit* [20,21], dengan arah aliran air ke utara pada mata air *sinkhole* terbuka yang terletak pada lintasan 1 serta arah aliran ke arah timur menuju selatan pada mata air *sinkhole* terbuka yang terletak pada lintasan 6, selain itu pergerakan aliran air juga terpengaruh topografi atau aliran gravitasi [22,12]. Pada bagian timur atas lintasan 2, 4 dan 5 lokasi penelitian didominasi oleh anomali positif rendah menunjukkan zona resapan secara vertikal melalui zona epikarst menuju rongga karena positif ketika rongga diisi oleh bahan konduktif [23].

Terdapat beberapa anomali potensial alam kecil yang tersebar di beberapa titik lokasi penelitian, di antaranya yang terletak pada bagian bawah lintasan 2, bagian bawah lintasan 4 dan bagian bawah lintasan diinterpretasikan sebagai zona nilai potensial alam paling negatif yang diindikasikan terdapatnya sumber aliran air dari mata air sungai bawah permukaan tanah yang keberadaannya cukup dangkal, sesuai kenyataan teori bahwa semakin kecil anomali potensial alam bernilai negatif, maka akumulasi aliran air ke lokasi daerah tersebut relatif semakin besar hal ini dapat diinterpretasikan sebagai daerah resapan akuifer karst. Kondisi daerah penelitian ini merupakan penyebab terjadinya proses karstifikasi pelarutan batuan gamping karbonat karst Sendang Biru [24,25,26].

Berdasarkan hasil penelitian pada beberapa titik ukur terdapat beberapa sumber anomali potensial alam, antara lain (Gambar 2)

1. Bagian barat lintasan 1, 3 dan 6 berada dalam Formasi Qas, pada lokasi penelitian menunjukkan nilai anomali potensial alam negatif diinterpretasi sebagai jalur *conduit* dengan arah aliran air bercabang, cabang

- pertama menuju mata air lintasan 1 sedangkan cabang kedua menuju ke lintasan 3 dan lintasan 6 [27].
2. Pada bagian timur yakni bagian atas antara lintasan 2 (Formasi Qas) lintasan 4 dan 5 (Formasi Wonosari), di bawah lintasan 2 terdapat anomali potensial alam positif rendah menunjukkan zona resapan secara vertikal melalui zona epikarst menuju rongga karena positif ketika rongga diisi oleh bahan konduktif (lempung dan atau air), rongga yang diisi dengan bahan konduktif menghasilkan anomali potensial alam positif [23]. Di sisi lain bagian atas lintasan 2, 4 dan 5 terdapat zona resistivitas tinggi disisipi dengan zona resistivitas sedang menerus hingga kedalaman 40 m diinterpretasi sebagai batuan gamping [20].
 3. Terbentuk zona anomali potensial alam bernilai negatif, maka akumulasi aliran air ke lokasi itu relatif semakin besar diinterpretasi sebagai daerah resapan akuifer, penyebab terjadinya proses karstifikasi pelarutan batuan karbonat [28,29]
 4. Keempat, pola saluran aliran air sungai bawah permukaan *conduit* [22,30] diperkirakan berasal dari bagian tengah lokasi penelitian dari topografi perbukitan terdapat bukit-bukit pada ketinggian 45-90 mdpl serta diapit oleh permukaan topografi dengan ketinggian 40-125 mdpl menuju ke lembah keberadaan sumber mata air Sendang Biru pada lintasan 1 dan mata air kedua pada lintasan 6. Arah aliran air sungai bawah permukaan dengan sistem aliran gravitasi.



Gambar 2. Model Distribusi Potensial Alam dan arah Aliran Aquifer

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan analisis dan interpretasi data penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan:

Keberadaan akuifer karst menyebar di lokasi penelitian berupa keberadaan anomali potensial alam yang negatif.

Arah aliran akuifer karst mengalir mengarah dari arah timur ke barat lokasi penelitian.

Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh maka diberikan rekomendasi:

Sebagai sumber informasi keberadaan potensi akuifer karst

Untuk menjaga kelestarian potensi keberadaan akuifer karst sebaiknya hindari pemanfaatan lahan yang berlebihan utamanya sekitar keberadaan akuifer karst

Penerapan metode geolistrik untuk melihat posisi dan kedalaman akuifer karst

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Subagyo A and Wijayanti W.P ZDM. Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil, UB Press , Malang.2017.
- 2 Suprianto A, Labib MA. 2019. Estimasi Penentuan Tingkatan dan Pola Lorong Gua Banyu dan Sekitarnya dengan Menggunakan GIS. JPIG (Jurnal Pendidik. dan Ilmu Geogr. 4(1): 1.
- 3 Rooij R. 2007. Towards improved numerical modeling of karst aquifers. (December 2007): .
- 4 Buckerfield SJ, Quilliam RS, Waldron S, Naylor LA, Li S, Oliver DM. 2019. Rainfall-driven E. coli transfer to the stream-conduit network observed through increasing spatial scales in mixed land-use paddy farming karst terrain Sarah. Water Res. X. 5: .
- 5 Rizzo E, Giampaolo V, Capozzoli L, Grimaldi S. 2019. Deep electrical resistivity tomography for the hydrogeological setting of muro lucano mounts aquifer (Basilicata, Southern Italy). Geofluids. 2019(iv): .
- 6 Sahrina A, Fitrianti D, Suprianto A, Labib MA. 2020. Potential and Challenges of Karst Water Resources in Sumbermanjing Wetan District of Malang Regency. IOP Conf. Ser. Earth

- Environ. Sci. **412**(1): .
- 7 Lorette G, Lastennet R, Peyraube N, Denis A. 2018. Groundwater-flow characterization in a multilayered karst aquifer on the edge of a sedimentary basin in western France. *J. Hydrol.* **566**(April): 137.
- 8 Oliver DM, Zheng Y, Naylor LA, Murtagh M, Waldron S, Peng T. 2020. How does smallholder farming practice and environmental awareness vary across village communities in the karst terrain of southwest China? *Agric. Ecosyst. Environ.* **288**(October 2019): 106715.
- 9 Susilo A, Sunaryo, Sutanahji AT, Fitriah F, Hasan MFR. 2017. Identification of underground river flow in Karst Area using geoelectric and self-potential methods in Druju Region, Southern Malang, Indonesia. *Int. J. Appl. Eng. Res.* **12**(21): 10731.
- 10 Boimau Y, Sunaryo, Susilo A. 2018. Identification of Underground River Flow in Karst Area of Sumber Bening-Malang, Indonesia Based on Geoelectrical Self-Potential and Resistivity Data. *Int. J. Appl. Phys.* **5**(3): 1.
- 11 Ilias F, Chitea F, Horia M, Dumitru I, Lidia N. 2018. Geophysical investigation of the near surface groundwater flow in the area of meledic plateau (Buzau county, Romania): Preliminary results. *Int. Multidiscip. Sci. GeoConference Surv. Geol. Min. Ecol. Manag. SGEM.* **18**(1.1): 833.
- 12 Artugyan L, A PU. 2014. Using Spontaneous Potential (SP) as a Geophysical Method for Karst Terrains Investigation in the Mărghitaş Plateau (Banat Mountains , Romania). **16**: 45.
- 13 Dong S, Wang H, Zhou W. 2020. Sinkholes and their impacts on karst hydrogeology in a peatland complex of Northern Ontario, Canada. *Carbonates and Evaporites.* **35**(2): 1.
- 14 Widiastuti N, Nurhasanah, Sampurno J. 2017. Pendugaan Potensi Air Bawah Permukaan Menggunakan Metode Self Potential di Kelurahan Sungai Jawi Kota Pontianak. **V**(2): 61.
- 15 Stoffel Fourie, Michael van Schoor, Declan Vogt, Jan van der Walt, Agnes Jikelo, Geoff Campbell A du P. 2015. Introduction to the geophysical methods applicable to coal. .
- 16 Chalikakis K, Plagnes V, Guerin R, Valois R, Bosch FP. 2011. Contribution of geophysical methods to karst-system exploration: An overview. *Hydrogeol. J.* **19**(6): 1169.
- 17 Park J, Lee KH, Seo H, Ryu J, Lee IM. 2017. Role of induced electrical polarization to identify soft ground/fractured rock conditions. *J. Appl. Geophys.* **137**: 63.
- 18 Wahid A, Sunaryo, Susilo A, Wiyono. 2022. Initial evaluation of land use potential using geospatial analysis at Sendang Biru Beach, Malang Regency, East Java Province, Indonesia. *J. Phys. Conf. Ser.* **2165**(1): 012021.
- 19 Tripathi GN, Fryar AE. 2016. Integrated surface geophysical approach to locate a karst conduit: a case study from Royal Spring Basin, Kentucky, USA. *J. Nepal Geol. Soc.* **51**(1972): 27.
- 20 Zhu J, Currens JC, Dinger JS. 2011. Challenges of using electrical resistivity method to locate karst conduits-A field case in the Inner Bluegrass Region, Kentucky. *J. Appl. Geophys.* **75**(3): 523.
- 21 Oliveti I, Cardarelli E. 2017. 2D approach for modelling self-potential anomalies: Application to synthetic and real data. *Boll. di Geofis. Teor. ed Appl.* **58**(4): 415.
- 22 Özel S, Darıcı N. 2020. Environmental hazard analysis of a gypsum karst depression area with geophysical methods: a case study in Sivas (Turkey). *Environ. Earth Sci.* **79**(5): 1.
- 23 Jardani A, Dupont JP, Revil A. 2006. Self-potential signals associated with preferential groundwater flow pathways in sinkholes. *J. Geophys. Res. Solid Earth.* **111**(9): 1.
- 24 Zhang R, Li T, Zhou S, Deng X. 2019. Joint MT and gravity inversion using structural constraints: A case study from the linjiang copper mining area, Jilin, China. *Minerals.* **9**(7): .
- 25 Zhou K, Zhang S, Huang Z, Zhang J. 2019. An improved TSVD-GCV inversion algorithm of pore size distribution in time-domain induced polarization using migration Hankel

- matrix. *J. Pet. Sci. Eng.* **183**(August): 106368.
- 26 Jardani A, Revil A, Santos F, Fauchard C, Dupont JP. 2007. Detection of preferential infiltration pathways in sinkholes using joint inversion of self-potential and EM-34 conductivity data. *Geophys. Prospect.* **55**(5): 749.
- 27 Oliveti I, Cardarelli E. 2019. Self-Potential Data Inversion for Environmental and Hydrogeological Investigations. *Pure Appl. Geophys.* **176**(8): 3607.
- 28 Hussain Y, Uagoda R, Borges W, Prado R, Hamza O, Cárdenas-Soto M, Havenith HB, Dou J. 2020. Detection of cover collapse doline and other epikarst features by multiple geophysical techniques, case study of tarimba cave, brazil. *Water (Switzerland).* **12**(10): .
- 29 Slater LD, Sandberg SK. 2000. Resistivity and induced polarization monitoring of salt transport under natural hydraulic gradients. *Geophysics.* **65**(2): 408.
- 30 Kidanu S, Varnavina A, Anderson N, Torgashov E. 2020. Pseudo-3D-electrical resistivity tomography imaging of subsurface structure of a sinkhole—A case study in Greene County, Missouri. *AIMS Geosci.* **6**(1): 54.