

ESTIMASI KETERHUBUNGAN SUNGAI BAWAH TANAHANTARA SEROPAN DAN BRIBIN DENGAN METODE GEOFISIKA *VERY LOW FREQUENCY* DI DAERAH GUNUNGKIDUL, YOGYAKARTA

Febri Rismaningsih

Teknik Sipil, Universitas Islam Syekh Yusuf
Jl. Maulana Yusuf Babakan Banten, Tangerang 15118,
E-Mail : febrisma.89@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian keterhubungan sungai bawah tanah antara Seropan dan Bribin dengan metode Geofisika *Very Low Frequency* (VLF) di daerah Gombang, Kecamatan Ponjong, sampai Dadapayu, Kecamatan Semanu, Gunungkidul, Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan arah dan pola aliran sungai bawah tanah serta menentukan posisi keterhubungan antara sungai Seropan dan Bribin. Interpretasi dilakukan dari data VLF sudut tilt dan eliptisitas untuk mengestimasi aliran sungai bawah tanah yang diinterpretasi secara kualitatif dan kuantitatif. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 15 sampai 26 September 2013. Interpretasi kualitatif dilakukan berdasarkan pengolahan data yang telah dikoreksi topografi, selanjutnya menggunakan filter moving average untuk penghalusan. Filter Fraser dan Filter Karous Hjelt untuk memperlihatkan anomali benda konduktif bawah tanah. Sedangkan interpretasi kuantitatif menggunakan program Inv2DVLF untuk menentukan posisi sungai bawah tanah. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui arah aliran sungai bawah tanah dari utara menuju selatan. Aliran Seropan dan Bribin bertemu pada koordinat $8^{\circ} 2' 20,73''$ LS dan $110^{\circ} 40' 48,51''$ BT. Sungai Seropan berada diatas Sungai Bribin, saling menyilang bertingkat dan tidak saling berhubungan.

Kata Kunci : sungai bawah tanah, VLF

ABSTRACT

A study of the interconnection of the karstic aquifer between Seropan and Bribin using the Very Low Frequency (VLF) Geophysical Method was done in Gombang region, from Ponjong Subdistrict to Dadapayu, Semanu Subdistrict, Gunung Kidul, Yogyakarta. This study aimed at determining the direction and the pattern of the flow of karstic aquifer as well as determining the position of the interconnection between Seropan River and Bribin River. The interpretation was done from the data of VLF tilt angle and ellipticity to estimate the flow of karstic aquifer that were interpreted qualitatively and quantitatively. The data collection was done from the 5th to 26th of September 2013. The qualitative interpretation was done according data processing that had been corrected topographically, then using Moving Average Filter to smoothing, Fraser Filter and Karous Hjelt Filter to show the anomaly of karstic aquifer conductive things. Meanwhile, quantitative interpretation used Inv2DVLF program to determine the position of karstic aquifer. Based on the results of the study, it could be concluded that the direction of the karstic aquifer was from the north to the south. Seropan's flow and Bribin's flow met at coordinate $8^{\circ} 2' 20,73''$ LS dan $110^{\circ} 40' 48,51''$ BT. Seropan River was located above Bribin River crossing each other, terraced, and not interconnected.

Keywords: karstic aquifer, VLF

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gunungkidul merupakan daerah yang unik karena memiliki topografi karst. Topografi karst adalah bentukan bentang alam khas pada batuan karbonat (gamping) akibat proses tektonik. Proses ini kemudian dilanjutkan oleh adanya pelarutan dan terbentuk celah sebagai tempat air mengalir (MacDonald, 1984). Pelarutan batugamping oleh air hujan menyebabkan terjadinya lubang–lubang kecil yang kemudian meluas masuk ke bawah tanah membentuk luweng (*sinkhole*), sehingga bagian permukaan kekurangan air (Selby, 1985). Daerah Gunungkidul adalah daerah yang tidak mempunyai deposit airtanah maupun air permukaan yang cukup. Hal ini disebabkan karena daerah ini mempunyai struktur geologi yang didominasi batuan kapur. Dengan demikian, sumberdaya air utama yang diharapkan dapat memenuhi kebutuhan air adalah dari aliran sungai bawah tanah yang terdapat di daerah tersebut. Sebelum eksploitasi intensif dilakukan, potensi sungai bawah tanah tersebut perlu dikaji terlebih dahulu. Untuk penerapan eksploitasi sungai bawah tanah yang lebih berdayaguna dan berkesinambungan maka perlu dilakukan penelitian mengenai keterhubungan antara sungai bawah tanah. Dalam hal ini yaitu keterhubungan aliran Sungai Seropan dan Bribin.

Sungai bawah tanah Seropan dan Bribin merupakan dua diantara lima sungai bawah tanah yang potensial untuk dijadikan sumber air bersih. Lima diantaranya yaitu Sungai Ngobaran, Baron, Grubug, Toto dan Sumurup. Akan tetapi, sampai detik ini belum diketahui secara pasti keterhubungan sungai bawah tanah Seropan dan Bribin. Melalui keterhubungan dapat diketahui pasokan air dari daerah imbuhan (*recharge zone*). Semakin banyak pasokan yang diimbuhkan maka semakin banyak debitnya, dengan demikian dapat diketahui posisi debit air sungai yang paling besar sehingga dapat ditentukan lokasi eksploitasi yang tepat.

Pada tahun 1999, Tim BATAN bekerjasama dengan *International Atomic Energy Agency* (IAEA) melakukan penelitian dengan injeksi radioisotop Br-82 di sungai Gua Seropan yang kemudian dipantau di Gua Bribin, Toto, Grubug, dan Ngreng.

Berdasarkan hasil pemantauan di 4 gua tersebut, terdapat kendala dalam menggunakan zat perunut, sisa-sisa Br-82 tidak ditemukan pada Sungai Bribin. Hal ini diduga karena adanya danau yang cukup besar diantara Gua Seropan dan gua-gua sekitarnya, sehingga volume air yang sangat besar ini menyebabkan radioaktivitasnya semakin kecil sehingga tidak terdeteksi, atau menyebabkan aliran sungai menjadi sangat tenang sehingga aliran sangat lambat sekali (Wibagiyo, 2005).

Berdasarkan penelitian tersebut, dapat dilihat bahwa metode *water tracing* belum cukup efektif untuk mengetahui keterhubungan sungai bawah tanah, sehingga perlu dilakukan penelitian-penelitian selanjutnya agar didapatkan data yang cukup akurat. Perunut di daerah karst memerlukan peralatan detektor cukup banyak karena pola sungai bawah tanah daerah karst sangat tidak beraturan. Selain itu, sungai tersebut dapat terpecah menjadi dua atau lebih dan kemudian bergabung kembali, serta kadang dijumpai danau yang besar sehingga perunut akan lama pergerakannya. Metode ini juga tidak dapat mendeteksi pola aliran sungai, karena hanya ditentukan oleh posisi awal dan akhir.

Hubungan dari sungai perlu diketahui secara jelas, karena pada daerah karst sungai bawah tanah terkadang dapat berada sejajar horizontal namun alirannya berlawanan, bahkan dapat juga saling menyilang bertingkat tidak saling berhubungan. Berdasarkan pola yang demikian, hubungan antara sungai dengan sungai lainnya menjadi sulit ditentukan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang dapat membantu melaksanakan pemetaan regional potensi sungai bawah tanah di kawasan karst.

Metode elektromagnetik yang dapat digunakan untuk mencari sungai bawah tanah yang terletak pada daerah gamping melalui kontras resistivitas batuan adalah metode elektromagnetik *Very Low Frequency* (VLF). Metode ini secara umum digunakan untuk mencari bahan–bahan konduktif di bawah permukaan tanah. Metode VLF merupakan metode elektromagnetik aktif yang bergantung pada sumber sinyal maupun variasi sensor penerimanya. Mengingat metode ini dapat bekerja dengan operasional yang mudah, mobilitas yang cepat, serta biaya yang relatif murah, maka metode ini tepat untuk dilakukan pada daerah yang memiliki morfologi dan

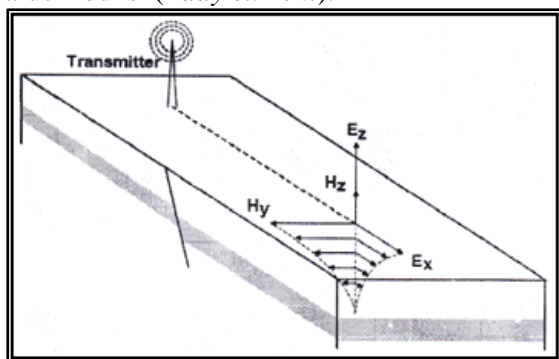
topografi yang cukup berat (Sismanto dkk, 2002).

1.2 Landasan Teori

1.2.1 Prinsip Dasar Metode VLF

Metode elektromagnetik VLF merupakan salah satu metode geofisika yang bertujuan untuk mengukur daya hantar listrik batuan dengan cara mengetahui sifat-sifat gelombang elektromagnetik primer dan sekunder. Gelombang sekunder ini dihasilkan dari induksi elektromagnetik suatu gelombang elektromagnetik primer yang berfrekuensi sangat rendah berkisar antara 10 kHz-30 kHz.

Metode ini memanfaatkan gelombang pemancar yang dibuat untuk keperluan komunikasi kapal selam di bawah laut. Gambar 1 menunjukkan medan elektromagnetik primer sebuah pemancar radio, memiliki komponen medan listrik vertikal E_x dan komponen medan magnetik horizontal H_y tegak lurus terhadap arah perambatan sumbu x . Pada jarak yang cukup jauh dari antena pemancar, komponen medan elektromagnetik primer H_y dapat dianggap sebagai gelombang yang berjalan secara horizontal. Jika di bawah permukaan terdapat suatu medium yang konduktif, maka komponen medan magnetik dari gelombang elektromagnetik primer akan menginduksi medium tersebut sehingga akan menimbulkan arus induksi (*Eddy current*).



Gambar1. Gelombang elektromagnetik untuk metode VLF (Reynolds, 2007)

1.2.2 Persamaan Dasar Gelombang Elektromagnetik

Persamaan Maxwell dapat digunakan untuk memahami perambatan gelombang elektromagnetik di dalam medium. Dua persamaan Maxwell tersebut adalah

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

dan

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \quad (2)$$

dengan \mathbf{E} adalah medan listrik (V/m), \mathbf{B} adalah induksi magnetik (Wb/m^2), \mathbf{H} adalah medan magnet (A/m), \mathbf{J} adalah rapat arus listrik (A/m^2), \mathbf{D} adalah pergeseran listrik (C/m).

Jika medan \mathbf{E} dan \mathbf{H} tersebut hanya sebagai fungsi secara eksponensial, maka akan diperoleh persamaan vektorial

$$\nabla^2 \mathbf{E} = i\omega\mu\sigma\mathbf{E} - \epsilon\mu\omega^2\mathbf{E} \quad (3)$$

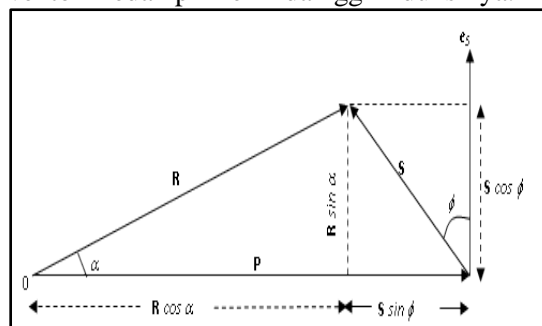
dan

$$\nabla^2 \mathbf{H} = i\omega\mu\sigma\mathbf{H} - \epsilon\mu\omega^2\mathbf{H} \quad (4)$$

Persamaan (3) dan (4) merupakan persamaan elektromagnetik untuk perambatan vektor medan listrik dan medan magnetik dalam medium homogen isotrop dengan permitivitas dielektrik ϵ (F/m), permeabilitas magnetik μ (H/m) dan konduktivitas listrik σ (S/m).

1.2.3 Fase dan Polarisasi Elips

Pada saat gelombang primer masuk ke dalam medium, gaya gerak listrik (ggl) induksi e_s akan muncul dengan frekuensi yang sama, tetapi fase tertinggal 90° (Kaikkonen, 1979). Gambar 1 berikut menunjukkan diagram vektor medan primer \mathbf{P} dan ggl induksinya.



Gambar 2. Vektor amplitudo dan fase gelombang sekunder (S) dan primer (P) (Kaikkonen, 1979)

Kombinasi \mathbf{P} dan \mathbf{S} ($R \cos \alpha$) disebut komponen real (*in phase*) dan komponen yang tegak lurus \mathbf{P} ($R \sin \alpha$) disebut komponen imajiner (*out of phase*) atau komponen kuadratur).

Jika medan magnet horizontal adalah H_x dan medan vertikal adalah $H_z e^{i\phi}$, maka besar sudut tilt (α) dapat ditunjukkan sebagai (Smith dan Ward, 1974):

$$\tan(2\alpha) = \frac{2 \left(\frac{H_z}{H_x}\right) \cos\phi}{1 - \left(\frac{H_z}{H_x}\right)^2} \quad (5)$$

Eliptisitasnya (ε) sebesar

$$|\varepsilon| = \frac{H_2}{H_1} \quad (6)$$

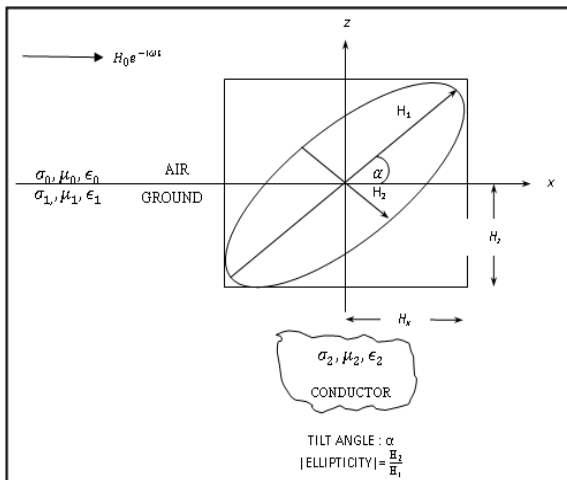
atau

$$\varepsilon = \frac{H_z H_x \sin\Delta\phi}{|H_z e^{i\phi} \sin\alpha + H_x \cos\alpha|^2} \quad (7)$$

dan

$$\Delta\phi = \phi_z - \phi_x \quad (8)$$

H_z dan H_x adalah komponen vertikal dan horizontal dari medan magnet dari bidang resultan, H_1 dan H_2 adalah sumbu mayor dan minor dari polarisasi elips, ϕ_z dan ϕ_x adalah fase dari komponen medan magnet vertikal dan horisontal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 3. Polarisasi elips akibat benda konduktif pada bidang medan elektromagnetik (Saydam, 1981)

1.2.4 Rapat Arus Ekuivalen

Rapat arus ekuivalen terdiri dari arus yang menginduksi konduktor dan arus yang terkonsentrasi dalam konduktor pada daerah yang di sekelilingnya yang kurang konduktif. Asumsi untuk menentukan rapat arus

ekuivalen adalah rapat arus yang menghasilkan medan magnetik yang identik dengan medan magnetik yang diukur. Secara teori, kedalaman semu rapat arus ekuivalen memberikan gambaran indikasi tiap-tiap kedalaman variasi konsentrasi arus. Melalui persamaan Biot-Savart dapat diketahui pengaruh rapat arus sebagai fungsi jarak horisontal dan vertikal $I(\xi, \zeta)$ terhadap komponen medan magnet vertikal H_z (Reitz dan Milford, 1996). Adapun persamaannya yaitu

$$H_z = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\xi \int_{-\infty}^{\infty} I(\xi, \zeta) \cdot (x - \xi) \cdot d\zeta / [(x - \xi)^2 + \zeta^2] \quad (9)$$

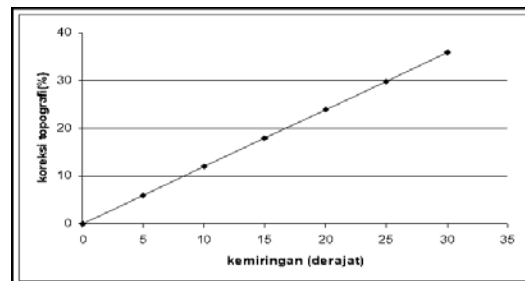
1.2.5 Efek Topografi Terhadap Nilai Tilt Angle

Pengukuran pada lintasan yang memotong bukit atau lembah akan menghasilkan nilai *tilt angle* yang berbeda dengan lintasan datar. Perbedaan tersebut akan semakin besar jika sudut kemiringan lereng semakin besar. Batasan signifikansi koreksi topografi adalah pengukuran pada lintasan dengan sudut kemiringan lebih dari 30^0 .

Nilai *tilt angle* dikoreksi topografi menggunakan koreksi topografi oleh Baker dan Myers (1980), dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- Dicari $dR\%$ (koreksi topografi) untuk masing – masing kemiringan, misal untuk kemiringan 30^0 , maka $dR\%$ nya adalah 4, seperti tampak pada Gambar 4.
- Kemudian dicari nilai rata-rata *tilt angle* antara 2 titik, lalu ditambah $dR\%$ jika lintasannya turun bukit, dan dikurangi $dR\%$ jika lintasan naik bukit.

$$F_{(1,2)} = (\theta_1\% + \theta_2\%)/2 \pm dR\% \quad (10)$$



Gambar 4. Hubungan antara kemiringan lereng dengan besarnya koreksi topografi (Baker dan Myers, 1980)

1.2.6 Filter Moving Average

Filter ini digunakan untuk memisahkan data yang mengandung frekuensi tinggi dan

rendah. Filter ini dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomalnya dibagi dengan panjang interval *smoothing* yang digunakan, yang dapat dituliskan sebagai berikut

$$\hat{y}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=i-k}^{i+k} y_j \quad (11)$$

dengan $k = \frac{N-1}{2}$

Pada persamaan (11) k adalah jumlah pengurangan data yang hilang akibat penapisan dan N adalah panjang interval *smoothing* (Guiñón dkk., 2007).

1.2.7 Filter Fraser

Filter Fraser menunjukkan posisi benda konduktor akibat anomali dengan menginterpretasikan titik-titik dengan sudut tilt mengalami persilangan dari polarisasi positif menjadi negatif. Filter ini didesain untuk membagi data tilt dengan 90° , sehingga persilangan menjadi maksimum (*peak*). Filter ini juga melemahkan panjang gelombang yang terlalu besar untuk mengurangi efek topografi. Selain itu, filter ini mengurangi efek pelemahan dari variasi temporal kuat sinyal pemancar (Fraser, 1969).

Prinsip dasar filter Fraser adalah menggunakan 4 titik yang berurutan dengan cara mengurangi jumlah dari nilai data ke-3 dan ke-4 terhadap jumlah nilai data ke-1 dan ke-2. Kemudian diplot pada titik tengah antara data ke-2 dan ke-3. Secara matematis dapat ditunjukkan sebagai berikut (Fraser, 1969):

$$F_n = (M_{n+2} + M_{n+3}) - (M_n + M_{n+1}) \quad (12)$$

1.2.8 Filter Karous-Hjelt

Filter Karous-Hjelt merupakan filter yang dikembangkan dari konsep medan magnetik yang berhubungan dengan aliran arus listrik. Filter ini dikembangkan dari filter statistika linear berdasarkan pada filter Fraser dan teori medan linear dari Bendat dan Piersol. Filter ini menghasilkan profil kedalaman dari rapat arus yang diturunkan dari nilai komponen vertikal medan magnetik pada setiap titik pengukuran. Profil kedalaman dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} KH_n &= -0,102M_{n-3} + 0,059M_{n-2} - 0,561M_{n-1} + 0,561M_{n+1} \\ &\quad - 0,059M_{n+2} \\ &\quad + 0,102M_{n-3} \end{aligned} \quad (13)$$

$M_n = \frac{H_z}{H_x}$ adalah nilai yang terukur pada alat.

Filter Karous-Hjelt menghitung sumber arus ekuivalen pada kedalaman tertentu yang umumnya dikenal sebagai rapat arus. Posisi rapat arus ini dapat menjadi alat untuk menginterpretasi lebar dan kemiringan sebuah benda anomali dengan kedalaman tertentu (Karous dan Hjelt, 1983).

1.2.9 Pemodelan ke belakang

Pemodelan ke belakang dilakukan dengan metode *damped least-squares* dengan tujuan untuk meminimalkan fungsi dengan perumusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Psi &= (\Delta d - S\Delta p)^T (\Delta d - S\Delta p) \\ &\quad + \lambda (\Delta p^T \Delta p - p_0^2) \end{aligned} \quad (14)$$

Δd adalah $d_{obs} - d_{cal}$ menjelaskan ketidakcocokan antara data observasi dengan data yang dihitung, S adalah sensitivitas matriks, p adalah parameter model yang diperbaharui dan λ adalah parameter Lagrange.

1.3 Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan suatu masalah yaitu bagaimana arah, pola aliran sungai bawah tanah di daerah survei sehingga dapat ditentukan hubungan antara sungai Seropan dengan Bribin.

1.4 Rencana Pemecahan Masalah

Dengan menggunakan metode elektromagnetik *Very Low Frequency* (VLF), diharapkan dapat mengetahui arah, pola aliran sungai bawah tanah di daerah survei sehingga dapat ditentukan hubungan antara sungai Seropan dengan Bribin.

1.5 Tujuan Penelitian

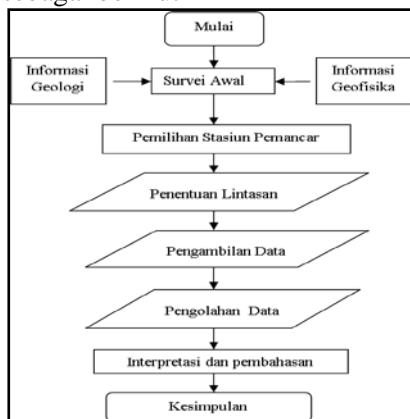
Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan arah dan pola aliran sungai bawah tanah daerah survei berdasarkan nilai rapat arus ekuivalen hasil interpretasi kualitatif dan model resistivitas pemodelan ke belakang.
2. Menentukan posisi keterhubungan antara Sungai Seropan dan Bribin.

II. METODE PENELITIAN

PARAMETER	NILAI PARAMETER
1. Jumlah lintasan	5 lintasan
2. Panjang tiap lintasan	
a. Lintasan 1	800 m
b. Lintasan 2	850 m
c. Lintasan 3, Lintasan 4, Lintasan 5	1000 m
3. Spasi titik pengukuran	10 m
4. Jumlah titik Pengukuran tiap lintasan	
a. Lintasan 1	81 titik
b. Lintasan 2	86 titik
c. Lintasan 3, Lintasan 4, Lintasan 5	101 titik
5. Frekuensi pengukuran	19800 Hz (NWC, Australia) dan 22200 Hz (JJI, Japan)
6. Data terukur	Tilt α (%), eliptisitas e (%), H horisontal ($\mu A/m$), H vertikal ($\mu A/m$)

Lokasi penelitian dimulai dari desa Gombong, kecamatan Ponjong sampai desa Dadapayu, kecamatan Semanu, Gunungkidul, Yogyakarta. Lokasi ini terletak pada koordinat $8^{\circ} 1' 39,76''$ LS dan $110^{\circ} 40' 54,26''$ BT sampai $8^{\circ} 2' 20,16''$ LS dan $110^{\circ} 41' 9,91''$ BT. Pengukuran data VLF ini dilakukan pada tanggal 15 sampai 26 September 2013. Diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut



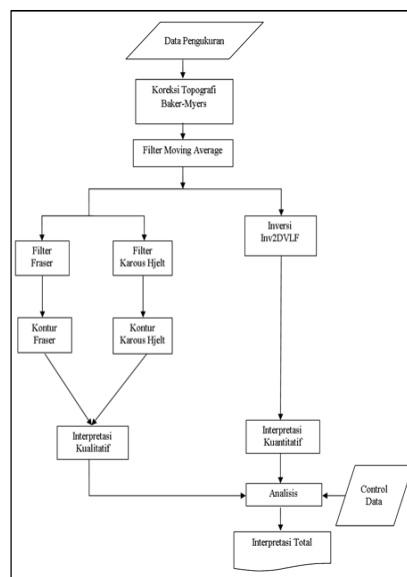
Gambar 5. Diagram alir penelitian

Adapun parameter akuisisi survei VLF disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter akuisisi survei VLF

Interpretasi data dilakukan 2 tahap yaitu interpretasi secara kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif dapat dilakukan dengan menafsirkan secara fisis dan geologis terhadap peta kontur anomali rapat arus ekuivalen. Daerah yang memiliki nilai rapat arus ekuivalen yang tinggi diindikasikan sebagai anomali benda konduktif (warna merah). Pola-pola anomali konduktif yang dihubungkan tiap lintasan dapat disimpulkan sebagai sungai bawah tanah.

Interpretasi kualitatif dapat diperkuat lagi dengan melakukan interpretasi kuantitatif. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan melakukan pemodelan *inverse*. Pemodelan *inverse* ini dilakukan menggunakan program Inv2DVLF dengan membangun model mesh terlebih dahulu terhadap lokasi penelitian. Adapun bagan pengolahan datanya disajikan pada Gambar 6 sebagai berikut.

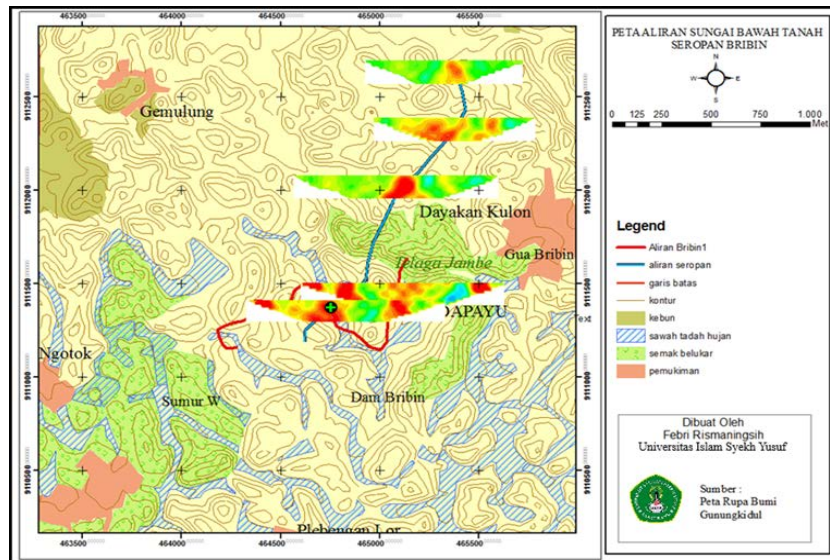


Gambar 6. Diagram alir pengolahan data dan interpretasi total

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

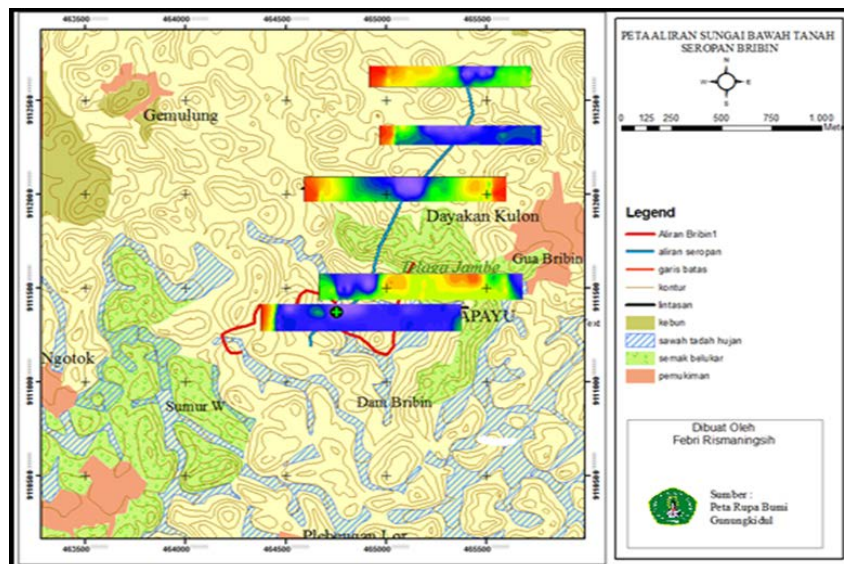
3.1 HASIL

3.1.1 Interpretasi kualitatif



Gambar 7. Peta aliran sungai bawah tanah Seropan berdasarkan interpretasi kualitatif

3.1.2 Interpretasi kuantitatif



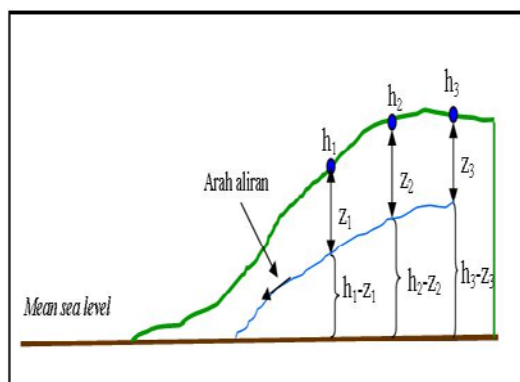
Gambar 8. Peta aliran sungai bawah tanah Seropan berdasarkan interpretasi kuantitatif

Tabel 2. Posisi anomali berdasarkan nilai rapat arus ekuivalen dan pemodelan ke belakang

Lintasan	Jarak	Bujur			Lintang			h (m)	z (m)	h-z (m)
	(m)	°	'	"	°	'	"			
1	430	110	41	8,31	8	1	39,8	199	56	143
2	400	110	41	8,95	8	1	49,5	206	64	142
3	540	110	41	45	8	1	59,3	221	80	141
4	250	110	40	54,23	8	2	15,9	220	80	140
5	410	110	40	50,63	8	2	20,1	223	85	138

3.2PEMBAHASAN

Interpretasi kualitatif dapat dilakukan setelah melakukan beberapa filter terhadap lapangan yaitu filter *moving average*, Filter Fraser dan Filter Karous Hjelt. Berdasarkan hasil filter dapat diketahui terdapatnya sebuah pola aliran sungai bawah tanah. Jika titik ketinggian topografi di atas anomali pada masing-masing lintasan digabungkan, kemudian titik tersebut dikurangi dengan kedalaman anomali yang didapat dari pengolahan data, maka akan didapatkan arah aliran sungai. Gambar 9 mengilustrasikan arah aliran sungai dimana h merupakan ketinggian topografi (meter), z adalah kedalaman dari permukaan tanah, sehingga ketinggian dari *mean sea level* yaitu $h-z$. Garis berwarna biru muda merupakan arah aliran sungai.



Gambar 9. Ilustrasi arah aliran sungai

Gambar 7 menunjukkan gabungan *pseudosection* rapat arus ekuivalen dari lintasan 1 sampai lintasan 5. Penarikan garis biru merupakan interpretasi aliran sungai bawah tanah dengan menghubungkan titik-titik anomali dengan rapat arus ekuivalen tinggi, dibandingkan dengan rapat arus ekuivalen sekitarnya pada masing-masing lintasan, yang kedalaman samadengan atau kurang dari 80

SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan survei ini baik interpretasi kualitatif maupun kuantitatif adalah sebagai berikut:

1. Arah aliran sungai bawah tanah Seropan dari Utara menuju Selatan. Aliran sungai

meter. Arah aliran sungai yang didapat dari interpretasi data VLF pada penelitian ini sesuai dengan arah penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Astuti (2014) yaitu sungai bawah tanah Seropan mengalir dari utara ke selatan.

Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan pemodelan ke belakang atau inversi. Pemodelan ke belakang dilakukan dengan menggunakan program Inv2DVLF terhadap data yang sudah difilter. Input program Inv2DVLF didapat dari output program PrepVLF. Input program PreVLF terdiri dari frekuensi, jumlah titik pengukuran, spasi titik ukur, data real dan imajiner, topografi lokasi pengukuran yang diambil dari titik tertentu serta nilai resistivitas lingkungan. Nilai resistivitas diambil 8000 Ω m yang merupakan resistivitas batugamping. Program PreVLF ini merupakan program untuk menghasilkan geometri mesh sebagai *finite element*.

Pola aliran sungai bawah tanah hasil pemodelan ke belakang sangat mirip dengan pola yang dihasilkan dari kontur Karous-Hjelt. Berdasarkan kecocokan antara kedua hasil interpretasi tersebut dapat dikatakan bahwa pada daerah penelitian terdapat sungai bawah tanah Seropan. Selanjutnya dapat disimpulkan keberadaan sungai bawah tanah Seropan pada daerah penelitian.

Berdasarkan kedua hasil interpretasi tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8. Titik perpotongan antara Sungai Seropan dengan Bribin, berada pada koordinat $8^{\circ} 2' 20,73''$ LS dan $110^{\circ} 40' 48,51$ BT. Garis berwarna merah adalah hasil pemetaan geodetis dari Tim BATAN dan Karlsruhe Institute, Jerman. Hasil yang didapat mengidentifikasi bahwa arah aliran sungai bawah tanah yang utama yaitu dari Utara menuju ke Selatan.

bawah tanah Seropan memiliki ketinggian di sebelah Utara 143 m dan di sebelah Selatan 138 m.

2. Sungai Seropan dan Bribin bertemu pada koordinat $8^{\circ} 2' 20,73''$ LS dan $110^{\circ} 40' 48,51''$ BT. Sungai Seropan berada di atas

Sungai Bribin, saling menyilang bertingkat dan tidak saling berhubungan.

Saran yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Daerah penelitian selanjutnya diarahkan ke arah Timur dan Barat daerah penelitian ini.
2. Penggunaan metode lain seperti magnetik akan sangat membantu dalam menentukan legitimasi hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T.N dan Sudarmaji, 2008, Hydrological Properties of Bribin Underground River System (Experience Learned for Seropan River System Project), *Intergrated Water Resources Management Seminar*, Oktober 2008.
- Anita, F., 2011, Estimasi Sungai Bawah Tanah Dengan Menggunakan Metode Geofisika VLF EM, Mode Sudut Tilt Di Daerah Dengok Dan Ngrejok Wetan, Gunungkidul, Yogyakarta , *Tesis*, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Anwar, F., 2005, Pemetaan Sungai Bawah Tanah dengan Menggunakan Metode Elektromagnetik Very Low Frekuensi (VLF) di Daerah Gunung Kunir Semanu, Gunungkidul Yogyakarta, *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Bahri, A. S., Santosa, B.J., dan Mulyoto, W.S., 2009, Pemetaan Sungai Bawah Permukaan di Wilayah Kars Seropan Gunungkidul dengan Menggunakan Metode Geofisika VLF-EM-GRAD, *Tesis*, Jurusan Fisika ITS, Surabaya.
- Baker, H.A. dan Myers, SO., 1980, A Topographic Correction for VLF-EM Profiles Based on Model Studies. *Geoexploration*, 18, 135-144.
- Barr, R., 2000, ELF and VLF Radio Waves, *Jounal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 62, 1689-1718.
- Bendat, J.S. dan Piersol, A.G., 1968, *Measurement and Analysis of Random Data*, Willey, New York.
- Bosch, F. P. dan Muller, I., 2005, Improved Karst Exploration by VLF-EM Gradient Survey: Comparison With Other Geophysical Methods, *European Association of Geoscientist & Engineers, Near Surface Geophysics*, 4, 3, 299-310.
- Coppo, N., Schnegg, P.A., Defago, M., dan Speleological Group of Clerval., 2006, Mapping a Shallow Large Cave Using a High Resolution Very Low Frequency Electromagnetic Method, *Proceedings of the 8th Conference on Limestone Hydrogeology*, Neuchatel, Switzerland.
- Davies, K., 1965, *Ionospheric Radio Propagation*, Central Radio Propagation Laboratory, USA.
- Faris, A.A., 2012, Utilization of Very Low Frequency (VLF) Technique in Surveying of Groundwater : A Case Study-Shadnagar-Papireddyguda, A.P., India, *Protection of Environment and Water Quality : The Basis for Agricultural Production, Food Security and Sustainable Development*, India.
- Firzany, 2005, Pemetaan Sungai Bawah Tanah Menggunakan Metode Elektromagnetik Frekuensi Sangat Rendah dengan Mode Sudut Tilt di Daerah Nangsri, Semanu, Gunungkidul Yogyakarta, *Skripsi*, Jurusan Fisika MIPA UGM, Yogyakarta.
- Fraser, D.C., 1969, Contouring of VLF-EM data, *Geophysics*, 34, 958-967.
- Guinon, J.L., Ortega, E., Anton, J.G., dan Herranz, V.P, 2007, Moving Average and Savitzki-Golay Smoothing Filters Using Matchcad, *International Conference on Engineering Education*, Coimbra, Portugal.
- Grandis, H., 2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Bandung.
- Haryono, E. Dan Adji, T .N., 2005, *Geomorfologi dan Hidrologi Karst*, Bahan Ajar, Yogyakarta.
- Hermawan, W., 2005, Pemetaan Sungai Bawah Tanah dengan Metode Elektromagnetik Frekuensi Sangat Rendah Menggunakan Mode Tilt di Daerah Plebengan Semanu Wonosari Yogyakarta, *Skripsi*, Jurusan Fisika Fakultas MIPA UGM, Yogyakarta.

- Jackson, J.D., 1998, *Classical Elektrodynamics*, 3rd ed., John Wiley & Sons, USA.
- Kaikkonen, P., 1979, Numerical VLF Modelling, *Geophysical Prospecting*, 27, 815-834.
- Karous, M.R., dan Hjelt, S.E., 1983, Linear Filtering of VLF Dip-Angle Measurement, *Geophysical Prospecting*, 31, 782-792.
- Kusumayudha, S.B., 2005, *Hidrogeologi Karst dan Geometri Fraktal di Daerah Gunungsewu*, Adicita, Yogyakarta.
- MacDonald, 1984, *Greater Yogyakarta*, Hunting Technical Service Ltd, London.
- Manual Iris Instrument, 1993, *T-VLF Operating Manual (Release 1.0)*. BRGM & OYO Joint Venture, Orleans, Perancis.
- McNeill, J.D. dan Labson, V.F., 1991, Geological Mapping Using VLF Radio Fields, *Investigations in Geophysics*, 3, 2, 521-640.
- Milson, J., 2002, *Field Geophysics-The Geological Field Guide Series*, Third edition, John Wiley & Son, London.
- Nayasari, S.W., 2005, Eksplorasi Sungai Bawah Tanah dengan Menggunakan Data VLF Terkoreksi Topografi di Daerah Gua Bribin (Antara Mulut Gua Sampai Lubang Bor W), *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA, UGM, Yogyakarta.
- Nurwibowo, M.P., 2004, Estimasi Aliran Sungai Bawah Tanah Dengan Metoda Elektromagnetik Very Low Frequency di Daerah Semanu, Wonosari, Yogyakarta, *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Reitz, J.R. dan Milford, F.J., 1966, *Foundation of Electromagnetic Theory*, Addison Wasley, Tokyo.
- Reynolds, J M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex.
- Santos, F.A.M., 2006, *Instructions for Running PrepVLF and Inv2DVLF 2-D Inversion of VLF-EM Single Frequency Programs Version 1.0*, Centro de Geofisica da Universidade Lisboa, Portugal.
- Santos, F.A.M., Almeida, E.P., Gomes, M., dan Pina, A., 2006a, Hydrogeological Investigation In Santiago Island (Cabo Verde) Using Magnetotellurics And VLF Methods, *Journal of African Earth Sciences*, 45, 421-430.
- Santos, F.A.M., Mateus, A., Figueiras, J., dan Goncalves, M.A., 2006b, Mapping Groundwater Contamination Around Landfill Facility Using The VLF-EM Method – A Case Study, *Journal of Applied Geophysics*, 60, 2.
- Saydam, A. S., 1981, Very Low Frequency Electromagnetic Interpretation Using Tilt Angle and Ellipticity Measurements, *Geophysics*, 46, 1594-1605.
- Selby, M.J., 1985, *Earth's Changing surface, An Introduction to Geomorphology*, Clarendon press, Oxford.
- Sharma, P.V., 1997, *Environmental and Engineering Geophysics*, Cambridge University Press, Australia.
- Sheriff, R.E., 1991. Encyclopedic Dictionary of Explorations Geophysics, *Geophysics References Series*, SEG.
- Sismanto, Hartantyo, E, Sudarmadji, Nukman, M., dan Suryanto, W., 2002, Uji Alat dan Metoda Geofisika Terpadu terhadap Sungai Bawah Tanah di Goa Bribin, Semanu, Wonosari, Gunung Kidul, Yogyakarta, *Laporan Penelitian*, Geofisika FMIPA, UGM, Yogyakarta.
- Smith, B.D. dan Ward, S.H., 1974, On the Computation of Polarization Ellipse Parameters, *Geophysics*, 39, 867 – 869.
- Suharyadi, 1994, Kajian Metode Penelusuran Sungai Bawah Tanah di Daerah Batugamping (Karst), *Laporan Penelitian*, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Telford, W. M., Geldart, L.P., dan R.E. Sheriff., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, New York.
- Tofan, R.M., 2008, Aplikasi Metode VLF Gradient Vertikal Untuk Pemetaan Sungai Bawah Permukaan di Daerah Karst, Bribin, Gunungkidul, *Skripsi*, Program Studi Teknik Geofisika ITB, Bandung.
- Van Bemmelen, R. W., 1949, *The geology of Indonesia*, vol IA. Martinus Nijhoff, The Haque, 732.
- Van Dongen, P. dan Woodhouse, M., 1994, Finding Groundwater: a Project Manager's Guide to Techniques and How to Use Them, *Technical Report*,

UNDP-Worldbank Water and Sanitation
Program, Worldbank, Washington DC.
Wibagiyo, 2005, *Studi Interkoneksi Sungai
Bawah Tanah di Daerah Karst
Kabupaten Gunungkidul*, Puslitbang
Teknologi Isotop dan Radiasi BATAN,
Jakarta.