

**ANALISIS HIDROKEMOGRAF AIRTANAH KARST
SISTEM SUNGAI BAWAH TANAH BRIBIN
KABUPATEN GUNUNG KIDUL**

Arie Purwanto
ontorejo@gmail.com

Eko Haryono
e.haryono@geo.ugm.ac.id

ABSTRACT

The research was conducted in karst area, which is enclosed by Bribin Underground River Catchment which is administratively located in Gunungkidul Regency. The purpose of this study was to analyze the spatial and temporal variation characteristics of hydrochemistry on Bribin Underground River Catchment one -year.

The method of this research is purposive sampling. Samples were taken representatively within upper, lower and leakage point of Bribin Underground River Catchment. Analysis on this research present the results with hydrograf analysis, chemograf analysis and descriptif analysis.

The results showed variations of hidrochemistry on Bribin Underground River Catchment in the dry season and rainy season . In the rainy season the level of dissolved elements calcium (Ca^{2+}) and bicarbonate (HCO_3^-) in recharge areas , upper, lower and leakage points decreased inversely proportional to the discharge, as well as the value of electroconductivity (DHL) . In the dry season value of conductivity (DHL) and dissolved elements of calcium (Ca^{2+}) and bicarbonate (HCO_3^-) are increasing while discharge are decreased.

keywords: groundwater, caves, underground rivers, hydrochemistry

Penelitian ini dilakukan pada kawasan bertopografi karst, yaitu daerah tangkapan Sungai Bawah Tanah Bribin yang secara administratif terletak di Kabupaten Gunungkidul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis variasi spasial dan temporal karakteristik hidrokimia dari Sungai Bawah Tanah Bribin sepanjang tahun.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *purposive sampling* Dilakukan pengambilan sampel pada daerah hulu hilir dan imbuan pada Sungai Bawah Tanah Bribin. Data primer yang digunakan adalah debit aliran , kualitas fisik dan kimia. Analisa yang digunakan pada peneitian ini adalah analisa hidrograf, analisa kemograf dan analisa deskriptif.

Hasil penelitian menunjukkan variasi kimia airtanah pada Sungai Bawah Tanah Bribin pada musim kemarau dan musim penghujan. Pada musim penghujan konsentrasi zat terlarut *kalsium* (Ca^{2+}) and *bikarbonat* (HCO_3^-) di daerah imbuan, hulu, hilir dan bocoran mengalami penurunan berbanding terbalik dengan besarnya debit aliran, begitu pula dengan nilai DHL. Pada musim kemarau penurunan debit aliran menyebabkan terjadi peningkatan nilai DHL dan konsentrasi zat terlarut *kalsium* (Ca^{2+}) and *bikarbonat* (HCO_3^-) pada Sungai Bawah Tanah Bribin.

katakunci : airtanah, gua, sungai bawah tanah, hidrokimia

PENDAHULUAN

Penelitian tentang hidrologi karst merupakan suatu hal yang sangat menarik dan menjadi penting. Permasalahan terbesar yang ada pada daerah kawasan karst adalah sulitnya masyarakat untuk mengakses sumberdaya air. Sumberdaya air terbesar pada kawasan karst terdapat pada bawah tanah yaitu pada gua-gua atau pada sungai bawah tanah yang tentunya tidak bisa diakses secara mudah oleh masyarakat. Adanya sumberdaya air pada gua-gua atau pada sungai bawah tanah tidak serta merta langsung bisa digunakan, perlu pengkajian kualitas air pada sumberdaya tersebut.

Daerah Gunung Kidul mempunyai tiga sistem sungai bawah tanah besar yakni sistem Bribin-Baron, sistem Sundak dan sistem Ngobaran. Ketiga sistem ini masih terbagi lagi menjadi subsistem-subsistem yang mempunyai potensi akan sumber air. Sir Mc Donald and Partners (1979) melakukan penelitian yang mendapatkan sebanyak 266 saluran bawah tanah yang sudah dipetakan dan 42 saluran yang berpotensi akan sumber air. Dari berbagai sumber air yang ada ini Gua Bribin dan Gua Seropan sudah dimanfaatkan dengan cara membuat bendungan dan dipompa yang didistribusikan ke sebagian daerah Gunung Kidul.

Pemilihan Sistem Sungai Bawah Tanah Bribin ini dikarenakan sistem ini sangat penting bagi daerah Kabupaten Gunung Kidul. Sistem Sungai Bawah Tanah Bribin ini sebagai pemasok kebutuhan air masyarakat Gunung Kidul. Dari debit yang ada baru 120 l/dt yang baru bisa dipergunakan untuk kebutuhan domestik masyarakat Gunung Kidul. Sejak tahun 1999 Sistem Sungai Bawah Tanah Bribin mendapatkan perhatian yang lebih dengan diadakannya kerjasama antara Pemerintah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan pihak Jerman tepatnya Universitas Kalsruhe. Proyek untuk pemanfaatan air ini dilakukan dengan pengeboran sedalam 104 m yang kemudian akan digunakan metode *mikrohidro* untuk mengangkat air dan

mendistribusikannya, yang sampai saat ini belum terselesaikan.

Sistem Sungai Bawah Tanah Bribin mempunyai ketiga karakteristik akuifer karst yakni akuifer saluran (*conduit*), celah (*fissure*), dan rembesan (*diffuse*). Dari ketiga karakteristik itu akan memunculkan perbedaan kualitas airtanah terutama sifat kimia airtanah. Air hujan yang mempunyai peranan penting karena sebagai pensuplai air yang utama maka variasi temporal curah hujan akan memberikan efek juga pada pembentukan akuifer air pada sungai bawah tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah: menganalisis variasi unsur-unsur kimia air Sungai Bawah Tanah Bribin terhadap variasi musim dan besaran debit.

METODE PENELITIAN

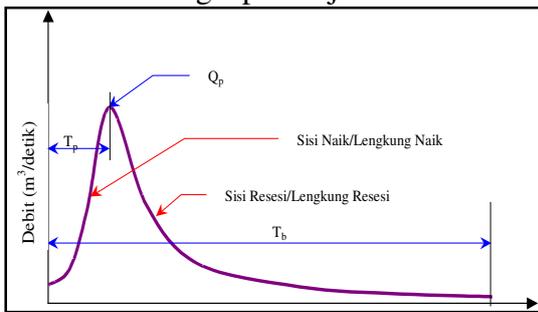
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta rupabumi skala 1 : 25000 tahun 2001, peta sungai bawah tanah dan sebaran gua di kawasan karst gunung sewu oleh MacDonalds dan Partners (1984). Penelitian ini menggunakan peralatan utama water level data logger dan current meter untuk mengukur kuantitas air di lapangan yaitu untuk mencatat perubahan tinggi muka air sungai bawah tanah dan mengukur debit aliran. Untuk mengukur kualitas air di lapangan digunakan peralatan pengukur parameter kualitas air di lapangan (pH, Eh, EC, dan Suhu) serta peralatan pengambilan sampel air.

Daerah penelitian merupakan daerah dengan bentuklahan karst yang berada di Kabupaten Gunung Kidul. Daerah penelitian meliputi daerah sekitar Cekungan Wonosari, yang secara topografis terletak pada DAS Bribin. Daerah penelitian ini meliputi 3 kecamatan pada dua kabupaten dan propinsi yang berbeda, yaitu :

- a. Propinsi daerah Istimewa Yogyakarta, yaitu Kabupaten Daerah Tingkat II Gunung Kidul meliputi Kecamatan Ponjong dan Semanu.

- b. Propinsi Jawa Tengah, yaitu Kabupaten Wonogiri yaitu Pracimantoro.

Pada dasarnya batas daerah penelitian bukan merupakan batas administrasi, tetapi merupakan batas alamiah berupa batas topografi yang diasumsikan merupakan batas daerah tangkapan hujan DAS Bribin.



Gambar 1 Bentuk umum hidrograf

Pengumpulan data dilakukan berdasarkan pada pengambilan data primer yang diambil langsung di lapangan baik yang melalui pengukuran langsung atau hasil analisis dilaboratorium. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah :

1. Data kuantitas airtanah

Data kuantitas sungai bawah tanah bisa didapatkan melalui pengukuran debit yang dilakukan dengan metode-metode yang disesuaikan dengan kondisi dari lokasi pengambilan di daerah penelitian. Metode yang mungkin digunakan dilapangan yaitu metode *current meter* dan metode pelampung

2. Data kualitas fisik airtanah

Data kualitas fisik airtanah didapatkan langsung dilokasi pengambilan sampel. Data fisik airtanah yang dilakukan pengambilan langsung pada saat di lapangan meliputi Daya Hantar Listrik (conductivity), derajat keasaman (pH), dan suhu (T). Pengukuran data kualitas fisik airtanah ini dilakukan langsung di lapangan ini dikarenakan untuk menghindari adanya kesalahan ketika dilakukan pengukuran di laboratorium.

3. Data kualitas kimia airtanah

Data ini diambil dilapangan dengan menggunakan botol sampel yang kemudian akan dibawa dilaboratorium untuk dilakukan analisis. Analisa yang dilakukan yakni dengan mencari tahu konsentrasi unsur mayor yang ada pada sampel air. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} dan HCO_3^- .

Analisa yang dilakukan meliputi analisis laboratorium, analisa Kemograf, analisis hidrograf bulanan dan analisa deskriptif

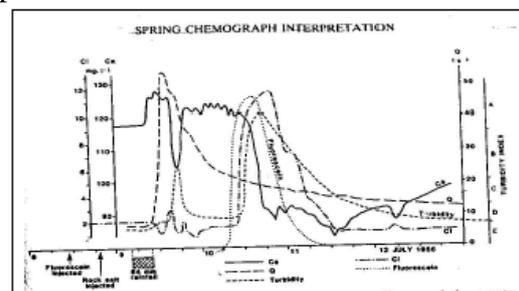
a. Analisa hidrograf

Analisis ini digunakan untuk mengetahui variasi debit terhadap waktu. Debit ini yang terukur setiap bulan diplot pada sumbu y dan waktu diplot pada sumbu x sehingga pola fluktuasi dalam setahun dapat diketahui.

Hasil dari hidrograf ini yang nantinya menjadi salah satu parameter untuk mengetahui jenis drainase dari masing-masing lokasi penelitian. Analisis Hidrograf disini lebih bersifat kuantitatif sehingga nantinya akan dilakukan analisis dengan data kualitatif dari analisa Kemograf.

b. Analisis Kemograf

Analisis Kemograf dilakukan untuk memperoleh hasil gambaran yang jelas mengenai hasil analisis data kimia. Kemograf merupakan grafik hubungan antara zat kimia dari sampel air terhadap waktu. Zat kimia yang merupakan zat terlarut merupakan unsur-unsur mayor diplot pada sumbu y sedangkan waktu penelitian ini dilakukan selama satu tahun diplot dalam sumbu x. Dengan dilakukan analisis kemograf ini maka dapat ditemukan variasi zat terlarut yang ada pada airtanah tersebut



Gambar.2 Contoh Kemograph (Ford and Williams, 1989)

c. Analisis deskriptif

Analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan pola fluktuasi debit aliran dengan kualitas kimia airtanah dari tiap-tiap sampel airtanah yang diteliti pada waktu pengambilan sampel. Analisis ini akan menjabarkan kaitan kualitas kimia airtanah dari tiap-tiap karakteristik akuifer dan sistem drainase. Juga menjelaskan korelasi musim kaitannya dengan kualitas kimia airtanah seberapa besar kontribusinya apakah terkait atau tidak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berfokus pada pencarian fenomena variasi spasial dan temporal hidrokimia pada Sungai Bawah Tanah Bribin. Secara temporal dilakukan pengamatan selama beberapa bulan dalam satu tahun yang mewakili antara musim penghujan dan musim kemarau. Sedangkan secara spasial penelitian ini mengambil empat lokasi pengamatan yang mewakili daerah hulu, tengah dan hilir dari Sungai Bawah Tanah Bribin.

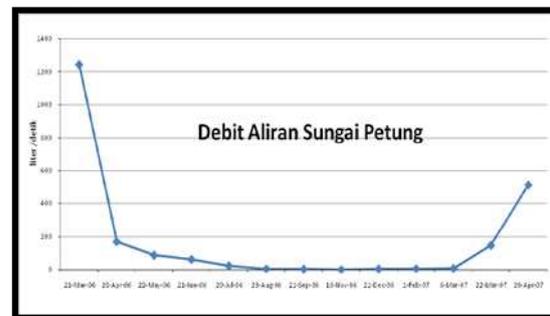
Untuk mengetahui karakter hidrokimia dari SBT Bribin ini dilakukan pengamatan kualitas dan kuantitas air secara berkala. Pengamatan dilakukan mulai dari bulan Maret 2006 sampai dengan April 2007. Pada penelitian ini mengambil lokasi pada Sungai Petung sebagai hulu dari SBT Bribin yang merupakan sungai permukaan. Lokasi kedua merupakan gua horisontal yang mewakili bagian hulu dari SBT Bribin yaitu Gua Gilap. Gua Bribin sendiri pada penelitian ini dianggap sebagai hilir dari SBT Bribin merupakan lokasi pengamatan. Dan lokasi terakhir adalah Gua Ngreneng yang merupakan bocoran dari SBT Bribin menjadi objek kajian dari penelitian ini.

Tabel 1 Koordinat Lokasi Pengambilan Sampe Air

No	Nama Gua	Koordinat lokasi	Keterangan
1	Inlet Sungai Pentung	49 M 472674;9122165	Inlet
2	Gua Gilap	49 M 472076;9119137	Hulu
3	Gua Bribin	49 M 464666;9111646	Hilir
4	Gua Ngreneng	49 M 463590;9112961	Bocoran

Variasi Temporal Aliran Sungai Petung

Variasi debit yang sudah terukur (gambar3) Sungai Petung mengalami kekeringan pada bulan Agustus 2006 – awal Maret 2007 dimana pada saat itu tidak terjadi kejadian hujan. Sedangkan memasuki musim penghujan Sungai Petung mengalami kenaikan debit aliran yang sangat besar sesaat setelah kejadian hujan dan mengalami penurunan debit yang sangat cepat pula. Perbedaan aliran yang sangat mencolok ketika musim penghujan dan kemarau pada Sungai Petung ini terjadi karena struktur penyusun batuan merupakan batuan vulkanik tua yang mengindikasikan bahwa pada sungai tersebut mengalami limpasan yang besar dan penyimpanan air yang kecil pada akuifer.



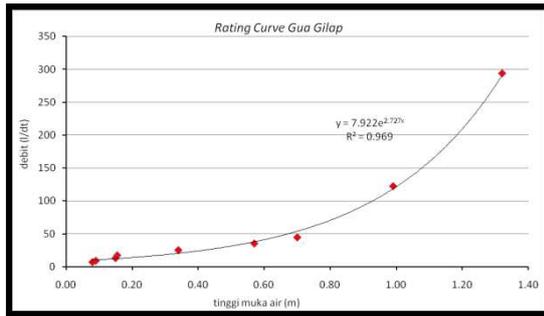
Gambar 3 Variasi Debit Aliran di Sungai Petung Maret 2006 – April 2007

Variasi Temporal Aliran Gua Gilap

Gua Gilap merupakan bagian hulu dari sungai bawah tanah Bribin yang berbentuk gua horisontal berada pada suatu runtunan *doline* yang berdiameter besar (200 m). Pada lokasi Gua Gilap ini dilakukan pemasangan alat pencatat tinggi muka air (*water level data logger*), pemasangan ini dikarenakan pada lokasi Gua Gilap selalu berair sepanjang tahun jadi dimungkinkan untuk mendapatkan data *timeseries* tinggi muka air pada gua tersebut.



Gambar 4 Kondisi aliran Gua Gilap pada bulan April 2006 (a) Pengukuran Debit aliran Gua Gilap pada bulan April 2006 (b)



Gambar 5. Hubungan tinggi Muka Air dan Debit di Gua Gilap

Dari hasil pencatatan pada bulan Mei 2006 sampai dengan April 2007 menunjukkan debit minimum terjadi pada 22 Desember 2006 sebesar 5.3 liter/detik dan debit puncak pada 23 Maret 2007 sebesar 380 liter/detik. Hasil pengukuran debit aliran pada Gua Gilap terlihat pada gambar 6. mengalami penurunan debit aliran sejak pada bulan Mei 2006 sampai dengan awal Desember 2006. Penurunan debit aliran tersebut dikarenakan pada waktu tersebut tidak adanya hujan terutama pada bulan Agustus – Desember 2006, yang mengakibatkan pasokan air tidak ada. Kondisi yang demikian ini yang menjadikan Gua Gilap didominasi oleh aliran yang bersifat *diffuse*. Sedangkan mulai awal pertengahan Desember 2006 – April 2007 debit aliran pada Gua Gilap mengalami kenaikan bahkan mengalami beberapa kali kejadian banjir. Kondisi ini disebabkan karena sudah terjadinya hujan pada daerah tangkapan Gua Gilap sehingga pada periode tersebut aliran conduit yang mendominasi adanya debit aliran Gua Gilap



Gambar 6. Variasi Debit Aliran di Gua Gilap selama bulan

Variasi Temporal Aliran Gua Ngreneng

Pada Gua Ngreneng dilakukan pemasangan alat pencatat tinggi muka air dan dilakukan pengukuran debit sebanyak

sepuluh kali dari periode bulan April 2006 sampai dengan Februari 2007 disajikan pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil pengukuran debit aliran Gua Gilap selama satu tahun (April 2006 - Februari 2007)

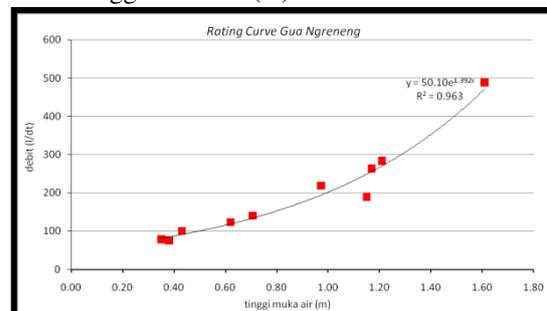
No	Lokasi	Tanggal	Jam	TMA (cm)	Debit (liter/dt)
1	G. Ngreneng	26-Apr-06	15.25	161	488.33
2	G. Ngreneng	22-May-06	16.33	121	283.11
3	G. Ngreneng	20-Jun-06	12.23	117	263.61
4	G. Ngreneng	19-Jul-06	12.14	97.2	219
5	G. Ngreneng	22-Aug-06	12.14	70.6	140.71
6	G. Ngreneng	20-Sep-06	12.14	62	123.57
7	G. Ngreneng	15-Nov-06	12.34	38	75.73
8	G. Ngreneng	20-Dec-06	12.30	43	100.61
9	G. Ngreneng	1-Feb-07	12.30	35	78.95
10	G. Ngreneng	23-Feb-07	9.30	115	189.32

(Pengukuran lapangan 2006 – 2007)

Dari hasil pengukuran tersebut kemudian dibuat kurva hubungan tinggi muka air dan debit (*rating curve*) disajikan pada Gambar 4.7. Hubungan antara tinggi muka air dan debit aliran pada Gua Ngreneng didapat rumus :

$$y = 50.10e^{1.392x}$$

Keterangan: y adalah debit aliran (liter/detik) dan x adalah tinggi muka air (m)



Gambar 7. Hubungan tinggi Muka Air dan Debit di Gua Ngreneng

Hasil pengukuran debit aliran pada Gua Ngreneng terlihat pada Gambar 4.8 mengalami penurunan debit sejak bulan Mei 2006 sampai dengan pertengahan Desember 2006. Pada Gua Ngreneng terjadi beberapa kali kejadian banjir yang dimulai sejak pada pertengahan Desember 2006 sampai dengan bulan April 2007. Dari periode aliran bulan Mei 2006 sampai dengan awal bulan Desember 2006 terindikasi bahwa aliran yang dominan pada Gua Ngreneng merupakan aliran *diffuse*. Sedangkan memasuki periode kejadian banjir aliran yang mendominasi Gua Ngreneng merupakan aliran *conduit*

dari bocoran sungai bawah tanah Bribin maupun dari aliran permukaan yang masuk ke dalam cekungan pada gua tersebut.



Gambar 8. Variasi Debit Aliran di Gua Ngreneng selama bulan Mei 2006 – April 2007

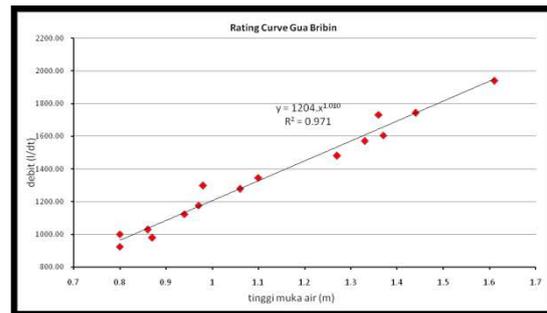
Variasi Temporal Aliran Gua Bribin

Gua Bribin pada penelitian ini dianggap sebagai hulu dari sungai bawah tanah Bribin. Gua Bribin berbentuk gua horisontal dengan lorong fosil sepanjang 33 meter, kemudian terdapat sungai bawah tanah yang ditandai dengan adanya bendungan air. Goa Bribin merupakan gua yang mempunyai aliran sepanjang tahun dan debit aliran yang cukup besar sehingga pada gua ini digunakan untuk pemenuhan kebutuhan air masyarakat sekitar.



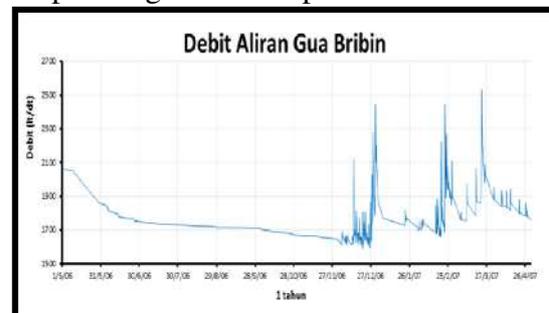
Gambar 9. Kondisi aliran Gua Bribin pada bulan April 2006 (a) *Automatic water Level Recorder* (AWLR) Gua Bribin (b)

Pada Goa Bribin dilakukan pemasangan alat pencatat tinggi muka air untuk mengetahui data *timeseries* debit aliran sepanjang tahun ditunjukkan pada Gambar 9. Sedangkan untuk penghitungan rumus *rating curve* Gua Bribin menggunakan data dari penelitian yang dilakukan oleh Suryanta (2001).



Gambar 10. Hubungan tinggi Muka Air dan Debit di Gua Bribin

Perhitungan rumus yang didapat dari *rating curve* tersebut kemudian digunakan untuk menghitung besarnya debit aliran sepanjang tahun pada Gua Bribin. Variasi debit aliran sepanjang satu tahun pada Gua Bribin menunjukkan bahwa pada periode bulan Juni 2006 sampai dengan Desember 2006 mempunyai aliran dasar (*diffuse flow*) ditandai dengan kurva berbentuk melandai pada yang disajikan gambar 4.11. Dari pengukuran yang sudah dilakukan diketahui debit minimum terjadi pada 4 Desember 2006 sebesar 1.630 liter/detik dan debit puncak terjadi pada 23 Maret 2007 sebesar 2520 liter/detik. Pada Gua Bribin terjadi beberapa kali kejadian banjir yang dimulai sejak awal Desember 2006 sampai dengan bulan April 2007.



Gambar 4.11 Variasi Debit Aliran di Gua Bribin selama bulan Mei 2006 – April 2007

KESIMPULAN

1. Karakteristik hidrokimia pada imbuhan Sungai Bawah Tanah Bribin (Sungai Petung) berbeda dengan lokasi pengamatan yang lainnya, dikarenakan Sungai Petung merupakan sungai permukaan yang terbentuk dari batuan vulkanik tua. Fluktuasi suhu dan pH Sungai Petung yang tidak terlalu jelas antara musim kemarau dan penghujan. Nilai DHL yang kecil sepanjang musim

penghujan dan kemarau mengindikasikan bahwa Sungai Petung didominasi oleh kejadian hujan. Nilai kalsium dan bikarbonat terlarut pada musim kemarau lebih besar daripada musim penghujan.

2. Karakteristik hidrokimia pada hulu Sungai Bawah Tanah Bribin (Gua Gilap) ditandai dengan ciri : mengalami penurunan debit aliran menuju aliran dasar *baseflow* pada musim kemarau sehingga aliran yang dominan pada musim kemarau pada Gua Gilap merupakan *diffuse flow*. Pada saat musim penghujan Gua Gilap mengalami kenaikan debit aliran yang disuplai dari hujan sehingga aliran yang dominan pada musim penghujan merupakan aliran *conduit*. Pada musim kemarau interaksi antara air dan batuan lebih lama sehingga kadar unsur terlarut kalsium dan bikarbonat menjadi lebih besar daripada yang terjadi pada saat musim penghujan. Pada musim kemarau nilai DHL lebih tinggi daripada musim penghujan begitu pula dengan kandungan keasaman yang cenderung kearah basa pada saat musim kemarau.
3. Karakteristik hidrokimia pada bocoran Sungai Bawah Tanah Bribin (Gua Ngreneng) mempunyai ciri yang hampir sama dengan lokasi Gua Gilap. Dimana penurunan debit aliran menuju aliran dasar juga terjadi pada saat musim kemarau, sedangkan pada musim penghujan aliran yang mendominasi merupakan aliran *conduit* yang berasal dari aliran permukaan. Kadar unsur terlarut kalsium dan bikarbonat juga mengalami kenaikan pada saat musim kemarau dan sebaliknya pada musim penghujan kadar unsur terlarut tidak besar.
4. Karakteristik hidrokimia pada hilir Sungai Bawah Tanah Bribin (Gua Bribin) dicirikan dengan penurunan debit aliran ditandai pada saat awal musim kemarau sampai puncak musim kemarau, penurunan debit aliran mengakibatkan pada saat musim

kemarau aliran yang dominan berupa *diffuse flow*. Pada saat musim kemarau kadar unsur kalsium dan bikarbonat terlarut mengalami kenaikan begitu pula dengan nilai DHL, kondisi ini menyimpulkan bahwa pada saat musim kemarau terjadi interaksi antara air dan batuan yang kuat. Pada musim penghujan terjadi kenaikan debit yang dipasok oleh adanya imbuhan dari luar (hujan) sehingga yang mendominasi aliran adalah aliran *conduit*. Variasi suhu dan Ph pada Gua Bribin pada saat musim kemarau pH dan suhu mengalami kenaikan seiring dengan penurunan debit pada saat musim kemarau.

DAFTAR PUSTAKA

- Adjie, T,N, 1997. *Kualitas Air Goa-Goa Karst di Sekitar Cekungan Wonosari* Skripsi S-1, Fakultas Geografi, Universitas Gajah Mada.
- Adji T.N. dan Emilya N., 1999. *Optimasi Airtanah karst Sebagai Pemasok Air Domestik Pada Kawasan Kritis Air di Gunung Kidul*, Laporan Penelitian, Fakultas Geografi UGM
- Appelo, C.A.J. and Postma D. 1993. *Geochemistry, Groundwater and Pollution* A.A. Balkema, Rotterdam, Brokfield.
- Fetter, C. W., 1988, *Applied Hydrogeology*, Macmilan Publishing Company, New York.
- Ford, D.C, P, Williams, 1989, *Karst Geomorphology and Hidrology*, Chapman and Hall, London
- Gillieson, D, 1996, *Caves : Processes, Development, and Management*, Blaxwell, Oxford.
- Haryono,E, Adjie T,N, 2004, *Pengantar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*, Yogyakarta : Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Jankowski, J., 2001. *Hidrogeochemistry*, Short Course Note, School of Geology, University Of New South Wales, Sydney, Australi
- Karimi, G. Raesi, E. *Hydrochemographs of Berghan Karst*

Springs as Indicators of Aquifer Characteristics. Journal of Cave and Karst Studies 59(3): 112-118.

Karmono, 1978, *Pengantar Penentuan Kualitas Air*, Laboratorium Hidrologi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

MacDonald and Partners, 1984, *Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study*, Vol.3 : Groundwater, Departement of Public Work Directorate General of water Resources Development, Groundwater Resources Development Project (PP₂AT), Yogyakarta.

Seyhan, E, 1990, *Foundamental of Hydrology*, John Wiley and Sons, New York.

Soenarto, B., (1997), *Hidrologi Kawasan Karst dan Aspek-Aspek yang Berkaitannya*, Seminar Hidrologi dan

Pengelolaan Kawasan Karst, Yogyakarta : MAKARTI dan Fakultas Geografi UGM.

Todd, D. K., 1980, *Groundwater Hydrology*, 2nd editions.

White, B,W, 1988, *Geomorphology and Hidrology of Karst Terrain*, Oxford Univ. Press, Oxford

White, B,W, *Conceptual models for karstic aquifers*. www.speleogenesis.info

Widyastuti, M, (1991). *Pengaruh Struktur Kekar Terhadap Karakteristik Mataair di Cekungan Wonosari Kabupaten Gunung Kidul*, Skripsi Sarjana, Fakultas Geografi, UGM, Yogyakarta.

Wijayanti,P, 2001, *Kajian Karakteristik Muatan sedimen Tersuspensi dan Terlarut Pada Pemunculan Air di Bentuklahan Karst Gunung Kidul*, Skripsi S-1, Fakultas Geografi, Universitas Gajah Mada