

Pemisahan Aliran Dasar Bagian Hulu Sungai Bribin pada Aliran Gua Gilap, di Kars Gunung Sewu, Gunung Kidul, Yogyakarta

Baseflow Separation of the Bribin River Upstream in Gilap Cave Flowage, Sewu Mountain Karst, Gunung Kidul, Yogyakarta

T. N. Adji

Jurusan Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Sekip Utara, Yogyakarta 55281

Sari

Aliran dasar sungai bawah tanah kars merupakan aliran yang diandalkan untuk mengisi aliran bawah tanah pada musim kemarau. Penelitian ini dilakukan di Gua Gilap yang merupakan bagian hulu daerah tangkapan hujan Bribin yang mempunyai posisi strategis untuk kelangsungan air di Sungai Bribin. Penelitian ini bertujuan untuk memisahkan komponen-komponen aliran di daerah hulu Sungai Bribin, sehingga dapat diketahui persentase komponen aliran dasar selama masa pengukuran. Satu buah *water level data logger* dipasang selama periode antara 1 Mei 2006 sampai 31 Maret 2007 untuk mengetahui variasi tinggi permukaan air (TMA) pada saat musim kemarau, saat kejadian banjir, dan saat musim hujan. Pengukuran debit aliran sebanyak sembilan kali pengukuran yang mewakili kondisi TMA rendah, sedang, dan tinggi dilakukan untuk membuat kurva hubungan antara TMA dan debit aliran. Kemudian, pemisahan aliran dasar dan aliran langsung dilakukan dengan metode *automated baseflow separation by digital filtering*. Nilai *digital filtering* diperoleh dari analisis nilai konstanta resesi pada kejadian-kejadian banjir sepanjang tahun yang kemudian dihubungkan dengan nilai indeks *baseflow* maksimum (*BFImax*) pada akuifer kars. Hasil penelitian selama satu tahun menunjukkan Gua Gilap mengalami 41 kali kejadian banjir, dengan nilai *digital filtering* sebesar 0,996. Kemudian, penghitungan persentase aliran dasar menunjukkan secara umum nilainya mendekati angka sekitar 80%. Sementara itu, persentase aliran dasar yang dipisahkan per kejadian banjir bervariasi dengan kisaran antara 45-75%. Dari angka ini diperoleh gambaran secara umum, aliran yang bersifat lambat masih dominan, sehingga debit andalan selalu terisi, terutama pada musim kemarau.

Kata kunci: pemisahan aliran dasar, hulu Sungai Bribin, *digital filtering*

Abstract

Baseflow of karst underground river is a dependable flow to recharge the underground flow within dry seasons. This research was conducted in Gilap Cave, located in the upper course of Bribin River. This location has a premeditated point for sustainable karst water along the Bribin River. The main objective of this study was to separate the components of Gilap underground river flow, with the intention on defining the proportion of baseflow component during the period of measurements. A water level data logger was installed during the period between 1 May 2006 and 31 March 2007 to determine the variation of water level during the dry season, rainy season, and when the prevalence of flood events. Subsequently, several times of discharge measurements at the time of high, medium, and low water level were carried out to define stage-discharge rating curve. Then, baseflow separation was conducted using automated baseflow separation by a digital filtering method. A digital filter value was obtained from a constant recession analysis of flood events all over the year, correlated with Maximum Baseflow Indices Value (BFImax) within karst aquifers. The result shows that during one year, 41 flood events occurred in the Gilap Cave with digital filtering value of 0.996. In addition, the calculation of baseflow percentage performs that the overall value of the ratio is close to a number of around 80%. Meanwhile, the percentages within flood events vary between the range of 45-75%. From these figures, it generally confirms that flow from small fracture is still dominant to recharge dependable flow within the upper stream of Bribin River, especially in the dry season.

Keywords: *baseflow separation, upstream Bribin River, digital filtering*

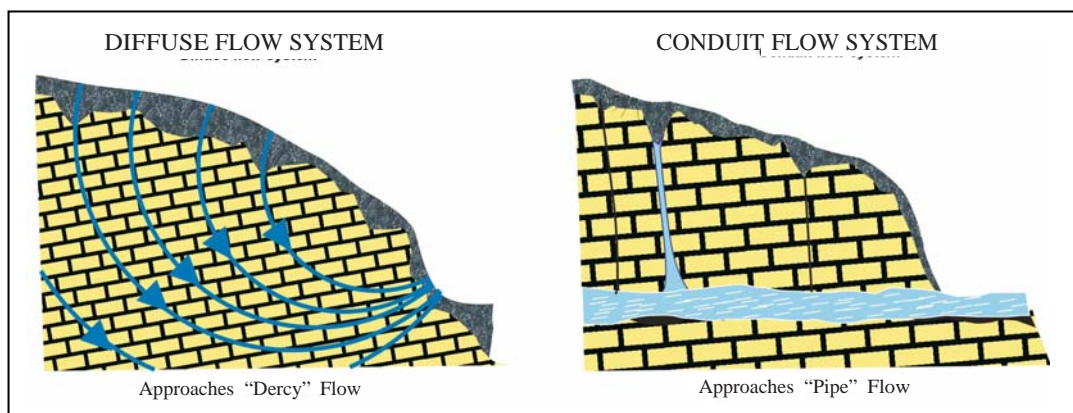
Pendahuluan

Sebagai suatu kawasan yang memiliki permeabilitas batuan sekunder yang besar, konsentrasi air tanah pada akuifer berbatuan kars terletak pada sistem sungai bawah tanah yang merupakan pengatur simpanan pada zone epikars di sekitar permukaan bukit kars. White (1988), Ford dan Williams (1992), Smart dan Hobbes (1986), serta Gillieson (1996) secara prinsip membagi sifat aliran pada akuifer kars menjadi tiga komponen, yaitu: aliran saluran/lorong (*conduit*), celahan (*fissure*), dan rembesan (*diffuse*). Sementara itu, oleh Domenico dan Schwartz (1990) komponen aliran di akuifer kars hanya dibedakan menjadi dua, yaitu komponen aliran rembesan dan saluran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Komponen aliran rembesan adalah komponen aliran pengisi sungai bawah tanah dari akuifer yang mengalir melalui retakan-retakan pada batugamping yang berukuran 10^{-3} - 10 mm (Bonacci, 1990). Aliran ini diimbuh oleh air infiltrasi yang tersimpan pada bukit-bukit kars (Haryono, 2001), dan mengisi sungai bawah tanah kars sebagai tetesan dan rembesan pada ornamen gua. Komponen aliran ini bersifat laminar dan karakterisasinya dapat mengikuti hukum Darcy (White, 1993). Sementara itu, komponen aliran saluran adalah komponen aliran pengisi sungai bawah tanah dari akuifer yang mengalir melalui celahan pada batugamping yang berukuran 102 - 104 mm atau lebih, dan mendominasi sungai bawah tanah, terutama pada saat banjir dan responsnya terhadap hujan hampir menyerupai sungai bawah tanah karena diimbuh oleh aliran permukaan yang masuk ke akuifer kars melalui ponor atau *sinkhole*.

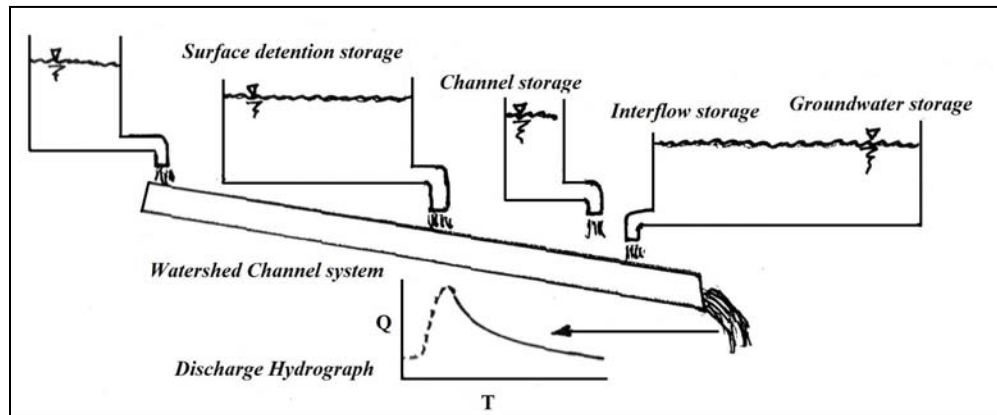
Sifat aliran ini adalah turbulen dan hukum Darcy tidak dapat diterapkan untuk mengkarakterisasinya (Jankowski, 2001). Sementara itu, Bonacci (1990) juga menjelaskan satu lagi tipe aliran, yaitu aliran rembesan (*fissure flow*), yakni komponen aliran pengisi sungai bawah tanah dari akuifer yang mengalir melalui retakan-retakan pada batugamping berukuran antara 10 - 102 mm.

Imbuan yang mempunyai sifat rembesan bergerak secara seragam ke bawah melalui rekahan-rekahan kecil yang tersedia. Komponen aliran inilah yang selanjutnya dikenal sebagai aliran mantap atau aliran dasar (*baseflow*), yang merupakan satu-satunya pemasok air pada sungai bawah tanah di musim kemarau ketika komponen aliran saluran/lorong dan celahan sudah tidak ada lagi.

Dalam kaitannya dengan penelitian ini, seperti yang sudah dijelaskan oleh Domenico dan Schwartz (1990) serta Smart dan Hobbes (1986), jika pada suatu aliran sungai bawah tanah dikenal tiga macam komponen aliran yaitu rembesan, celahan, dan saluran, maka suatu sungai permukaan pun mempunyai tiga komponen aliran utama yang identik, yaitu: (1) aliran dasar yang setara dengan aliran diffuse, (2) aliran antara (*interflow*-setara dengan *fissure*), dan (3) aliran saluran (*channel flow*-setara dengan *conduit*). Konsep ini di antaranya dikenalkan oleh Schulz (1976) yang menganggap akuifer sebagai suatu media penyimpan air, dan setelah kejadian banjir akan berangsur-angsur melepaskan tiga komponen simpanan airnya seiring dengan fungsi waktu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada tulisan ini, untuk lebih memudahkan pemahaman, aliran *diffuse* diterjemahkan sebagai aliran dasar.



Gambar 1. *Diffuse*, *mixed*, dan *conduit* aliran air tanah kars (Domenico dan Schwartz, 1990).



Gambar 2. Pelepasan simpanan air akuifer sebagai komponen aliran (Schulz, 1976).

Latar Belakang Permasalahan dan Tujuan Penelitian

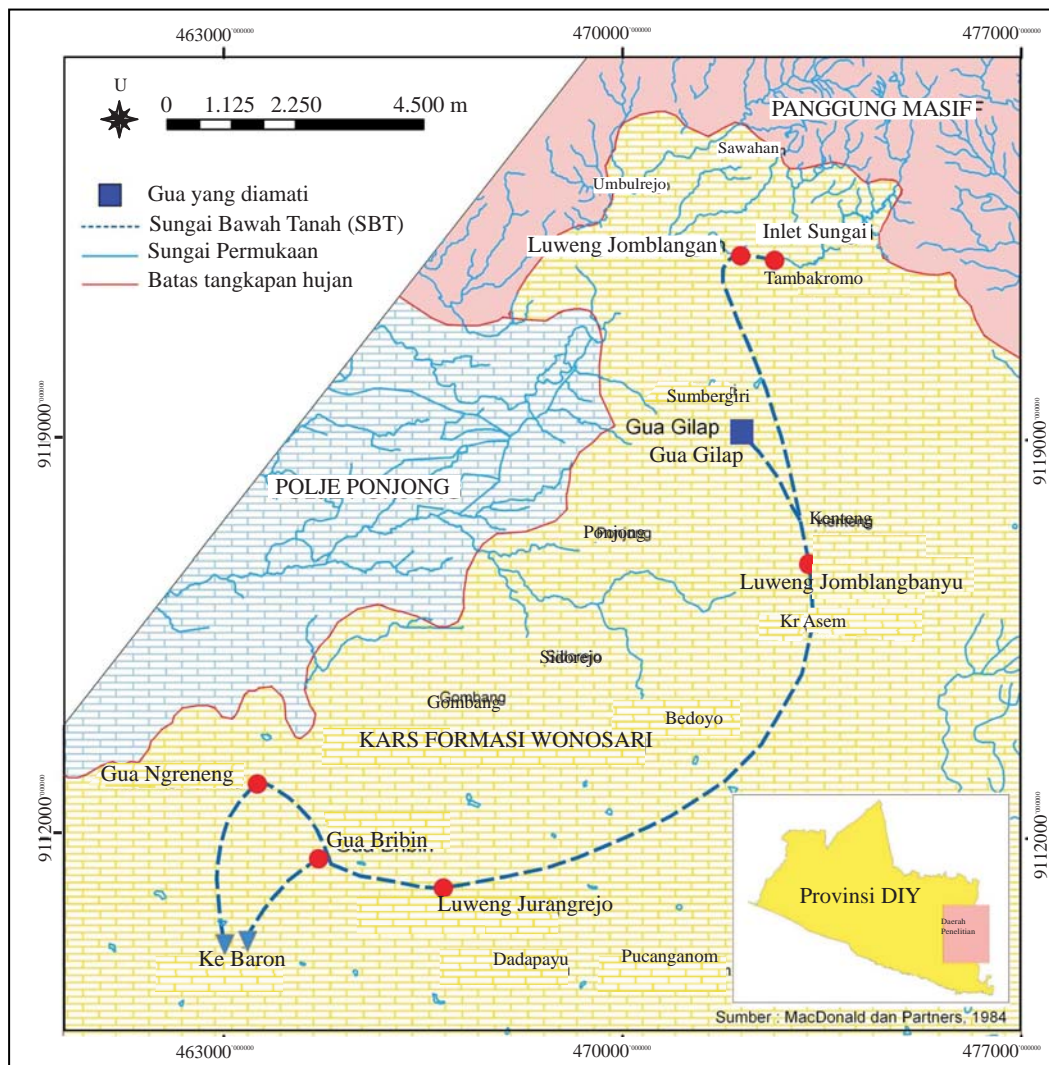
Sejak 2005 hingga 2011 ini, kerja sama antara Pemerintah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Kabupaten Gunung Kidul, BATAN, Kementerian Riset dan Teknologi, *Germany Federal Ministry of Education and Research* (BMBF), dan Universitas Kalsruhe-Jerman sudah hampir menyelesaikan proyek pengeboran dan pembuatan bendung bawah tanah sistem mikrohidro dengan ketinggian 6 m dan luas 15 m² yang terletak sekitar 1 km pada arah hilir bendungan Bribin. Bendungan baru ini diharapkan dapat menghasilkan listrik sebesar 250 sampai 300 KW yang kemudian akan digunakan untuk meningkatkan kapasitas pelayanan kepada masyarakat menjadi dua kali lipat dari sebelumnya (Sinar Harapan, 2004). Melihat uraian tersebut, harapan terhadap kelangsungan aliran sungai bawah tanah Bribin sangat besar, mengingat besarnya investasi yang mencapai 2 trilyun rupiah (Suara Merdeka, 2004). Hanya saja, selama ini belum ditemukan penelitian terkait dengan kondisi aliran di Sungai Bribin serta karakteristik aliran dasarnya sebagai pemasok debit andalan pada saat musim kemarau.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung persentase aliran dasar di Sungai Bribin bagian hulu, yang terletak di Gua Gilap. Pemisahan aliran dasar dilakukan untuk mengetahui persentase komponen aliran permanen minimum yang memasok aliran sungai bawah tanah. Dua jenis aliran dari akuifer kars yang dipisahkan adalah (1) aliran langsung dan aliran antara; dan (2) aliran dasar. Jika persentase

aliran dasar atau aliran permanen (*minimum flow*) sebagai debit andalan sungai bawah tanah dapat diketahui, maka hal ini dapat digunakan sebagai prediksi penyediaan sumber air bersih atau untuk keperluan lain (misal: potensi bendung sistem mikrohidro, dan lain-lain). Selain itu, distribusi temporal aliran dasar dapat juga digunakan untuk menambah pengetahuan tentang sifat dan perkembangan akuifer kars di daerah tangkapan hujan Sungai Bribin.

Iklim dan geologi

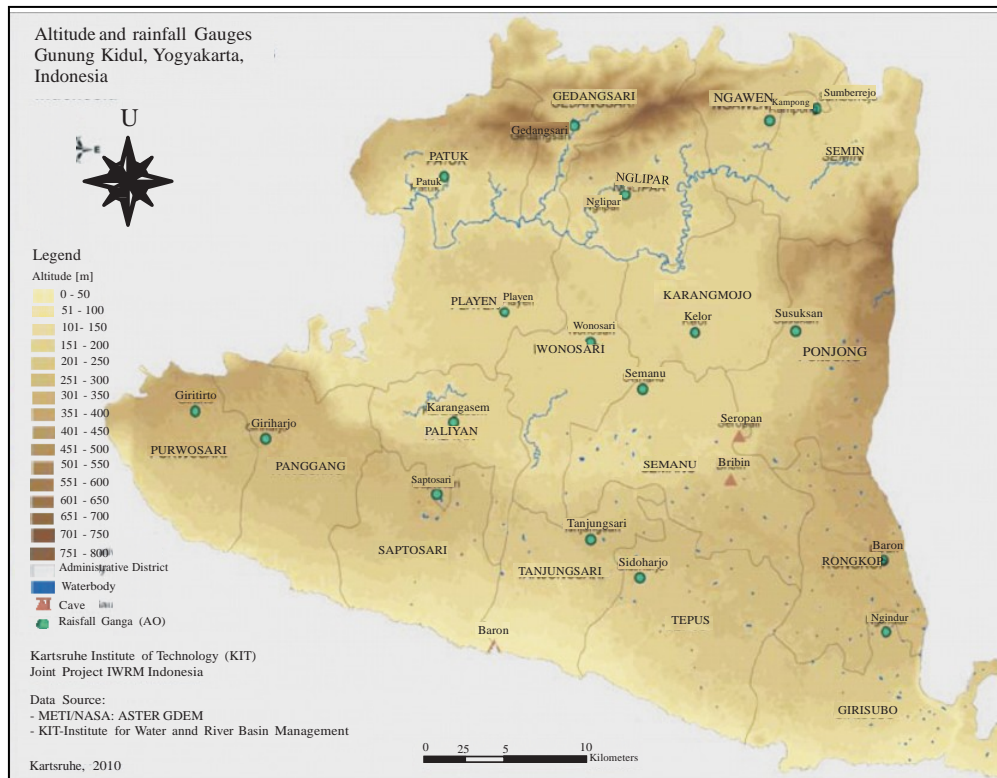
Gua Gilap yang terletak pada daerah hulu sungai bawah tanah Bribin (Gambar 3), pertama kali dipublikasikan oleh MacDonalds dan Partners (1984). Daerah ini terletak di kawasan Kars Gunung Sewu, yang awalnya diperkenalkan oleh Danes (1910) dan Lehmann (1936). Kawasan kars ini dicirikan oleh bukit-bukit berbentuk kerucut (*kegelkars*) sebagai bentukan positif tumpul dan tidak terjal, atau sering diistilahkan sebagai kubah sinusoidal. *Kegelkars* oleh Sweeting (1972) dikategorikan sebagai bagian dari tipe kars tropis. Penelitian terbaru yang berkaitan dengan kondisi curah hujan di Gunung Sewu dilakukan oleh Brunsch dr. (2011), yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan spasial dan waktu dalam kondisi curah hujan. Variasi spasial bergantung pada kedekatannya dengan laut dan elevasi, sedangkan variasi waktu bergantung pada keadaan iklim. Curah hujan jangka panjang mempunyai sedikit penurunan *trend*, dan terjadi



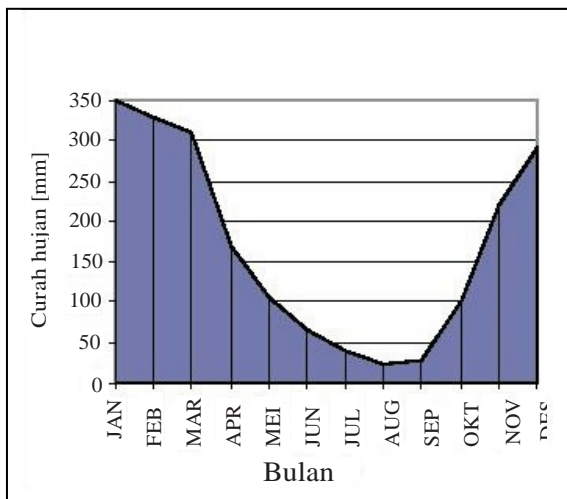
Gambar 3. Kedudukan Gua Gilap pada Sungai Bawah Tanah Bribin.

penurunan curah hujan secara jelas pada tahun 2002 - 2009. Sementara itu, curah hujan tahunan di kawasan Gunung Sewu berkisar antara 2.000 - 2.500 mm/tahun dari data yang diperoleh pada tujuh belas stasiun pengukur hujan (Gambar 4) pada periode 1952 - 2009. Curah hujan bulanan naik pada bulan Desember-Februari, selain terjadi penurunan di sebagian besar bulan-bulan lainnya. Sementara itu, curah hujan bulanan minimum terjadi pada bulan-bulan Juli, Agustus, dan September (Gambar 5). Penelitian singkat yang dilakukan oleh Adji (2010) menunjukkan kelembaban udara pada daerah tangkapan air Sungai Bribin berkisar antara 60 - 90% dengan temperatur bervariasi antara 24 - 28 °C.

Secara geologis, daerah penelitian didominasi oleh batugamping berumur Miosen, yaitu Formasi Wonosari yang terdiri atas batugamping terumbu karang masif di sebelah selatan dan batukapur berlapis di utara (Balazs, 1968; Bemmelen, 1970; Waltham dr., 1983; Suroño dr., 1992). Secara litologis, variasi pada batugamping terumbu sangatlah banyak, tetapi di daerah Gunung Sewu didominasi oleh *rudstones*, *packstones*, dan *framestones*. Breksi dengan matriks tanah liat yang tidak biasa, struktur biohermal, dan lensa abu vulkanis dijumpai berseling di antara batuan karbonat (Waltham dr., 1983). Perlapisan *chalky limestone* lebih menonjol ke arah utara dan timur laut, dan mendominasi da-



Gambar 4. Distribusi elevasi dan sebaran stasiun hujan di Kabupaten Gunung Kidul (Brunsch dr., 2011).



Gambar 5. Distribusi rata-rata curah bulanan di Gunung Kidul pada periode tahun 1952 - 2009 (Brunsch dr., 2011).

taran tinggi Wonosari. Peta geologi daerah Gunung Sewu disajikan pada Gambar 6.

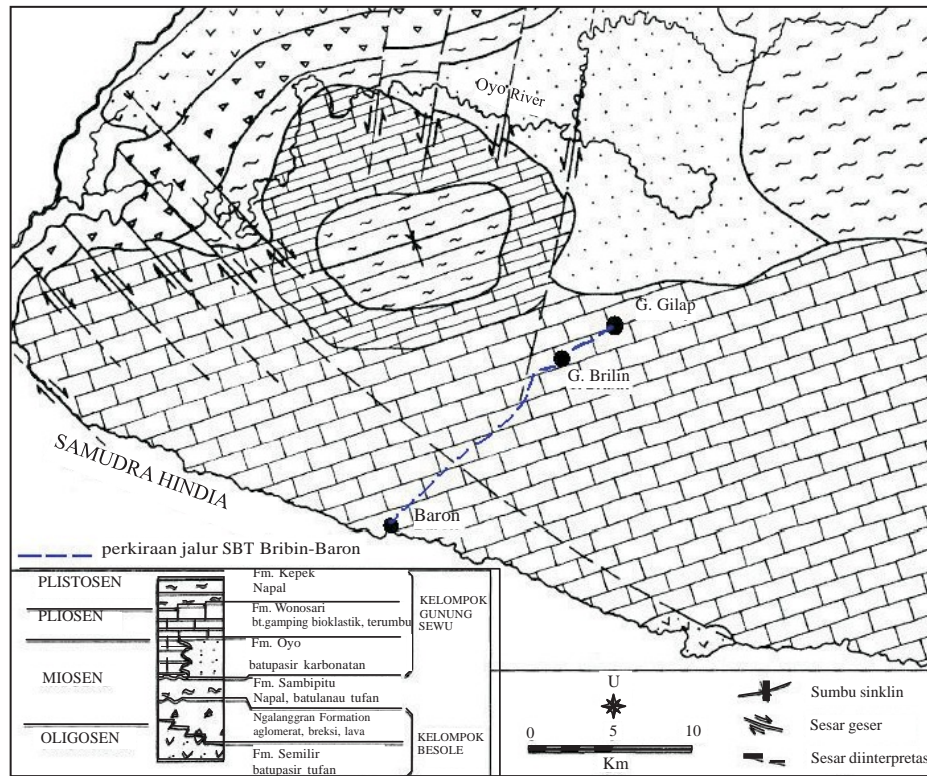
Menurut Kusumayudha (2005), secara hidrogeologi di daerah kars Gunung Sewu terdapat

beberapa daerah aliran sungai bawah tanah dengan sungai utama adalah Kali Baron (bermuara ke Samudra Hindia) yang berada di selatan Cekungan Wonosari, dengan arah umum aliran utara-selatan. Kali Baron ini mempunyai anak-anak sungai terbesar berturut-turut dari timur yaitu Kali Bribin, Suci, Serpeng, dan Kali Tegoan. Dari data pengukuran debit sesaat selama beberapa tahun, terdapat perbedaan fluktuasi debit aliran tahunan pada beberapa

karena adanya perbedaan sifat pelepasan komponen aliran oleh akuifer kars baik yang sifatnya rembesan, celahan, maupun saluran.

Metode Penelitian

Satu buah alat pencatat TMA otomatis (*water level data logger*) dipasang selama periode 1 tahun, yaitu dari 1 Mei 2006 sampai 30 April 2007 dengan interval pencatatan 30 menit. Selanjutnya, pengukuran debit aliran pada periode debit kecil, rata-rata, dan puncak dilakukan sesaat selama



Gambar 6. Peta geologi daerah Karst Gunung Sewu (Kusumayudha dr., 2000).

sembilan kali pengukuran untuk membuat kurva hubungan debit dan tinggi permukaan air, sehingga diperoleh variasi debit selama masa pengukuran 1 tahun. Analisis regresi antara pasangan data TMA dan debit terukur dilakukan untuk membuat *Stage Discharge Rating Curve*. Cara yang dipakai adalah cara sederhana berupa regresi linier dengan jumlah percontoh kecil (Schulz, 1976), sehingga diperoleh rumus hubungan antara TMA dan debit. Kemudian, konstanta resesi pada beberapa kejadian banjir dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q(t) = Q(t_0)e^{-k(t-t_0)} \dots\dots\dots(1)$$

Pada persamaan (1), Q adalah debit aliran, k adalah konstanta resesi pada suatu sistem akuifer, t adalah waktu pada debit ke t, dan t₀ adalah waktu pada debit awal resesi (Schulz, 1976). Kemudian jika pada skala semilog rumus ini dianggap linier, maka:

$$\ln Q(t) = -k(t-t_0) + \ln Q(t_0) \dots\dots\dots(2)$$

atau

$$k = -1/t-t_0 \ln (Q_i/Q_0) \dots\dots\dots(3)$$

Menurut Schulz (1976), pemisahan aliran dasar adalah suatu metode untuk memisahkan komponen aliran pada suatu sungai menjadi komponen aliran dasar dan komponen aliran langsung. Analisis pemisahan aliran dasar (*baseflow separation*) dan penghitungan aliran langsung sepanjang tahun dilakukan dengan menggunakan cara *automated base flow separation by digital filtering* (Eckhardt, 2005), yaitu mencari nilai *digital filtering* atas dasar nilai konstanta resesi aliran dasar pada kejadian hidrograf sepanjang tahun yang kemudian dihubungkan dengan nilai indeks aliran dasar maksimum (BFI_{max}) di akuifer kars dengan rumus sebagai berikut:

$$q_{b(i)} = \frac{(1 - BFI_{max})aq_{b(i-1)} - (1 - BFI_{max})BFI_{max}q_i}{1 - aBFI_{max}} \dots\dots\dots(4)$$

Pada rumus (4), $q_{b(i)}$ adalah aliran dasar pada saat i, $q_{b(i-1)}$ adalah aliran dasar pada waktu sebelumnya i-1, q_i adalah total aliran pada waktu i, a adalah konstanta resesi dan BFI_{max} adalah *baseflow* maksimum yang dapat diukur atau diketahui. Sementara itu, nilai BFI_{max} yang dipergunakan adalah 0,8 karena

sifat akuifer kars yang porus dan sifat alirannya menahun (Eckhardt, 2005).

Hasil dan Pembahasan

Pengukuran debit aliran di dekat alat pencatat tinggi permukaan air sepanjang tahun dilakukan pada saat-saat tertentu, sehingga mewakili pelbagai kondisi tinggi permukaan air, untuk pembuatan grafik hubungan antara tinggi permukaan air dan debit. Pengukuran debit dilakukan sebanyak sembilan kali yang hasilnya secara terperinci ditunjukkan pada Tabel 1.

Selanjutnya, setelah dilakukan sembilan kali pengukuran debit dan tinggi permukaan air, analisis

Tabel 1. Pengukuran Debit Aliran Gua Gilap pada Berbagai Kondisi Tinggi Permukaan Air

Tanggal pengukuran	Tinggi Permukaan air (m)	Debit aliran (lt/dt)
28/04/06	1,32	294,10
23/05/06	0,72	44,52
21/06/06	0,57	35,24
19/07/06	0,34	25,23
24/08/06	0,16	17,26
21/09/06	0,09	8,91
16/11/06	0,08	6,93
21/12/06	0,15	12,99
22/03/07	0,99	122,51

Sumber: Pengukuran lapangan pada periode 2006 - 2007

regresi dilakukan untuk memperoleh rumus kurva aliran (*stage discharge rating curve*) seperti yang disajikan pada Gambar 7. Dengan rumus kurva aliran ini, maka debit aliran sepanjang tahun dapat diketahui dengan hanya melihat tinggi permukaan airnya saja. Rumus *rating curve* yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

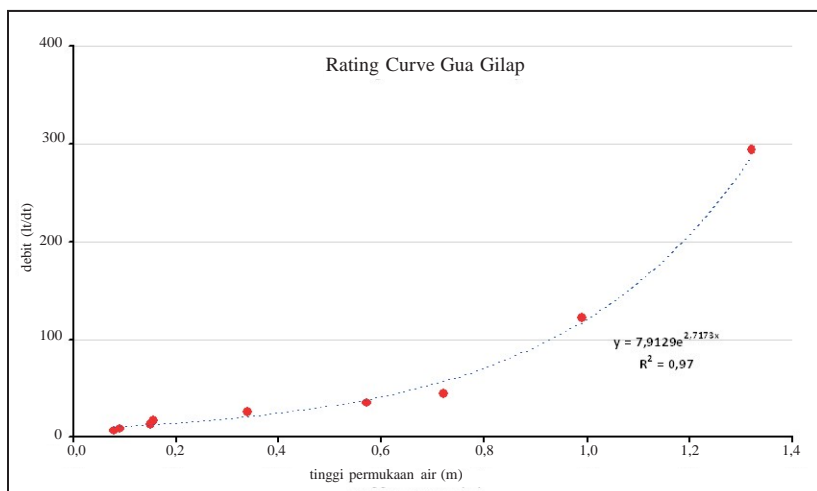
$$y = 107.44x^{1.1041} \dots\dots\dots (5)$$

Pada rumus (5), y adalah debit aliran (lt/dt) dan x adalah tinggi permukaan air (m).

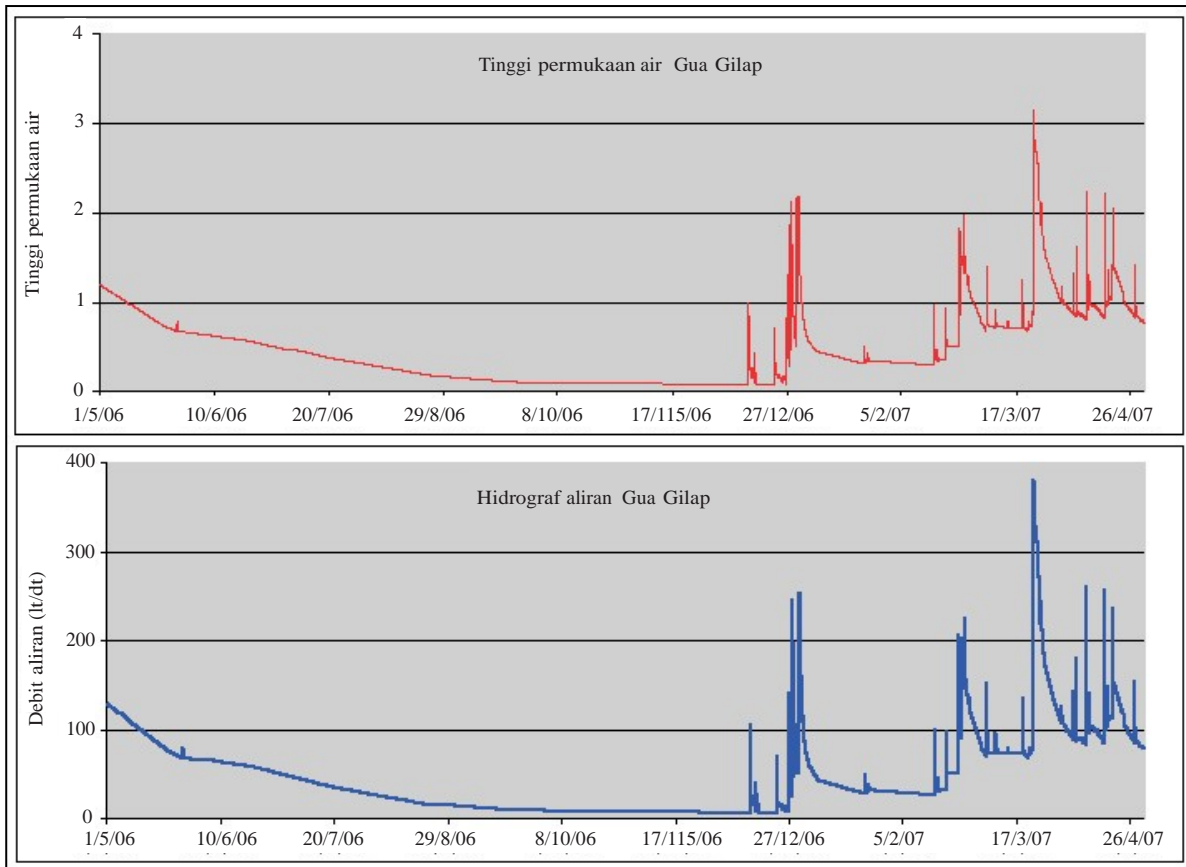
Kemudian, rumus ini digunakan untuk menggambarkan hidrograf aliran yang berisi fluktuasi debit aliran sepanjang tahun dengan interval waktu pencatatan TMA tiap 30 menit sekali. Hasil penghitungan sepanjang tahun disajikan pada Gambar 8.

Setelah diperoleh hidrograf aliran selama 1 tahun, kemudian dihitung jumlah kejadian banjir total selama satu tahun pada periode 1 Mei 2006 sampai 30 April 2007. Hasil penghitungan menunjukkan adanya 41 kejadian banjir, yang kemudian terpilih 16 kejadian banjir dengan debit yang cukup dan waktu resesi yang cukup panjang sesuai syarat oleh Schulz (1976) untuk dihitung nilai konstanta resesinya (*Kr baseflow*). Data penghitungan konstanta resesi disajikan pada Tabel 2. Dari tabel tersebut diperoleh nilai rata-rata konstanta resesi sebesar 0,996.

Secara umum, Nathan dan McMahon (1990) menjelaskan bahwa kisaran nilai konstanta resesi



Gambar 7. Hubungan debit-TMA (*rating curve*) di Gua Gilap.



Gambar 8. Fluktuasi tinggi muka air dan hidrograf aliran selama periode antara 1 Mei 2006 s.d. 31 Maret 2007 di Gua Gilap.

Tabel 2. Konstanta Resesi Hidrograf Banjir terpilih di Gua Gilap

No	Waktu Debit Puncak	Debit puncak (lt/dt)	Kr Baseflow (K_p)
1	13/12/06 19.00	99,5	0,992
2	22/12/06 15.30	72,7	0,998
3	31/12/06 06.30	254,3	0,978
4	16/02/07 16.30	101,2	0,993
5	24/02/07 19.00	208,0	0,998
6	26/02/07 18.00	227,4	0,941
7	06/03/07 21.00	153,4	0,999
8	09/03/07 19.00	96,7	0,999
9	14/03/07 02.00	81,1	0,999
10	19/03/07 00.00	137,3	0,998
11	21/03/07 08.00	100,5	0,999
12	23/03/07 08.00	381,4	0,997
13	07/04/07 01.30	182,6	0,999
14	10/04/07 18.00	261,6	0,997
15	11/04/07 15.00	142,7	0,999
16	16/04/07 23.30	258,4	0,991

Sumber: Pengukuran lapangan dan analisis data pada periode 2006 - 2007

untuk aliran dasar (Kb) berkisar antara 0,93 - 0,995. Dari hasil penghitungan yang disajikan pada Tabel 2 diketahui bahwa nilai julat konstanta resesi aliran dasar (Kb) menunjukkan variasi julat antara 0,94-0,99 dengan nilai rata-rata sebesar 0,996. Kemudian, setelah dipisahkan antara komponen aliran dasar dan debit totalnya, maka hasilnya adalah seperti yang disajikan pada Gambar 9.

Dari penghitungan rasio total aliran dasar bulanan terhadap total aliran (Tabel 3), tampak bahwa secara umum persentase aliran dasar mendekati angka sekitar 80%. Hal ini wajar mengingat sifat pelepasan aliran akuifer kars yang menahun dan karakteristik batugamping yang mempunyai porositas tinggi. Jika melihat data persentase aliran dasar bulanan ini, dapat disimpulkan bahwa kecenderungan karakteristik aliran di Gua Gilap didominasi oleh aliran dasar. Selanjutnya, jika dibedakan antara musim penghujan dan kemarau, terlihat perbedaan mengecilnya dominasi aliran dasar yang diakibatkan oleh adanya kejadian banjir yang memicu pelepasan komponen aliran saluran menuju sungai bawah tanah. Selain itu, jika kita mencermati karakteristik temporalnya, tampak bahwa semakin menuju ke puncak musim kemarau, dominasi aliran dasar semakin besar karena berkurangnya aliran saluran dan celahan yang dilepaskan oleh akuifer kars di sekitar Gua Gilap.

Sementara itu, rasio aliran dasar dibagi total aliran (persentase aliran dasar) pada musim penghujan pada bulan-bulan tertentu menunjukkan persentase yang lebih kecil dibandingkan pada musim kemarau, dan mempunyai kecenderungan membesar seiring

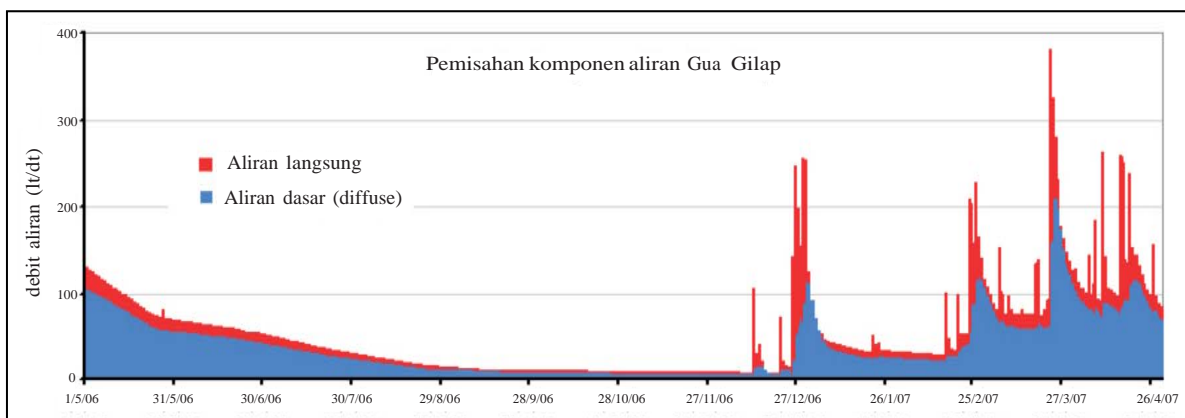
Tabel 3. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran setiap bulan di Gua Gilap

No	Bulan	Aliran dasar (%)	Jenis musim
1	Mei 2006	80,41	kemarau
2	Juni 2006	80,47	kemarau
3	Juli 2006	80,93	kemarau
4	Agustus 2006	81,66	kemarau
5	September 2006	81,77	kemarau
6	Oktober 2006	82,09	kemarau
7	November 2006	82,36	kemarau
8	Desember 2007	80,11	hujan
9	Januari 2007	84,86	hujan
10	Februari 2007	77,49	hujan
11	Maret 2007	82,94	hujan
12	April 2007	82,85	hujan

Sumber: Hasil analisis data pada periode 2006-2007

dengan berakhirnya musim hujan (Maret - April 2007). Sebagai contoh, persentase pada bulan Februari 2007 menunjukkan angka 77,49% yang berarti total alirannya terpengaruh kontribusi dari aliran saluran. Persentase aliran dasar yang disajikan pada Tabel 3 merupakan generalisasi rata-rata bulanan, sehingga tidak menunjukkan persentase per kejadian hujan atau banjir. Selanjutnya, persentase aliran dasar dan total aliran tiap kejadian banjir terpilih di Gua Gilap disajikan pada Tabel 4.

Persentase komponen aliran dasar pada saat banjir terhadap total aliran Gua Gilap sangat berbeda dengan persentase bulanannya. Pada awal sampai tengah musim hujan, kisaran persentase selalu di



Gambar 9. Fluktuasi aliran dasar selama periode antara 1 Mei 2006 s.d. 31 Maret 2007 di Gua Gilap.

Tabel 4. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran pada Kejadian Banjir terpilih Gua Gilap

No	Waktu banjir	Debit puncak (lt/dt)	Aliran dasar (%)	Periode hujan
1	13/12/06	99,5	45,08	Awal
2	22/12/06	72,7	55,52	Awal
3	31/12/06	254,3	57,75	Awal
4	16/2/07	101,2	57,25	Tengah
5	24/2/07	208,0	51,25	Tengah
6	26/2/07	227,4	58,55	Tengah
7	6/3/07	153,4	79,91	Akhir
8	9/3/07	96,7	78,18	Akhir
9	14/3/07	81,1	78,92	Akhir
10	19/3/07	137,3	72,75	Akhir
11	21/3/07	100,5	77,20	Akhir
12	23/3/07	381,4	50,88	Akhir
13	7/4/07	182,6	70,33	Akhir
14	10/4/07	261,6	62,94	Akhir
15	11/4/07	142,7	76,30	Akhir
16	16/4/07	258,4	73,80	Akhir

Sumber: Hasil analisis data pada periode 2006 - 2007

bawah angka 60 % yaitu berkisar antara 45 - 58 %, bahkan pada kejadian banjir pertama kali (13 Desember 2006) menunjukkan angka yang kecil, yaitu 45,08 %. Hal ini mengindikasikan bahwa akuifer kars belum menambah pasokan komponen aliran dasar menuju sungai, sementara pasokan aliran saluran dari permukaan kars menjadi dominan saat kejadian banjir. Dari waktu ke waktu kecenderungan persentase aliran dasar mengalami peningkatan, kecuali pada kejadian banjir yang sangat besar (23 Maret dan 10 April 2007). Hal ini terjadi karena naiknya pasokan aliran saluran dari air hujan yang langsung mengisi sungai bawah tanah, sehingga persentase aliran dasar mengalami penurunan. Selanjutnya, semakin mendekati akhir musim hujan, persentase aliran dasar akan kembali mendekati kisaran 80%. Dari kenyataan yang telah disebutkan, tampak bahwa akuifer di Gua Gilap telah berkembang menuju retakan yang berukuran besar (*conduit*), yang dibuktikan dengan menurunnya persentase aliran dasar saat kejadian banjir. Meskipun demikian, secara umum mayoritasnya masih didominasi dengan retakan yang ukurannya menengah (*fracture*) dan kecil (*diffuse*). Hal ini ditunjukkan dengan dominasi aliran dasar sebesar sekitar 80% pada saat musim hujan nonbanjir dan pada saat musim kemarau, ketika Gua Gilap tidak pernah kering.

KeSimPulan

Secara umum, persentase aliran dasar bulanan di Gua Gilap menunjukkan pola meningkat secara perlahan-lahan ketika menuju puncak musim kemarau, kemudian berfluktuasi pada saat musim hujan dengan kecenderungan persentase aliran dasar yang lebih kecil dibanding pada saat musim kemarau karena pengaruh meningkatnya kontribusi aliran saluran. Sementara itu, persentase pada bulan kemarau cenderung tidak mengalami fluktuasi yang berarti, dan semakin meningkat seiring berkurangnya komponen aliran saluran dan celah menuju ke puncak musim kemarau. Selain itu, dari kisaran nilai aliran dasar sebesar 80%, maka dapat diperoleh gambaran secara umum, aliran yang bersifat lambat (*diffuse*) masih dominan, sehingga debit andalan selalu terisi, terutama pada musim kemarau.

Pengamatan yang dilakukan di Gua Gilap selama satu tahun diharapkan dapat memberikan sumbangan mengenai karakteristik ketersediaan aliran andalan di Gua Gilap. Selain itu, informasi mengenai ketersediaan aliran andalan ini dapat bermanfaat bagi pemenuhan sumber daya air di sekitar Gua Gilap, atau bagi kepentingan lain, seperti pembangunan bendung sistem mikrohidro, meskipun masih me-

merlukan penelitian lanjutan untuk kelayakannya. Dalam jangka panjang, perlu untuk terus dilakukan pengamatan terkait dengan fluktuasi debit aliran dan persentase aliran dasar, karena kemungkinan terjadinya perubahan atau penurunan persentase aliran dasar di Gua Gilap. Penurunan persentase aliran dasar dapat disebabkan oleh faktor eksternal, seperti berkurangnya lapisan epikars di permukaan karena aktivitas penambangan, atau oleh sebab lain.

Ucapan Terima Kasih - Penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam sepenuhnya kepada Prof. Sudarmadji, Prof. Suratman, dan Dr. Heru Hendrayana atas dukungan mereka dari awal sampai finalisasi penelitian ini. Penulis juga menghaturkan terima kasih dan penghargaan kepada Bagus Yulianto, Badi Hariadi, Lili Ismangil, Dr. Eko Haryono, Zaenuri, Ari Purwanto, dan Acintyacunyata Speleological Club (ASC) beserta para anggotanya untuk bantuan mereka selama melakukan pengambilan data di lapangan.

Referensi

- Adji, T.N., 2010. *Variasi Spasial-Temporal Hidrogeokimia dan Sifat Aliran Untuk Karakterisasi Sistem Kars Dinamis di Sungai Bawah Tanah Bribin, Kabupaten Gunung Kidul, DIY*. Disertasi tidak dipublikasikan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Balazs, D., 1968. *Kars Regions in Indonesia: Karszt-Es Barlangutatas*, V. Budapest, Globus nyomda, 61h.
- Bemmelen, R.W. van, 1970. *The Geology of Indonesia*. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. Government Printing Office, The Hague.
- Bonacci, O., 1990. Regionalization in kars regions. *Proceedings of the Ljubljana Symposium*, IAHS Publ. no. 191, 1990.
- Brunsch., A., Adji, T.N., Stoffel, D., Ikhwan, M., Oberle, P., dan Nestmann F., 2011. Hydrological Assessment of a Kars Area in Southern Java with Respect to Climate Phenomena. *Proceedings of Asian Trans-Disciplinary Kars Conference*, Jogjakarta.
- Danes, J.V., 1910. Die Karsphanomene in Goenoeng Sewoe auf Java. *Tijdschrift van het koninklijke Nederlands Aardrijkskundige Genootschap*, 2(XXVII), h.247-260.
- Domenico, P.A. dan Schwartz, F.W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. 2nd Ed. John Wiley & Sons.
- Eckhardt, K., 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, 19, h.507-515.
- Ford, D. dan Williams, P., 1992. *Kars Geomorphology and Hydrology*. Chapman and Hall, London.
- Gillieson, D., 1996. *Caves: Processes, Development, and Management*. Blackwell, Oxford.
- Haryono, E., 2001. Nilai Hidrologis Bukit Kars. *Prosiding Seminar Nasional Eko-Hidrolik*, 28-29 Maret 2001, Jurusan Teknik Sipil, UGM.
- Jankowski, J., 2001. Groundwater Environment. *Short Course Note*, School of Geology, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Kusumayudha, S.B., 2005. *Hidrogeologi Kars dan Geometri Fraktal di Daerah Gunungsewu*. Adicita Karya Nusa, Yogyakarta.
- Kusumayudha, S.B., Zen, M.T., Notosiswoyo, S., dan Gautama, R.S., 2000. Fractal Analysis of the Oyo River, Cave Systems, and Topography of the Gunungsewu Kars Area, Central Java, Indonesia. *Hydrogeology Journal*, 8, h.271-278.
- Lehmann, H., 1936. Morfologische Studien auf Java. *Gohr, Abhandlungen*, 3, Stuttgart.
- MacDonalds dan Partners. 1984. Greater Yogyakarta - Groundwater Resources Study. 3C: Cave Survey, Yogyakarta. *Directorate General of Water Resources Development Project (P2AT)*.
- Nathan, R.J. dan McMahon, T.A., 1990. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. *Water Resources Research*, 26(7), h.1465-1473.
- Schulz, E.F., 1976. *Problems in Applied Hydrology*. Water Resources Publication, Colorado.
- Sinar Harapan, 2004. *Mesin Bor Pembangunan Bendung Gua Bribin Tiba*. 18 Juni 2004. <http://www.sinarharapan.co.id/berita/0406/17/nus04.html>.
- Smart, P.L. dan Hobbes, S.L., 1986. Characteristics of Carbonate Aquifers: A conceptual basis. *Proceedings of Environmental Problem in Karst Terrains and Their Solution*, Bowling Green, KY: National Well Water Association, h.1-4.
- Suara Merdeka, 2004. *Warga Gunungkidul Bakal Nikmati Air Bersih*, 21 Juni 2004. <http://www.suaramerdeka.com/harian/0406/21/ked08.htm>.
- Surono, Toha, B., Sudarno, I., dan Wiryosujono, S., 1992. *Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sweeting, M.M., 1972. *Kars Landforms*. Macmillan, London.
- Waltham, A.C., Smart, P.L., Friederich, H., Eavis, A.J., dan Atkinson, T.C., 1983. The caves of Gunung Sewu, Java. *Cave Science*, 10(2), h.55-96.
- White, W.B., 1988. *Geomorphology and Hydrology of Kars Terrain*. Oxford University Press, New York.
- White, W.B., 1993. Analysis of Kars Aquifer. In: Alley, W.M. (ed.), *Regional Groundwater Quality*. Van Nostrand Reinhold, New York.