Variasi Temporal Kontribusi Aliran Dasar pada Mataair Epikarst di Kawasan Karst Gunungsewu, Indonesia

Muhammad Naufal^{1,2}, Margaretha Widyastuti^{1,2}, Ahmad Cahyadi^{1,2}, Fajri Ramadhan², Indra Agus Riyanto³, Khansa Sitostratufana Arsy An nisa², Tjahyo Nugroho Adji^{1,2}*

¹Karst Research Group, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

²Environmental Geography Department, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

³Program on Planning and Management of Coastal Area and Watershed, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

*naufalmuhammad@mail.ugm.ac.id

Abstract. Aliran yang bergerak secara perlahan (infiltrasi) yang selanjutnya dikenal dengan aliran mantap atau aliran dasar (baseflow) merupakan satu-satunya pemasok air pada aliran bawah tanah pada bentuklahan karst ketika musim kemarau. kontribusi karakter aliran ini tentunya sangat berperan besar dalam mendukung penyediaan air bersih. Pemahaman terkait dengan karakteristik aliran dasar secara detail memiliki urgensi yang sangat tinggi untuk dikaji. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis temporal kontribusi aliran dasar pada mataair epikarst di Kawasan Karst Gunungsewu, Indonesia. Lokasi studi adalah Mataair Guntur yang menempati Sub-sistem Panggang. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data aliran dari Mataair Guntur selama satu tahun. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah automated base flow separation by digital filtering. Hasil analisis menunjukkan bahwa kontribusi aliran dasar di Mataair Guntur adalah antara 79,57% sampai dengan 93,96%.

Introduction

Karst merupakan sebuah istilah internasional (Fatchurohman, dkk, 2017) yang digunakan untuk mendeskripsikan sebuah bentuklahan yang spesial (Ford dan Williams, 2007) berupa morfologi yang unik (Milanovic, 2015) dan karakteristik hidrologi yang unik pula (Cahyadi, 2014). Keberadaan lingkungan karst yang unik terbentuk karena kontrol batuan yang bersifat mudah larut oleh air (Beynen, 2011), seperti batuan karbonat, evaporit dan juga kuarsit. Bentuklahan karst juga sangat identik dengan keberadaan gua dan sistem hidrogeologi bawah tanahnya.

Keberadaan bentuklahan karst berdampak positif terhadap potensi sumberdaya yang dimiliki, diantaranya yaitu sumberdaya mineral, (Adji, dkk, 1999) sumberdaya wisata, dan juga sumberdaya air. Mengerucut pada ketersediaan sumberdaya air di karst, diketahui bahwa kebutuhan air penduduk dunia kurang lebih mencapai 20-25% bersumber dari air yang berasal dari karst (Ford dan Williams, 2007). Dengan demikian, kontribusi karakter aliran air pada bentuklahan karst tentunya sangat berperan besar dalam mendukung kehidupan masyarakat disekitarnya.

Tipe aliran di akuifer terdiri dari aliran rembesan (*diffuse*), sistem aliran rekahan (*fissure*), dan sistem aliran lorong (*conduit*) ((White, 1969; Atkinson, 1977; Atkinson, 1985). Aliran *diffuse* merupakan komponen aliran yang mengisi sungai bawah tanah yang mengalir melalui rongga antar butir batuan. Komponen aliran ini diimbuh dari air hujan yang telah terinfiltrasi. Sementara itu, aliran *fissure*

merupakan komponen aliran yang mengisi sungai bawah tanah dan alirannya berasal dari celah bebatuan karbonat yang berukuran 102-104 mm. Aliran ini bersifat turbulen, terutama ketika terjadi banjir. Adapun aliran conduit merupakan aliran yang mengisi sungai bawah tanah, dengan asal aliran yaitu melalui lorong pelarutan dengan ukuran yang besar.

Berdasarkan definisi dari ketiga komponen aliran tersebut, maka aliran yang melewati rongga antar butir batuan yang bergerak secara perlahan selanjutnya dikenal dengan aliran diffuse. Komponen aliran ini merupakan pemasok air yang dominan pada aliran sungai bawah tanah pada bentuklahan karst ketika musim kemarau. Dengan demikian dapat diketahui, bahwa komponen aliran ini selalu ada di musim kemarau maupun di musim penghujan, meskipun besarnya fluktuatif.

Secara umum Karst Gunung Sewu merupakan representasi karst yang berkembang di lingkungan tropis (Adji dkk., 1999). Luasnya mencapai 3.300 km² yang meliputi Propinsi DIY (sebagian Kabupaten Gunungkidul), Jawa Tengah (sebagian Kabupaten Wonogiri), dan Propinsi Jawa Timur (Sebagian Kabupaten Pacitan) (Gambar 1.) (Haryono, 2011; Haryono, Day, 2004). Dominasi penggunaan lahan Karst Gunung Sewu berupa tegalan (31.56%), dan selebihnya merupakan penggunaan lahan lainnya (Wijayanti, dkk, 2017). Lokasi penelitian dipilih pada Mataair Guntur yang termasuk dalam bagian Karst Gunung Sewu bagian barat (Sub-sitem hidrogeologi Panggang). Adapun secara administratif Mataair Guntur masuk dalam Desa Girijati, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta, Indonesia. Luasan daerah tangkapan Mataair Guntur sebesar 30.7 Ha (Widyastuti et al., 2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi temporal aliran diffuse pada Mataair Guntur yang merupakan mataair epikarst di kawasan karst Gunungsewu. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran terkait dengan karakter aliran diffuse pada mataair epikarst khususnya di kawasan karst tropis.

Fig 1. Research location, Guntur Spring as part Gunung Sewu Karst area

Methodology

Penelitian yang dilakukan merupakan experimental research, yakni menghimpun data yang sangat banyak (temporal) untuk selanjutnya dianalisis dan dielaborasi dengan teori yang ada hingga mengerucut pada suatu hipotesis tertentu. Adapun data utama yang dihimpun dalam penelitian ini berupa data tinggi muka air yang dicatat melalui water level data logger dan selanjutnya dikonversikan menjadi

debit aliran dengan rating curve. Data tinggi muka air dihimpun selama 1 tahun yang dimulai bulan April 2018 hingga bulan Maret 2019.

Pengukuran untuk merepresentasikan periode debit kecil, menengah dan puncak dilakukan melalui pengukuran langsung di lapangan (pengukuran sesaat) selama 29 kali sebagai dasar pembuatan kurva hubungan debit dan tinggi muka air (rating curve). Dengan demikian, diketahui tingkat hubungan antara tinggi muka air dengan debit aliran yang dapat dilihat pada besarnya nilai R dari hasil korelasi pada kurva, dan juga didapatkan rumus persamaan hubungan antara tinggi muka air dengan debit.

Pemisahan aliran dasar selanjutnya dapat dilakukan berdasarkan hidrograf aliran yang sebelumnya telah terbentuk. Adapun menurut Schulz (1976) menyatakan bahwa pemisahan aliran dasar merupakan sebuah proses pemisahan antara komponen base flow dengan komponen Run Off. Metode pemisahan aliran dasar (base flow separation) dilakukan dengan menerapkan metode automated base flow separation by digital filtering (Eckhardt, 2005). Berikut adalah rumus pemisahan aliran dasar, melalui automated base flow separation by digital filtering

$$q_{b(i)} = \frac{(1-BFI_{max})aq_{b(i-1)} + (1-a)BFI_{max}q_i}{1-a BFI_{max}}$$

$q_{b(i)}$: Aliran dasar pada waktu i

$q_{b(i-1)}$: Aliran dasar pada waktu i - 1

a : Konstanta resesi aliran dasar (Kb)

BFI_{max} : Indeks aliran dasar maksimum (Media porus dan *perennial* BFI_{max} = 0,8)

.....(1) (Eckhardt, 2005)

Results and Discussion

Spring Hydrograph

Penelitian yang dilakukan pada Mataair Guntur dilakukan selama 1 tahun dimulai dari bulan April 2018 hingga awal bulan April 2019. Alat pencatat ketinggian muka air di Mataair Guntur di atur dengan interval pencatatan 10 menit. Adapun pengukuran sesaat debit dan juga tinggi muka air dilapangan dilakukan sebanyak 29 kali untuk didapatkan persamaan melalui pembuatan kurva hubungan antara tinggi muka air dengan debit yang disebut rating curve. Berikut tabel pengukuran langsung debit dan tinggi muka air dan juga hasil rating curve di Mataair Guntur (Tabel 1 dan Gambar 1.)

Tabel 1. Pengukuran langsung tinggi muka air dan debit di lapangan

No	Waktu Pengukuran		TMA (meter)	Debit (l/dt)	No	Waktu Pengukuran		TMA (meter)	Debit (l/dt)
	Tanggal	Pukul				Tanggal	Pukul		
1	07/04/2018	12.00	0.18	68.3606	16	19/01/2019	03.06	0.39	1108.758
2	13/05/2018	11.00	0.09	12.864	17	20/01/2019	04.27	0.37	941.4084
3	12/05/2018	10.00	0.09	94.43997	18	21/01/2019	09.20	0.36	447.0346
4	12/06/2018	09.00	0.098	92.24369	19	22/01/2019	14.08	0.35	470.7126
5	03/08/2018	11.00	0.074	74.81963	20	23/01/2019	19.57	0.34	361.8649
6	04/09/2018	10.00	0.109	87.16452	21	13/02/2019	02.55	0.322	341.7954
7	10/10/2018	12.00	0.099	92.24369	22	12/02/2019	01.35	0.324	341.7954
8	04/11/2018	12.30	0.045	95.45521	23	01/03/2019	19.45	0.378	980.6337

9	30/11/2018	12.45	0.055	103.0917	24	07/03/2019	02.25	0.361	944.6472
10	22/12/2018	11.25	0.15	190.2383	25	16/03/2019	01.50	0.412	1297.767
11	31/12/2018	09.52	0.3	314.3292	26	17/03/2010	22.40	0.472	1298.334
12	05/01/2019	10.38	0.32	342.4542	27	18/03/2019	07.30	0.464	1297.767
13	16/01/2019	21.48	0.34	361.8649	28	24/03/2019	08.30	0.397	980.6074
14	17/01/2019	23.02	0.37	941.4084	29	06/04/2019	09.50	0.257	326.6707
15	18/01/2019	01.34	0.38	1042.128					

Sources: Field measurment (2018-2019)

Fig. 2 Rating curve of Guntur Spring

Berdasarkan hasil penarikan trend line pada antara nilai tinggi muka air dengan besarnya debit yang diukur secara langsung dilapangan, didapatkan nilai R pada rating curve sebesar 0.9724, artinya derajat keterkaitan diantara 2 komponen semakin mendekati 1, yakni keduanya memiliki hubungan yang cukup kuat. Adapun persamaan yang dihasilkan yaitu $y=944.62x+24.04$. Berdasarkan persamaan tersebut, selanjutnya dapat disajikan hidrograf aliran dari Mataair Guntur sebagai berikut pada gambar 3, yang menunjukkan bahwa air selalu mengalir dari musim penghujan sampai musim kemarau, meskipun terdapat fluktuasi debit yang signifikan antara musim penghujan dan kemarau.

Fig 3. Hydrograph of Guntur Spring

Pemunculan Mataair Guntur berasal dari proses pemotongan topografi yang disebabkan karena adanya patahan Opak (Notosiswoyo and Kusumayudha (1998) dan selanjutnya memotong bagian utara dari perbukitan Karst Gunungsewu (Cahyadi, dkk, 2018b), diantaranya di sub-sistem hidrogeologi Panggang. Adapun debit terkecil dan terbesar selama penelitian masing-masing mencapai 7.56 lit/sec dan 504.23 lit/sec, dengan debit rata-rata 169.14 lit/sec. Kecilnya rata-rata debit yang terjadi pada Mataair Guntur menjadi salah satu ciri dari pemunculan mataair yang berada pada sub-hidrogeologi Panggang di Karst Gunung Sewu. Posisi Mataair Guntur yang berada di bagian atas dari perlapisan batugamping menjadikan salah satu penyebab lapisan diatasnya yang berperan sebagai lapisan penyimpan air yang tipis sehingga lebih lanjut berimbas pada simpanan airtanah yang juga dalam jumlah yang terbatas (kecil) (Cahyadi, dkk, 2018a). Sejalan dengan pernyataan yang dihasilkan dari penelitian Haryono (2011) dan Haryono, dkk (2017) bahwasannya Mataair sub-sistem Panggang didominasi dengan Mataair epikarst.

Baseflow Characteristic of Guntur Spring

Berdasarkan hidrograf aliran yang telah dihasilkan, didapatkan 9 banjir terpilih untuk mengidentifikasi karakteristik aliran dasar pada Mataair Guntur. Pemilihan banjir diasumsikan dapat merepresentasikan kondisi di saat awal penghujan hingga di akhir kemarau. Berikut (Tabel 2) karakteristik aliran pada Mataair Guntur yang meliputi besarnya debit puncak, kategori banjir, waktu aliran menuju encak (T_p), lamanya aliran tinggal (T_b) dan juga koefisien aliran dasar (K_b).

Tabel 2. Karakteristik aliran pada banjir terpilih Mataair Guntur

No.	Waktu	Q max (lit/sec)	kategori banjir	T_p (Hours)	T_b (Hours)	K_b
1	07/04/2018	279.56	sedang	1.16	205.82	0.990
2	08/05/2018	159.56	sedang	30.16	188.00	0.990
3	19/06/2018	93.56	rendah	27.16	112.50	0.974
4	26/06/2018	63.56	rendah	5.30	159.00	0.960
5	28/11/2018	209.56	sedang	1.83	55.60	0.991
6	22/12/2018	423.56	tinggi	3.60	117.60	0.999
7	23/01/2019	402.56	tinggi	14.50	53.83	0.998
8	18/03/2019	504.23	tinggi	2.16	169.83	0.999
9	24/03/2019	392.56	tinggi	0.50	314.50	0.999
Average				9.60	152.96	0.990

Sources: Data Processing (2019)

Hasil pengolahan data (Tabel 1) melalui banjir terpilih untuk mengidentifikasi karakteristik aliran pada Mataair Guntur dihasilkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mencapai debit puncak selama 9.6 jam dengan waktu terlama sebesar 30.16 jam dan waktu tercepat selama 0.5 jam. Kondisi tersebut cukup relevan dengan kondisi banjir yang sedang berlangsung saat itu, yaitu ketika banjir pada kategori rendah hingga sedang, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai debit puncak semakin lama, dan begitu juga sebaliknya. Adapun lamanya waktu tinggal air (Tb) rata-rata pada 152.96 jam, dengan waktu terlama pada bulan saat terjadi hujan dan banjir pada kategori yang tinggi, dibuktikan dengan waktu terlama sebesar 314.50 jam terjadi pada kejadian banjir pada tanggal 24 maret 2019. Lebih lanjut, koefisien resesi pada aliran dasar Mataair Guntur rata-rata sebesar 0.990, artinya nilai tersebut menunjukkan lambatnya pelepasan komponen aliran khususnya aliran dasar pada Mataair Guntur. Lebih jauh lagi semua kondisi tersebut mencerminkan bahwa komponen aliran pada Mataair Guntur didukung dengan sistem aliran berupa rembesan (diffuse) yang cukup mendominasi. Dengan demikian dapat disimpulkan, bahwa ketika musim kemarau, Mataair Guntur tetap mengalir meskipun dalam debit yang kecil, yang berasal dari aliran dasarnya dengan karakteristik pelepasan yang lambat dan sistem aliran masih berupa rembesan. Adapun hasil pengolahan pemisahan aliran dasar dalam jangka waktu satu tahun disajikan sebagai berikut (Gambar 4 dan Tabel 3).

Fig 4. Baseflow separation of Guntur Spring

Tabel 3. Baseflow separation of Guntur Spring

No.	Bulan	Average of discharge (lit/sec)	Average baseflow (lit/sec)	Average of baseflow proportion (%)	Season
1	April '18	226.2411	180.99	80.04	Awal kemarau
2	May '18	96.37471	77.1701	88.38	Pertengahan kemarau
3	June '18	51.36678	41.09955	81.67	Pertengahan kemarau
4	July '18	53.65519	42.91158	82.26	Pertengahan kemarau
5	August '18	36.81097	29.45038	93.96	Pertengahan kemarau
6	September '18	60.9049	48.73617	87.78	Akhir kemarau
7	October '18	56.79415	45.43264	88.23	Akhir kemarau
8	November '18	63.09037	50.33363	85.29	Awal penghujan

9	December '18	369.846	295.8569	79.57	Awal penghujan
10	January '19	415.6177	332.6371	80.67	Awal penghujan
11	February '19	312.2115	249.7781	80.12	Pertengahan hujan
12	March '19	337.0883	269.6732	80.60	Pertengahan hujan
13	April '19	276.115	220.942	80.81	Akhir penghujan
Average				83.80	

Sources: Data Processing (2019)

Gambar 4 menunjukkan proporsional besarnya aliran dasar dalam jangka waktu 1 tahun. Lebih lanjut dalam tabel 3 menyajikan rerata bulanan aliran dasar yang terjadi berikut dengan rerata proporsi aliran dasar tiap bulannya. Julat rerata aliran dasar yang terjadi dimulai dari 45.43264 -332.637 lit/sec. Berdasarkan hasil pengolahan data nilai rerata aliran dasar dominan lebih besar terjadi pada bulan yang termasuk pada musim awal penghujan hingga akhir penghujan dibanding pada musim kemarau. Kondisi tersebut tentu terjadi karena selama musim penghujan mataair kemungkinan besar lebih masif dalam mendapat pasokan aliran air, berbeda dengan kondisi di musim kemarau.

Adapun rerata proporsi aliran dasar per bulan, bulan yang tergolong pada musim kemarau dominan memiliki proporsi yang lebih besar dibandingkan pada musim penghujan (May- August 2018). Kondisi tersebut tentu terjadi karena pada musim kemarau aliran lebih dominan bahkan keseluruhannya hanya terdiri dari komponen proporsi aliran dasar, tanpa ada kontribusi aliran langsung (conduit). Sedangkan berbeda ketika musim hujan berlangsung, proporsi dari aliran dasar tentu akan lebih kecil karena adanya kontribusi komponen aliran langsung. Dengan demikian proporsi aliran dasar menjadi lebih besar di musim kemarau dibandingkan proporsi aliran dasar di musim penghujan. Adapun untuk mendukung pernyataan tersebut, lebih lanjut dapat dipahami melalui pemisahan aliran dasar dari banjir terpilih dalam 1 tahun sebagai berikut (Tabel 4 dan Gambar 5).

Tabel 4. Baseflow separation of selected flood event

No.	Selected flood event	Peak discharge (lit/sec)	Flood category	Baseflow (lit/sec)	Baseflow proportion (%)
1	07/04/2018	279.56	Middle	224.65	80.36
2	08/05/2018	159.56	Middle	128.45	80.50
3	19/06/2018	93.56	Low	77.04	79.14
4	26/06/2018	63.56	Low	50.05	78.74
5	28/11/2018	209.56	Middle	165.25	78.85
6	22/12/2018	423.56	High	338.05	79.81
7	23/01/2019	402.56	High	321.25	79.80
8	18/03/2019	504.23	High	370.88	73.55
9	24/03/2019	392.56	High	313.25	79.79
Average					78.94

Sources: Data processing (2019)

Julat aliran dasar yang terjadi berkisar antara 50.05-370.88 lit/sec. Adanya rentang nilai cukup besar antara aliran dasar pada banjir terpilih 17 march 2019 dengan yang lainnya disebabkan karena pada waktu tersebut terdapat siklon savanna yang terjadi dan berdampak munculnya hujan dengan intensitas yang lama dan dengan curah hujan yang cukup tinggi, sehingga berimbas pada kenaikan muka air yang signifikan dan lebih lanjut pada kemelimpahan aliran dasarnya. Adapun proporsi dari aliran dasarnya, hampir sama dengan hasil rerata bulanan, pada banjir terpilih dominasi besarnya proporsi aliran dasar lebih besar pada musim kemarau yang mana pada tabel 4 diklasifikasikan dengan kategori banjir sedang hingga rendah.

Kontribusi aliran dasar seperti yang telah dibahas sebelumnya, lebih besar proporsinya di musim kemarau dibandingkan pada waktu musim penghujan. Gambar 5 merepresentasikan blok diagram dari pemisahan aliran dasar pada setiap kejadian banjir. Pada waktu musim penghujan aliran langsung memiliki kontribusi yang lebih besar sehingga mengurangi proporsi dari komponen aliran dasar. Ditunjukkan dari digram bagian kiri hingga kekanan, yang membuktikan bahwa semakin kekanan dari blok diagram tersebut, aliran proporsi aliran dasar menjadi semakin berkurang dan proporsi dari aliran langsung (conduit) semakin meningkat. Penurunan kontribusi aliran dasar paling signifikan dengan kontribusi aliran langsung yang paling besar dapat dilihat pada blok diagram banjir terpilih yang terjadi pada tanggal 17th march 2019 ketika siklon savanna terjadi.

Fig. 5 selected flood event graphich of baseflow separation

Conclusions

Debit terkecil dan terbesar selama penelitian masing-masing mencapai 7.56 lit/sec dan 504.23 lit/sec, dengan debit rata-rata 169.14 lit/sec. Kecilnya rata-rata debit yang terjadi pada Mataair Guntur menjadi salah satu ciri dari pemunculan mataair yang berada pada sub-hidrogeologi Panggang di Karst Gunung Sewu. rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mencapai debit puncak selama 9.6 jam dengan waktu terlama sebesar 30.16 jam dan waktu tercepat selama 0.5 jam. Kondisi tersebut cukup relevan dengan kondisi banjir yang sedang berlangsung saat itu, yaitu ketika banjir pada kategori rendah hingga sedang, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai debit puncak semakin lama, dan begitu juga sbaliknya. Adapun lamanya waktu tinggal air (Tb) rata-rata pada 152.96 jam, dengan waktu terlama pada bulan saat terjadi hujan dan banjir pada kategori yang tinggi, dibuktikan dengan waktu terlama sebesar 314.50 jam terjadi pada kejadian banjir pada tanggal 24 maret 2019. Lebih lanjut, koefisien resesi pada aliran dasar Mataair Guntur rata-rata sebesar 0.990, artinya nilai tersebut menunjukkan lambatnya pelepasan komponen aliran khususnya aliran dasar pada Mataair Guntur. Lebih jauh lagi semua kondisi tersebut mencerminkan bahwa komponen aliran pada Mataair Guntur didukung dengan sistem aliran berupa rembesan (diffuse) yang cukup mendominasi.

Julat rerata aliran dasar yang terjadi dimulai dari 45.43264 -332.637 lit/sec. Berdasarkan hasil pengolahan data nilai rerata aliran dasar dominan lebih besar terjadi pada bulan yang termasuk pada musim awal penghujan hingga akhir penghujan dibanding pada musim kemarau. Kondisi tersebut tentu terjadi karena selama musim penghujan mataair kemungkinan besar lebih masif dalam mendapat pasokan aliran air, berbeda dengan kondisi di musim kemarau.

Pada waktu musim penghujan aliran langsung memiliki kontribusi yang lebih besar sehingga mengurangi proporsi dari komponen aliran dasar. Ditunjukkan dari digram bagian kiri hingga kekanan, yang membuktikan bahwa semakin kekanan dari blok diagram tersebut, aliran proporsi aliran dasar menjadi semakin berkurang dan proporsi dari conduit flow semakin meningkat. Penurunan kontribusi aliran dasar paling signifikan dengan kontribusi aliran langsung yang paling besar dapat dilihat pada blok diagram banjir terpilih yang terjadi pada tanggal 18 march 2019 ketika siklon savanna terjadi. Hasil analisis menunjukkan bahwa kontribusi diffuse flow di Mataair Guntur adalah antara 79,57% sampai dengan 93,96%.

Acknowledgment

This research was made possible by funding from Hibah Rekognisi Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada. Tim penulis mengucapkan banyak terimakasih pada kelompok studi karst yang telah banyak membantu selama lapangan hingga jurnal ini ditulis. Tim penulis juga berterimakasih kepada Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada yang telah mengijinkan penelitian ini dilakukan.

References

- Adji, T.N. Haryono, E. Woro, S. (1999). Kawasan Karst Dan Prospek Pengembangannya Di Indonesia. *Seminar PIT IGI di Universitas Indonesia*. Jakarta.
- Adji, T.N. (2011). Pemisahan Aliran Dasar Bagian Hulu Sungai Bribin Pada Aliran Gua Gilap, Di Karst Gunung Sewu, Gunungkidul, Yogyakarta. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol 6 3:165-175.
- Adji, T. N., Haryono, E., Fatchurohman, H., Oktama, R. (2015). Diffuse Flow Characteristic and Their Relation to Hydrochemistry Conditions in The Petoyan Spring, Gunungssewu Karts, Java, Indonesia. *Geosciences Journal*, DOI 10.1007/s12303-015-0048-8.
- Adji, T. N., Haryono. E., Mujib A. Fatchurohman. A., Bahtiar. I. Y. (2017). Assessment of Aquifer Karstification Degree in Some Karst Sites on Java Island, Indonesia. *Carbonates Evaporite* DOI 10.1007/s13146-017-0403-0.
- Atkinson, T.C. (1976). Diffuse Flow and Conduit Flow in Limestone Terrain in The Mendip Hills, Somerset (Great Britain). *Journal of Hydrology*, 35: 95-110.
- Atkinson, T.C. 1985. Present and Future Directions in Karst Hydrogeology. *Ann. Soc. Geoi. Belgique*, 108: 293-296.
- Beynen. V. P. (2011). *Karst Management*. New York: Springer.
- Cahyadi, A.; Riyanto, A.I.; Lestari, S.F. dan Listyaningrum, N. 2018a. Peningkatan Kapasitas Masyarakat Desa Girijati, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul dalam Konservasi Kawasan Karst. *Laporan Hibah Pengembangan Program Pengabdian Kepada Masyarakat Fakultas Geografi UGM 2018*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Cahyadi, A.; Riyanto, I.; Irshabdillah, M.R. dan Firizqi, F. 2018b. Inventarisasi dan Karakterisasi Sistem Aliran Sungai Alogenik di Kawasan Karst Gunungsewu Kabupaten Gunungkidul. *Laporan Hibah Penelitian Dosen Fakultas Geografi UGM 2018*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Riyanto, I., Cahyadi, A., Adji, T.A., Haryono, E., Widyastuti, M., Agniy. R.F., Wilda, A.F., Rahmawati N., dan Baskoro, H. (2015). Analisis Konektivitas Dan Karakterisasi Pelorongan Dengan Uji Peruntutan Pada Mataair Epikarst Sub-Sistem Panggang, Kawasan Karst Gunungsewu. *Pekan Ilmiah Tahunan Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (Paai) Yang Diselenggarakan Di Hotel Aryaduta, Jakarta, 7 – 8 November 2018*.

- Eckhardt, K. 2005. How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation. *Hydrological Processes*, 19: 507- 515.
- Ford, D. C., and Williams, P. W. (2007), *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, Chichester: Wiley.
- Haryono E, Day M 2004 Landform differentiation within the Gunung Kidul Kegelkarst, Java, Indonesia *Journal of Cave and Karst Studies* 66 2 62-69.
- Haryono, E. 2011. *Introduction to Gunungsewu Karst*. Field Guide of Asian Trans-Disciplinary Karst Conference. Yogyakarta: Karst Research Group, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada.
- Kusumayudha, S.B., 2002, Sistem Hidrogeologi Gunungsewu. *Prosiding Sumberdaya Geologi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI) Pengda DIY-Jateng, pp 130 – 141.
- Milanovic, P. 2015. Optimal Water Management – Prerequisite for Regional Socio-Economic Development in The Karst of The South-Eastern Dinarides. *International Association of Hydrogeologists Selected Papers : Karst without Boundaries*
- Schulz, E.F. 1976. *Problems in Applied Hydrology*. Colorado: Water Resources Publication.
- Oktama, R. 2014. Karakterisasi Akuifer Karst Mataair Ngeleng dengan Pendekatan Variasi Temporal Sifat Aliran dan Hidrogeokimia. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Widyastuti, M., Riyanto, I.A., Naufal, M., Ramadhan, F., dan Rahmawati, N. 2018. Water Catchment Area Analysis of Guntur Karst Spring. *Proceeding. The 2nd International Conference on Environmental Resources Management in Global Region*. Yogyakarta 22-23 Oktober 2018.
- White, W.B. (1969). Conceptual Models for Carbonate Aquifers. *Ground Water*, 7 (3).
- Wijayanti, P., Haryono, E. Hadi, P. (2017). Water Balance in Epikarst: Case study of Kakap Springs, the Eastern Karst of Gunungsewu. 1st UPI International Geography Seminar, doi :10.1088/1755-1315/145/1/012088