LAPORAN PENELITIAN
HIBAH PENELITIAN OLEH DOSEN DAN LABORATORIUM
FAKULTAS GEOGRAFI UNIVERSITAS GADJAH MADA

Karakterisasi Kurva Resesi Aliran Pada Beberapa Mataair Karst

Tjahyo Nugroho Adji
Munif Prawira Yudha
Bahar Pandu Dewantara

DEPARTEMEN GEOGRAFI LINGKUNGAN

Dibiayai dari
Dana Bantuan Pendanaan Perguruan Tinggi Negeri Berbadan Hukum (BPPTN-BH)
Tahun Anggaran 2017

UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS GEOGRAFI
2017

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR HIBAH PENELITIAN OLEH DOSEN DAN LABORATORIUM
FAKULTAS GEOGRAFI UNIVERSITAS GADJAH MADA
TAHUN ANGGARAN 2017

1. Judul Penelitian : Karakterisasi Kurva Resesi Aliran Pada Beberapa Mataair Karst
2. Departemen : Geografi Lingkungan
3. Waktu : 5 bulan mulai 1 April – 31 Agustus 2017
4. Lokasi : Kab. Wonogiri, & Rembang (Jateng)
5. Biaya : Rp 10.500.000,00 (sepuluh juta limaratus ribu rupiah)
6. Sumber Biaya : BPPTN-BH Tahun Anggaran 2017
7. Anggota peneliti

No	Nama	L/P	NIM	Fakultas/Jurusan	Bidang Ilmu
1.	Bahar Pandu D.	L	7378/GE	Geografi Lingkungan	Hidrologi
2	Munif Prawira Yudha	L	7269/GE	Geografi Lingkungan	Hidrologi

Yogyakarta, 31 Agustus 2017

Mengetahui,
Ketua Departemen Geografi Lingkungan UGM

Ketua Tim Peneliti

Dr. Rika Harini, S.Si., M.P
NIP. 196705121997022001

Dr. Tjahyo N. Adji, MSc.Tech
NIP. 197201281998031001

Menyetujui,
Dekan Fakultas Geografi UGM

Prof. Dr. Muh Aris Marfai, S.Si., MSc.
NIP 197601131999031002

ABSTRACT

The study was conducted on two karst springs located on the two karst regions i.e. Kakap Spring in Gunungsewu Karst and Sumbersemen Spring in Rembang Karst area. The objectives of this study are (1) to define the characteristics of the aquifer in releasing its flow components (2) to understand the temporal supply of aquifer base flow. This study used inductive survey method. To determine the aquifer's characteristics in releasing its flow components, two water level recorder devices were installed in the Kakap and Sumbersemen Springs. Also, discharge measurements were carried out to obtain the stage-discharge rating curves from each spring. Then, the base flow separation by means of digital filtering method was conducted to calculate the base flow percentage (after the previously calculated value of the constant recession of diffuse, fissure, and conduit flows in each spring). The results showed that Kakap Spring has three flow types: diffuse, fissure, and conduit. This spring releases the diffuse components more slowly than the karst aquifer at Sumbersemen Spring. During the rainy season, Kakap Spring responds to the conduit flow from catchment area quickly, although it is still slower than that found in Sumbersemen Spring. From some of these things, it can be concluded that in addition to having the flow diffuse dominant throughout the year (the monthly base flow almost reached a value of 80%), the aquifer of Kakap Spring has a network of conduit which develops further (the base flow during the flood period is less than 40%). Sumbersemen Spring only has one dominant flow type which is added from the aquifer which is diffuse flow (slow flow). During the rainy season, a very rapid response to rain may come from the surface stream (not from conduit storage). This is evidenced by the very small flow of flood during the flood period with the value of T_p (time to peak) and T_b (time to baseflow) is very short. In addition, a very high base flow rate throughout the year (99%), indicating that the base flow possibly comes from deep groundwater rather than solely from the diffuse storage.

Keywords: karst aquifer, diffuse, fissure, conduit, base flow

INTISARI

Penelitian ini dilakukan pada dua mataair yang terletak pada dua akuifer karst, yaitu Mataair Kakap yang terletak di kawasan karst Gunungsewu dan Mataair Sumbersemen yang terletak di kawasan karst Rembang. Penelitian tahun ke-1 ini mempunyai tujuan untuk (1) mendefinisikan sifat akuifer dalam melepaskan komponen-komponen alirannya, dan mengetahui (2) bagaimana sifat temporal persediaan aliran dasarnya. Penelitian ini menggunakan metode survai yang bersifat induktif. Untuk mengetahui karakteristik akuifer dalam melepaskan komponen alirannya, dua alat pencatat fluktuasi muka air SBT dipasang di Mataair Kakap dan mataair Sumbersemen. Pengukuran debit aliran dilakukan untuk memperoleh kurva hubungan debit dan tinggi muka air. Kemudian, dilakukan pemisahan aliran dasar dengan cara *digital filtering* untuk menghitung besarnya aliran dasar setelah sebelumnya dihitung nilai konstanta resesi aliran *diffuse*, *fissure*, dan *conduit*nya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Mataair Kakap mempunyai tiga tipe aliran yaitu *diffuse*, *fissure*, dan *conduit*. Terkait aliran dasar/*diffuse*/*base flow*, mataair ini melepaskan komponen *diffuse* lebih lambat dari pada akuifer karst di Mataair Sumbersemen. Saat musim hujan, Mataair Kakap merespon aliran *conduit* dari daerah tangkapan dengan cepat, meskipun masih lebih lambat dibanding yang dijumpai di Mataair Sumbersemen. Dari beberapa hal tersebut dapat disimpulkan bahwa selain memiliki aliran *diffuse* yang dominan sepanjang tahun (aliran dasar bulanan hampir mencapai nilai 80%), akuifer di Mataair Kakap telah memiliki jaringan lorong *conduit* yang berkembang secara lanjut (aliran dasar saat periode banjir kurang dari 40%). Mataair Sumbersemen hanya memiliki satu tipe aliran dominan yang diimbuh dari akuifer yaitu tipe aliran *diffuse* (lambat). Saat musim hujan, respon sangat cepat terhadap hujan kemungkinan berasal dari aliran permukaan (bukan dari simpanan *conduit*). Hal ini dibuktikan dengan sangat kecilnya aliran dasar saat periode banjir dengan nilai T_p (*time to peak*) dan T_b (*time to baseflow*) yang sangat singkat. Selain itu, simpanan aliran dasar yang sangat tinggi sepanjang tahun (99%), menunjukkan bahwa kemungkinan aliran dasar berasal dari airtanah dalam dan bukan semata-mata dari lorong *diffuse*.

Kata kunci: akuifer karst, *diffuse*, *fissure*, *conduit*, aliran dasar

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
HALAMAN PENGESAHAN	2
ABSTRACT	3
INTISARI	4
DAFTAR ISI	5
DAFTAR TABEL	6
DAFTAR GAMBAR	7
I. PENDAHULUAN	8
II. PERUMUSAN MASALAH	9
III. TUJUAN PENELITIAN	10
IV. KAJIAN PUSTAKA	11
V. METODOLOGI	19
VI. HASIL	25
VII. KESIMPULAN	42
VIII. SARAN	42
IX. DAFTAR PUSTAKA	43
X. BIODATA PENELITI	46

DAFTAR TABEL

NAMA TABEL	Halaman
Tabel 1. Hasil Pengukuran Debit Aliran Mataair Kakap	26
Tabel 2. Konstanta Resesi, T_p dan T_b Hidrograf Banjir Terpilih MataairKakap	30
Tabel 3. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran Tiap Bulan Mataair Kakap	32
Tabel 4. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran pada Kejadian Banjir Terpilih di Mataair Kakap	33
Tabel 5. Hasil Pengukuran Debit Aliran Mataair Sumbersemen	35
Tabel 6. Konstanta Resesi, T_p dan T_b Hidrograf Banjir Terpilih Sumbersemen	38
Tabel 7. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran Tiap Bulan Mataair Sumbersemen	40
Tabel 8. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran pada Kejadian Banjir Terpilih Sumbersemen	40
Tabel 9. Kondisi Komponen Aliran Akuifer Karst Atas Dasar Perbandingan Angka Paramater Hidrograf dan aliran dasar	41

DAFTAR GAMBAR

NAMA GAMBAR	Halaman
Gambar 1. Lokasi kawasan karst yang yang diteliti	10
Gambar 2. Hidrograf banjir	12
Gambar 3. Contoh perbedaan bentuk hidrograf di mataair karst dan di sungai permukaan	13
Gambar 4. Komponen aliran dasar pada sebuah hidrograf	14
Gambar 5. Contoh dari kurva resesi hidrograf aliran dengan dua aliran laminar dan dua aliran turbulen pada surau sistem aliran mataair karst	17
Gambar 5b. Contoh MRC menggunakan metode strip matching –atas-; dan metode korelasi	18
Gambar 6. <i>Stage Discharge Rating Curve</i>	22
Gambar 7. Memisahkan baseflow dengan <i>straight line method</i>	24
Gambar 8. Pemisahan Aliran Dasar dengan Metode <i>Digital Filtering</i>	25
Gambar 9. Kondisi Aliran Mataair Kakap (kiri) dan Alat Pengukur Tinggi Muka Air yang terpasang	25
Gambar 10. Hubungan Tinggi Muka Air Dan Debit di Mataair Kakap	27
Gambar 11. Variasi Debit Aliran di Mataair Kakap Periode Jan 2016 – Feb 2017	27
Gambar 12. Kejadian Resesi Banjir-Banjir Terpilih Mataair Kakap	29
Gambar 13. Fluktuasi Aliran Dasar Mataair Kakap periode Jan 2016 – Feb 2017	31
Gambar 14. Mataair Sumbersemen	34
Gambar 15. TMA mataair pada kondisi normal (kiri) dan TMA mataair pada kondisi banjir	34
Gambar 16. <i>Stage Discharge Rating Curve</i> Mataair Sumbersemen	36
Gambar 17. Pengukuran debit dengan <i>slope area method</i> (kiri) download data logger TMA	36
Gambar 18. Hidrograf aliran Mataair Sumbersemen selama periode pengukuran	37
Gambar 19. Kurva Resesi sampel banjir Mataair Sumbersemen	38
Gambar 20. Fluktuasi Aliran Dasar Mataair Kakap periode Januari 2016 – Agustus 2017	39

I. PENDAHULUAN

Akuifer karst merupakan akuifer yang memiliki tingkat heterogenitas yang tinggi, yang berbanding lurus dengan tingkat perkembangan pembentukan lorong-lorongnya. Semakin berkembangnya lorong di suatu akuifer karst, maka semakin tua pula umur suatu kawasan karst atau dengan kata lain semakin lanjut pula derajat karstifikasinya. Perkembangan sistem pelorongan ini sangat menentukan sifat akuifer dalam melepaskan simpanan airnya (Haryono dan Adji, 2004; Adji, 2005; Adji et al, 1999; Adji dan Haryono, 1999), sehingga mempunyai kedudukan yang sangat penting dalam penyediaan sumberdaya air. Oleh karena itu, kebanyakan topik penelitian di akuifer karst mempunyai tujuan untuk mendeskripsikan sifat akuifer dalam melepaskan simpanan akuifer yang tentu saja dikontrol oleh perkembangan pelorongannya (Adji, 2010, Adji, 2012; Adji, 2013; Adji 2014; Adji 2010; Adji, 2011; Adji, 2015). Rashed (2012) dalam tulisannya ketika membuat ringkasan terkait metode-metode karakterisasi akuifer, mengungkapkan bahwa salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan melakukan analisis resesi hidrograf banjir suatu mataair karst.

Bentuk resesi hidrograf dari debit suatu mata air adalah cerminan yang unik terkait respon dari akuifer karst ketika mengimbuh aliran mataair. Ford dan Williams (2007) telah memberikan ulasan yang luas terkait fenomena ini. Analisis hidrograf mataair karst akan mendeskripsikan secara lebih jelas terkait struktur hidrolika dan perkembangan sistem drainase karst (Adji dan Cahyadi, 2016). Setelah menganalisis kurva resesi dari Mataair Ompla di Yugoslavia, Milanovic (1981) menyimpulkan bahwa akuifer karst mempunyai tiga jenis porositas atau perkembangan lorong, yang terwakili oleh tiga karakteristik koefisien resesi yang mempunyai magnitudo pelepasan yang berturutan, yaitu: (1)Koefisien resesi tertinggi yang berasal dari tipe aliran yang cepat dari saluran atau lorong yang besar; (2)Koefisien resesi menengah yang didominasi aliran yang berasal dari percelahan yang telah berkembang dan terintegrasi dengan baik; dan (3)Koefisien resesi terkecil yang merupakan respon dari sistem drainase matriks (lambat).

II. PERUMUSAN MASALAH

Selanjutnya, terlepas dari kenyataan bahwa teknik analisis kurva resesi hidrograf aliran mataair karst akan memberikan informasi yang sangat berguna pada karakteristik penyimpanan dan perkembangan lorong dari suatu sistem akuifer karst, metode analisis ini bisa jadi tidak akan mampu memberikan perbedaan yang tegas terkait klasifikasi yang bisa menjawab pertanyaan: “apakah akuifer karst yang ada telah sepenuhnya berkembang atau hanya sebagian saja yang telah berkembang?”. Hal ini karena metode ini hanya menggunakan data aliran ketika terjadi kurva resesi hidrograf (*recession limb*) dan tidak menganalisis data kenaikan resesinya (*rising limb*) yang sebenarnya merupakan bagian yang sangat penting dari sebuah hidrograf mataair karst. Meskipun demikian, analisis kurva resesi tetap masih dianggap sebagai suatu metode yang cepat dan cukup akurat untuk mengklasifikasi tingkat perkembangan suatu akuifer karst, sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Malik and Vojtkova (2012). Selain itu, rumus kurva resesi yang dihasilkan dapat digunakan untuk melakukan pemisahan aliran dasar yang berguna untuk prediksi ketersediaan air karst.

Dengan pertimbangan tersebut, penelitian ini bermaksud untuk melakukan investigasi secara spasial dengan sifat kurva resesi suatu hidrograf mataair pada beberapa lokasi yang telah mempunyai stasiun pencatat fluktuasi tinggi muka air. Hasil dari penelitian ini diharapkan akan sangat bermanfaat terhadap perkembangan ilmu karstologi di Indonesia, khususnya dalam memperkaya metode-metode investigasi perkembangan pelorongan pada akuifer karst. Secara spasial, penelitian ini akan diterapkan pada 3 (tiga) yaitu mataair karst yaitu: (1) Mataair Sumber Semen di kawasan karst Rembang, (2) Mataair Kakap di karst Gunungsewu, dan (3) Mataair Mudal di karst Jonggrangan. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Lokasi kawasan karst yang yang diteliti

Adapun secara khusus, penelitian ini mempunyai beberapa pertanyaan penelitian, yaitu:

1. Apakah ada perbedaan kurva resesi pada beberapa mataair karst?
2. Bagaimanakah distribusi temporal aliran dasar pada beberapa mataair dan karst?

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan penelitian tersebut, maka penelitian ini diberi judul: “Karakterisasi Kurva Resesi Aliran Pada Beberapa Mataair Karst”.

III. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini mempunyai tujuan:

1. Mengetahui sifat kurva resesi hidrograf aliran pada beberapa mataair karst;

2. Mengetahui distribusi temporal prosentase aliran dasar pada beberapa mataair karst.

IV. KAJIAN PUSTAKA

4.1. Hidrograf mataair karst

Hidrograf mataair karst adalah suatu istilah untuk menggambarkan grafik pengukuran grafik pada debit airtanah pada skala waktu tertentu yang dilakukan pada pemunculan aliran yang terkonsentrasi di daerah karst. Pemantauan hidrograf mataair karst diperlukan untuk memperoleh informasi terkait jumlah, kondisi geologi, dan informasi perkembangan jaringan matriks atau saluran karst yang mengimbuh suatu mataair karst. Bentuk-bentuk hidrograf aliran ini mencerminkan output berupa debit dari sebuah akuifer. Oleh karena itu, Hidrograf mataair karst sangat berguna untuk menentukan dan mengkarakterisasi kondisi perkembangan akuifer. Selanjutnya, sifat dan karakteristik suatu hidrograf mataair karst memberikan informasi yang sangat penting untuk tindakan pengelolaan sumber daya air yang cermat di daerah karst (Bonacci, 1993; Ford & Williams, 2007; Haryono dan Adji, 2004).

Hidrograf mataair karst merupakan hasil dari beberapa proses yang mengontrol perjalanan hujan dan input air lain pada suatu daerah tangkapan air karst. Gambar 2 menunjukkan berbagai elemen dari hidrograf mataair. Awal kenaikan debit setelah kejadian curah hujan hingga mencapai mencapai debit puncak disebut $t_p = \text{time to peak}$ (waktu puncak). Sementara itu, kurva kenaikan debit yang menunjukkan kenaikan secara signifikan menuju debit puncak dikenal dengan nama *rising limb*. Waktu dari debit puncak hingga akhir hidrograf di mana secara teoritis aliran awal tercapai kembali dikenal dengan nama $t_b = \text{time to base flow}$. Titik akhir adanya limpasan permukaan atau aliran dari saluran karst setelah hujan berhemti dinyatakan oleh titik Q_0 . Seringnya, bagian dari hidrograf sejak debit puncak hingga tercapai dari Q_0 disebut *recession curve* atau *recession limb* (Adji et al, 2006).

Gambar 2. Hidrograf banjir

Bentuk dari hidrograf aliran tergantung pada karakteristik drainase pada daerah tangkapan airnya, di antaranya adalah ukuran dan bentuk daerah tangkapan, kerapatan drainase, serta intensitas curah hujan (Kresic, 2013). Ketika hujan terjadi dengan durasi yang lebih lama dengan intensitas yang relatif rendah, maka hidrograf akan memiliki waktu yang lebih lama untuk kembali didominasi aliran dasar (*time to base lama*), dasar dan sebaliknya. Sementara itu, intensitas curah hujan yang tinggi dengan durasi hujan yang pendek akan membentuk kurva hidrograf yang tajam dan *time to base* yang singkat. Secara umum, jika sifat debit alirannya intermitten, maka hidrograf memiliki bentuk yang lebih kompleks karena pengaruh curah hujan sesaat atau jenis imbuhan akuifer yang lain.

Bentuk hidrograf aliran dari mata air karst bervariasi tergantung pada beberapa faktor di daerah tangkapannya. Sebagai contoh, bentuk hidrograf banjir di gua atau sungai bawah tanah cenderung tajam memuncak karena respon yang cepat dari peristiwa hujan dengan waktu yang singkat ke debit puncak (Gambar 3). Sebaliknya, hidrograf aliran pada jangka waktu panjang mencerminkan karakteristik yang berbeda. Intensitas curah hujan yang tinggi dan laju infiltrasi yang rendah memicu debit puncak (aliran permukaan) yang besar dengan fluktuasi yang minim. Jenis input dengan karakteristik ini akan memicu bentuk hidrograf yang

bergerigi dalam jangka panjang dengan beberapa puncak kecil sepanjang tahun. Sebaliknya, Intensitas hujan yang rendah dan laju infiltrasi yang tinggi akan menghasilkan hidrograf halus (Seyhan, 1990).

Gambar 3. Contoh perbedaan bentuk hidrograf di mataair karst dan di sungai permukaan (Ford & Williams, 2007)

4.2. Kurva resesi hidrograf

Kurva resesi hidrograf atau recession limb merupakan bagian dari hidrograf selama periode penurunan debit limpasan dari debit puncak sampai akhir grafik di

mana secara teoritis debit limpasan sama dengan nol (Adji 2011; Adji, 2012; Adji, 2013 - Gambar 4). Kurva resesi adalah representasi dari penurunan debit selama periode minimum atau tidak ada lagi curah hujan (Tallaksen, 1995). Pada periode resesi bentuk hidrograf umumnya lebih stabil dan bentuknya ini mewakili karakteristik hidrolik dan geometri dari akuifer.

Gambar 4. Komponen aliran dasar pada sebuah hidrograf (Hammond & Han, 2006)

Pada saat resesi, sebagian limpasan permukaan berangsur-angsur menurun dari debit puncak dan akhirnya menghilang dan ketika itu sudah tidak lagi berkontribusi terhadap total aliran. Kemudian, analisis kurva resesi mataair karst juga mampu memberikan informasi respon debit aliran mataair terhadap dari karakteristik akuifernya. Ford dan Williams (2007) menyatakan bahwa aliran mataair menunjukkan beberapa karakteristik pada respon debitnya yang ditandai dari beberapa faktor ini:

- Jeda waktu antara peristiwa hujan dan kenaikan debit;
- Laju kenaikan menuju debit puncak;
- Laju resesi;
- Fluktuasi pada periode resesi.

Selain itu, hidrograf juga mencerminkan besarnya kapasitas penyimpanan air di akuifer secara grafis. Ketika hidrograf mencapai debit puncak, maka hal itu mencerminkan kapasitas penyimpanan maksimum dalam sistem akuifer karst dan sebaliknya. Suatu periode resesi yang panjang menunjukkan adanya penyimpanan

yang minimum pada suatu sistem akuifer karst (Adji et al, 2009, Adji et al, 2007; Adji and Misqi, 2009; Adji, 2015). Secara umum, Kurva resesi hidrograf mempunyai dua tahap yang berbeda. Tahap pertama disebut tahap "dipengaruhi" (*influenced*), yaitu tahap ketika aliran yang bersifat cepat cepat (runoff dan infiltrasi terhadap zona jenuh) mendominasi. Tahap ini juga dikenal sebagai tahap dominasi limpasan langsung, yang didominasi oleh simpanan air permukaan atau dekat permukaan. Tahap yang kedua dikenal sebagai tahap "aliran dasar" (*base flow*) , yaitu tahap yang seluruh debit didominasi oleh simpanan pada zona jenuh. Aliran dasar juga kadang didefinisikan sebagai aliran saat kemarau mendasari limpasan permukaan yang sebagian besar bersumber dari penyimpanan airtanah (Dewandel, et al, 2003; Hammond & Han, 2006).

Selanjutnya, analisis terhadap kurva resesi telah dipelajari sejak lama oleh Boussinesq (1877) dan dikembangkan lebih lanjut oleh Maillet (1905). Maillet memperkenalkan rumus eksponensial untuk mengekspresikan hubungan linear antara debit dan *hydraulic head* pada sungai atau mata air. Laju resesi digambarkan sebagai fungsi kurva eksponensial yang dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \text{ atau } Q_t = Q_0 e^{-\frac{t}{T_c}} \dots\dots\dots (1)$$

Di mana:

Q_t adalah debit pada waktu ke t ;

Q_0 adalah debit awal pada awal fase aliran dasar resesi;

α adalah konstanta yang disebut sebagai *cut-off frequency* (f_c);

T_c adalah *residence time or turnover time* dari simpanan air tanah (rasio dari simpanan airtanah dibagi total aliran).

Nilai $e^{-\alpha}$ dapat digantikan oleh konstanta atau *depletion factor* (k) sebagai fungsi korelasi dari kemiringan waktu dan selang waktu ke t . Secara umum, Nathan and McMahon (1990) menjelaskan bahwa julat nilai konstanta resesi untuk saluran (K_c) adalah 0,2-0,8; aliran antara (K_i) adalah 0,7–0,94; dan aliran dasar (K_b) berkisar

0,93–0,995. Namun, karena kesulitan dalam mengidentifikasi kurva resesi tertentu sebagai baik limpasan permukaan, *interflow*, atau aliran dasar nilai k mungkin dijumpai tumpang tindih satu dengan yang lain. Konstanta resesi (*recession constant* atau *depletion factor*) dapat pula digunakan untuk mengetahui karakteristik akuifer karst dalam melepaskan komponen-komponen aliran sungai bawah tanah. Model yang dipakai adalah model tangki (*tank model*) yang dikenalkan oleh Schulz (1976). Aplikasi model resesi ini dapat digunakan untuk menghitung nilai konstanta resesi saluran/*conduit* (K_c), konstanta resesi aliran antara/*fissure* (K_i), dan konstanta aliran dasar/*baseflow* (K_b).

Analisis ini dapat dilakukan pada beberapa kejadian banjir yang memenuhi syarat untuk menghitung resesi konstan. Banjir dipilih berdasarkan lamanya waktu dari puncak banjir hingga kembali ke kondisi normal (T_b = waktu untuk aliran dasar). Kejadian banjir dengan nilai-nilai T_b yang terlalu pendek tidak digunakan dalam perhitungan karena secara matematis tidak valid untuk menghitung nilai konstanta resesi.

Lebih jauh lagi, kurva resesi aliran mataair secara efektif akan menjelaskan hubungan antara penyimpanan di akuifer dan keluarannya berupa debit mataair. Setiap komponen run-off memiliki karakteristik sendiri-sendiri pada kurva resesi. Namun, rentang tingkat resesi yang diperoleh mungkin tumpang tindih antar komponen-komponen aliran karena perbedaan yang jelas antara karakteristik aliran permukaan, aliran antara, dan aliran dasar (Smatkin, 2001). Selain itu, Malik (2015) menyatakan bahwa beberapa aliran dapat bersifat laminar dan turbulen pada satu sub-rezim aliran dan pada satu akuifer (Gambar 5). Debit dari sistem gabungan aliran laminar dan turbulen tersebut dapat dijelaskan oleh beberapa persamaan. Di samping aliran laminar pada satu sub-rezim pada kurva resesi tertentu ditunjukkan pada persamaan (2), yaitu model turbulen linear untuk saluran yang telah dijelaskan oleh Kullman (1983) dalam dinyatakan pada persamaan 2.

$$Q_t = Q_0 (1 - \beta t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Gambar 5. Contoh dari kurva resesi hidrograf aliran dengan dua aliran laminar dan dua aliran turbulen pada surau sistem aliran mataair karst (Malik & Vojtkova, 2012)

4. 3. Master Recession Curve (MRC)

MRC adalah grafik yang mengekspresikan bentuk kurva resesi rata-rata atau utama yang diperoleh dari beberapa periode resesi pada situs tertentu. MRC biasa digunakan untuk menggambarkan dan menganalisis resesi rata-rata dari satu seri resesi hidrograf, misal selama satu tahun (Rivera-Ramirez, et al, 2002; Posavec, et al, 2010).

MRC diperlukan untuk menggabungkan beberapa kurva resesi individu untuk memberikan karakterisasi rata-rata respon aliran dasar. Deskripsi proses resesi per satu (master) kurva resesi sebagai wakil dapat dilakukan dengan merangkai berbagai set individu suksesi debit resesi menjadi satu bentuk baru yang paling mungkin tidak terpengaruh debit resesi individu. Pembuatan MRC dapat digunakan untuk memecahkan masalah variabilitas waktu dalam resesi sebagai kurva pokok pada satu seri waktu hidrograf. (Tallaksen, 1995; Nathan & McMahon, 1990; Malik & Vojtkova, 2012).

Banyak metode telah dikembangkan untuk membuat MRC. Metode grafik adalah cara tradisional untuk membangun MRC. Metode grafik yang paling umum dipakai adalah metode matching strip (Gambar 6) dan metode korelasi (Gambar 7). Metode tradisional lain yang umum digunakan adalah metode tabulasi. Dalam metode ini, periode resesi ditabulasi, bergeser dan kemudian pembuangan rata-rata dihitung untuk pada setiap langkah waktu pada periode tersebut. (Tallaksen, 1995).

Gambar 5b. Contoh MRC menggunakan metode strip matching –atas-; dan metode korelasi (Rivera-Ramirez, et al., 2002)

V. METODOLOGI

5.1. Alat

Alat yang digunakan secara keseluruhan bersifat saling mendukung satu sama lain dalam penelitian terutama dalam kegiatan di lapangan, yaitu:

1. Perangkat <i>Notebook</i>	Pengolahan data dan penyusunan laporan
2. Pencatat tinggi muka air otomatis	Mencatat fluktuasi tinggi muka air dari mataair dalam rentang waktu penelitian
3. <i>GPS</i>	Penentuan posisi absolut di lapangan
4. Kamera Digital	Dokumentasi penelitian
5. <i>Stopwatch</i>	Menghitung satuan waktu di lapangan
6. <i>Current meter</i>	Menghitung debit aliran

5.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian secara penuh memiliki peranan dan fungsi tersendiri serta bersifat saling melengkapi, yaitu:

- Peta RBI skala 1:25.000
 - Peta Geologi Lembar Yogyakarta dan Rengel skala 1:100.000
- Membuat peta dasar dan peta tematik penelitian

5.3. Data

Data dalam penelitian ini digunakan data hasil pengukuran langsung di lapangan maupun melalui uji di laboratorium dengan detail sebagai berikut.

1. Data primer yaitu data tinggi muka air Mataair Mudal dan Sumbersemen, untuk mengetahui fluktuasi aliran dan bahan pembuatan *rating curve*;
2. Data primer yaitu data debit Mataair Mudal dan Sumbersemen, untuk menentukan karakter akuifer berupa sifat aliran;

3. Data sekunder yaitu data aliran Mataair Kakap;
4. Data sekunder berupa data hujan pada lokasi-lokasi tersebut

5.4. Metode Pengumpulan Data

1. Data Tinggi Muka Air

Data tinggi muka air di Mataair Mudal dan Sumbersemen dikumpulkan dengan alat pencatat tinggi muka air otomatis berupa *logger*. Pengaturan waktu data logger direkam dengan rentang waktu 15 menit.

2. Data Debit

Data debit Mataair Mudal dan Sumbersemen diperoleh dengan mengukur kecepatan aliran dengan pengukuran langsung di lapangan dengan metode *sudden injection*, *pelampung*, dan *current meter*, dengan langkah kerja sebagai berikut.

a. Metode *sudden injection*

- Menentukan lokasi pengukuran, yaitu lokasi injeksi dan lokasi pengukuran konsentrasi air campuran. Aliran antar kedua lokasi berada dalam jarak sekitar 5 meter dan merupakan aliran lurus tanpa adanya intersepsi aliran.
- Menyiapkan larutan injeksi dengan mengukur volume (V) dan konsentrasinya.
- Menuangkan larutan dengan tiba-tiba dan mencatat perubahan nilai DHL dengan interval 10 detik hingga kembali mendekati nilai daya hantar listrik (DHL) awal.
- Melakukan operasi perhitungan dengan rumus:

$$Q = v. c1 / T. c2 \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

Q = debit aliran (m³/detik)

V = volume larutan yang dituang

T = waktu yang ditempuh oleh larutan

C1 = konsentrasi larutan yang dituang

C2 = Nilai rata-rata konsentrasi menuju kondisi awal

b. Metode pelampung

- Persamaan debit yang digunakan adalah :

$$Q = A \times k \times U \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

Q = debit aliran (m³/dt) :

A = luas penampang basah (m²)

U = kecepatan pelampung (m/dt)

k = koefisien pelampung

- Nilai k tergantung dari jenis pelampung yang digunakan, nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan:

$$k = 1 - 0,116 (\sqrt{1 - \alpha} - 0,1) \dots\dots\dots(5)$$

α = kedalaman tangkai (h) per kedalaman air (d)

c. Metode current meter

- Kecepatan aliran dihitung berdasarkan jumlah putaran baling-baling (cup) per waktu putaran (N). Persamaan kecepatan aliran sebagai berikut :

$$V = aN + b \dots\dots\dots(6)$$

keterangan :

V = kecepatan pelampung (m/dt)

a,b = koefisien alat

N = jumlah putaran per waktu

5.5. Metode Pengolahan dan Analisis Data

5.5.1. Penentuan debit aliran dengan *stage-discharge rating curve*

Stage-discharge rating curve merupakan kurva yang menunjukkan hubungan antara tinggi muka air dan debit pada suatu aliran. *Stage-discharge rating curve* dibuat berdasarkan data pengukuran aliran yang dilaksanakan pada waktu yang berbeda-beda dengan asumsi bahwa juga terdapat perbedaan tinggi muka air, kemudian data pengukuran aliran tersebut digambarkan pada lembar berskala dimana data tinggi muka air digambarkan pada sumbu vertikal sedangkan data debit pada sumbu horizontal. Setelah rumus rating curve yakni hubungan antara debit aliran dan tinggi muka air dibuat, kemudian hidrograf aliran selama masa pengukuran dapat ditampilkan (Gambar 6).

Gambar 6. *Stage Discharge Rating Curve*

5.5.2. Analisis Hidrograf

Analisis hidrograf yang dibuat adalah hidrograf tinggi muka air (*stage hydrograph*), hidrograf aliran (*annual discharge hydrograph*) sepanjang tahun, dan hidrograf banjir (*flood hydrograph*). Hidrograf-hidrograf ini kemudian disajikan secara grafikal sepanjang tahun atau pada saat banjir puncak dengan skala tertentu, kemudian dilakukan analisis data grafik hidrograf aliran per kejadian banjir terpilih yang meliputi *rising limb*, *crest* dan *recession limb*, serta sifat-sifat yang menyertainya seperti *time to rise*, *time of base*, *timelag*, dan *peak discharge*.

5.5.3. Analisis konstanta resesi hidrograf

Konstanta resesi dari kurva resesi merupakan bagian dari suatu hidrograf banjir pada sungai bawah tanah setelah tidak ada hujan, sehingga debit aliran turun atau akuifer melepaskannya komponen alirannya. yaitu yang merupakan bagian dari suatu hidrograf banjir (Gambar 3-bawah) pada SBT setelah tidak ada hujan, sehingga debit aliran turun atau akuifer melepaskannya komponen alirannya. Formula untuk menghitung konstanta resesi adalah:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

Q_t is adalah debit aliran pada waktu t , Q_0 adalah debit awal pada segmen resesi, dan α adalah suatu konstanta. Selanjutnya, $e^{-\alpha}$ pada rumus (1) dapat diganti dengan k , yang oleh hidrolog dikenal sebagai konstanta resesi (*recession constant* atau *depletion factor*), yang jamak digunakan sebagai indikator keberlangsungan aliran dasar (Nathan dan McMahon, 1990). Kemudian, nilai k dibandingkan dengan klasifikasi resesi sungai bawah tanah karst oleh (Giliesson, 1996).

5.5.4. Pembuatan Master Recession Curve (MRC)

Pembuatan MRC dilakukan untuk mengkarakterisasi perilaku resesi pada sebuah mataair karst. MRC juga merupakan masukan utama untuk menentukan derajat karstifikasi. Pembuatan MRC dapat dilakukan dengan menyusun beberapa kurva resesi tunggal menggunakan software semi-otomatis RC 4.0. Banyak pertimbangan teoritis sebagai input sudah teranggap pada software yang menyediakan pemodelan yang akurat untuk membangun MRC. Perangkat lunak ini menyediakan beberapa alat untuk pemodelan hidrologi seperti pemisahan aliran dasar, konstruksi MRC, pemisahan rezim debit, piper plot, dll

5.5.5. Pemisahan aliran dasar (*Baseflow separation*)

Pemisahan aliran dasar pada satu (single) hidrograf aliran dilakukan dengan metode *straight line method*, yakni dengan menggambar hidrograf pada skala logaritma, sebagaimana yang disajikan pada Gambar 7.

Gambar 7. Memisahkan baseflow dengan *straight line method*

Sementara itu, analisis pemisahan aliran dasar (*baseflow separation*) dan perhitungan aliran langsung sepanjang tahun dilakukan dengan menggunakan *automated base flow separation by digital filtering method* (Eckhardt, 2005), yaitu mencari nilai *digital filtering* atas dasar nilai konstanta resesi pada kejadian hidrograf sepanjang tahun (Gambar 8), yang kemudian dihubungkan dengan nilai *base flow indices* (BFI) di akuifer karst, rumus yang digunakan adalah :

$$q_{b(i)} = \frac{(1 - BFI_{\max})aq_{b(i-1)} + (1 - a)BFI_{\max}q_i}{1 - aBFI_{\max}} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

$q_{b(i)}$ adalah *baseflow* pada saat i , $q_{b(i-1)}$ adalah *baseflow* 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.

Gambar 8. Pemisahan Aliran Dasar dengan Metode *Digital Filtering* (Eckhardt, 2005)

VI. HASIL

6.1. Variasi temporal aliran di Mataair Kakap (Wonogiri)

a. Hubungan tinggi muka air dan debit Mataair Kakap

Mataair Kakap merupakan salah satu mataair kontak karst yang berada di perbatasan Karst Gunung Sewu dengan Ledok Baturetno, Kabupaten Wonogiri. Mataair Kakap berada pada perpotongan Formasi Wonosari dengan Formasi Baturetno. Mataair Kakap selalu berair sepanjang tahun (*perennial*) dan mempunyai morfometri alur sungai yang memungkinkan untuk dipasang alat pencatat tinggi muka air (*water level data logger*), sehingga kondisi aliran sepanjang tahun dapat tercatat (Gambar 9).

Gambar 9. Kondisi Aliran Mataair Kakap (kiri) dan Alat Pengukur Tinggi Muka Air yang terpasang

Untuk memperoleh variasi debit tahunan, diperlukan kurva hubungan tinggi muka air dan debit (*stage discharge rating curve*), yang dicari dengan melakukan pengukuran debit aliran pada saat debit kecil, rata-rata, dan besar, dari Januari 2016 sampai dengan Pebruari 2017, dan disajikan pada Tabel 1. Dari data hasil pengukuran tersebut dibuat kurva regresi (Gambar 10). Hubungan antara tinggi muka air dan debit aliran di Mataair Kakap dinyatakan sebagai:

$$y = 14,103e^{8,7333x} \dots\dots\dots (9)$$

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

Tabel 1. Hasil Pengukuran Debit Aliran Mataair Kakap

Tanggal Pengukuran	TMA	Debit (liter/detik)
06-Apr-16	0,192	104,90
26-Apr-16	0,243	129,68
27-Apr-16	0,196	103,92
07-Mei-16	0,200	110,83
27-Mei-16	0,166	81,17
28-Mei-16	0,160	76,78
12-Jun-16	0,198	64,10
17-Jun-16	0,211	64,34
12 Juli 16	0,166	58,59
11 Agst 16	0,079	28,60
06-Sep-16	0,066	25,79
16-Sep-16	0,076	17,86
6-Okt-16	0,174	33,54
30-Nov-16	0,237	103,40
28-Des-16	0,295	149,35
11-Jan-17	0,135	59,90

Sumber : Pengukuran lapangan 2016-2017

Hasil kurva hubungan tinggi muka air di Mataair Kakap dengan debit alirannya tidak mempunyai hubungan linier karena sifat aliran sungai bawah tanah yang cenderung turbulen dan bukan laminar seperti halnya yang dijumpai pada sungai permukaan. Selanjutnya, rumus (9) digunakan untuk menghitung debit aliran

sepanjang tahun pada alat pencatat tinggi muka air yang dipasang di Mataair Kakap. Tinggi muka air yang tercatat di Mataair Kakap mempunyai interval pencatatan tiap 30 menit. Hasil penggambaran variasi debit aliran Mataair Kakap selama satu tahun disajikan pada Gambar 11.

Gambar 10. Hubungan Tinggi Muka Air Dan Debit di Mataair Kakap

Gambar 11. Variasi Debit Aliran di Mataair Kakap

Pada penelitian ini, kondisi debit aliran Mataair Kakap diasumsikan mewakili kawasan karst Gunungsewu. Sepanjang tahun, Mataair Kakap selalu dialiri air dan memiliki debit minimum sebesar sekitar 24,44 liter/detik yang terjadi pada puncak musim kemarau. Hasil pencatatan dari Jan 2016 sampai dengan Feb 2017

menunjukkan bahwa debit minimum dijumpai pada tanggal 31 November 2016, sebesar 21,5 liter/detik. Periode tanpa kejadian hujan yang diindikasikan dengan tidak terdapatnya kenaikan debit aliran terjadi dari Bulan Juli hingga Desember. Pada rentang waktu tersebut, secara teori tidak ada kejadian hujan sehingga komponen pengisi aliran sungai bawah tanah didominasi oleh aliran *diffuse*, terutama pada periode bulan Agustus-Desember 2016.

Periode banjir (*flood pulse period*) dimulai sejak tanggal 22 Januari Desember 2016 sampai akhir masa pencatatan (18 Pebruari 2017). Pada kurun waktu tersebut tercatat 21 kali kejadian banjir yang merupakan efek dari terjadinya hujan pada daerah tangkapan Mataair Kakap. Beberapa banjir yang cukup besar dua diantaranya adalah yang terjadi pada tanggal 3 Pebruari 2017, dengan debit puncak sebesar 717 liter/detik pada pukul 14.00 WIB, dan banjir pada tanggal 15 Pebruari 2015, pukul 15.30 dengan debit puncak mencapai 515,52 liter/detik.

b. Konstanta Resesi Hidrograf Banjir Mataair Kakap

Konstanta resesi (*recession constant* atau *depletion factor*) dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik akuifer karst dalam melepaskan komponen-komponen aliran sungai bawah tanah. Model yang dipakai adalah model tangki (*tank model*) yang dikenalkan oleh Schulz (1976). Aplikasi model resesi ini dapat digunakan untuk menghitung nilai konstanta resesi saluran/*conduit* (K_c), konstanta resesi aliran antara/*fissure* (K_i), dan konstanta aliran dasar/*baseflow* (K_b).

Di Mataair Kakap, terjadi puluhan kali banjir pada periode satu musim hujan, sedangkan analisis tidak dilakukan pada semua kejadian banjir. Pemilihan banjir yang dianalisis didasarkan pada keterwakilan nilai waktu dari puncak banjir sampai aliran normal ($T_b = \text{time to baseflow}$) sehingga banjir-banjir yang kecil atau sangat pendek dapat diabaikan karena secara matematis tidak valid jika dipaksakan diukur konstanta resesinya (Schulz, 1976). Konstanta resesi banjir terpilih pada berbagai komponen aliran dicari dengan persamaan:

$$Q(t) = Q(t_o)e^{-k(t-t_o)} \dots\dots\dots(10)$$

k adalah konstanta resesi pada suatu sistem akuifer, t adalah waktu pada debit ke t, dan t_0 adalah waktu pada debit awal resesi. Kemudian jika pada skala semi-log rumus ini dianggap linier, maka:

$$\ln Q(t) = -k(t - t_0) + \ln Q(t_0) \dots\dots\dots(11), \text{ atau}$$

$$k = -1/t - t_0 \ln (Q_t/Q_0) \dots\dots\dots(12)$$

Dari 41 kejadian banjir kemudian terpilih 6 kejadian banjir yang debitnya mencukupi dan waktu resesinya cukup panjang sesuai yang disyaratkan oleh Schulz (1976). Selanjutnya, grafik tiap kejadian banjir terpilih yang sudah dipisahkan komponen aliran dasarnya (*baseflow*) pada skala logaritma disajikan pada Gambar 12.

Gambar 12. Kejadian Resesi Banjir-Banjir Terpilih Mataair Kakap

Dari Gambar 12. tampak bahwa masing-masing kejadian banjir memiliki karakteristik kurva resesi yang berbeda-beda, terlihat dari bentuk kurva resesi yang dikenali dari debit puncak menuju ke aliran dasar. Perbedaan tersebut terlihat dalam paramater waktu resesi dari debit puncak menuju aliran dasar (*time to baseflow*= T_b), dan waktu dari aliran dasar menuju debit puncak (*time to peak*= T_p). Selain itu, kemiringan kurva resesi juga terlihat berbeda-beda pada tiap kejadian banjir yang diakibatkan faktor perbedaan karakteristik hujan pada daerah tangkapan yang tidak selalu seragam secara spasial dari waktu ke waktu (Schulz,1976). Akibatnya, hal ini berpengaruh pada hasil perhitungan nilai konstanta resesi banjir K_c , K_i , maupun K_b (Tabel 2.).

Secara umum, Nathan and McMahon (1990) menjelaskan bahwa julat nilai konstanta resesi untuk saluran (K_c) adalah 0,2-0,8; aliran antara (K_i) adalah 0,7–0,94; dan aliran dasar (K_b) berkisar 0,93–0,995. Dari perhitungan yang sudah disajikan pada Tabel 4.5. diketahui bahwa nilai K_c periode banjir di Mataair Kakap mempunyai julat antara 0,101–0,84 dengan nilai rerata sebesar 0,483, sedangkan nilai K_i berjulat 0,625–0,97 dengan rerata 0,79, dan julat konstanta resesi aliran dasar (K_b) menunjukkan variasi antara 0,974-0,99 dengan nilai rata-rata sebesar 0,991.

Tabel 2. Konstanta Resesi, T_p dan T_b Hidrograf Banjir Terpilih Mataair Kakap

No	Debit Puncak (liter/detik)	BFI Index	K_b	K_i	K_c	T_p (jam)	T_b (jam)
Banjir 1	497	0,432	0,999	0,774	0,100	9	13,5
Banjir 2	2030	0,942	0,999	0,625	0,280	3	6,5
Banjir 3	261	0,140	0,991	0,785	0,772	4	15,5
Banjir 4	182	0,260	0,974	0,791	0,585	5,5	9,5
Banjir 5	348	0,747	0,997	0,845	0,845	5,5	9,5
Banjir 6	681	0,446	0,987	0,972	0,316	8	15,5
	rerata	0,494	0,991	0,799	0,483	5,8	11,6

Sumber : Pengukuran lapangan dan analisis data tahun 2017

Perhitungan nilai *time to peak* (T_p) yaitu lama waktu yang dibutuhkan oleh aliran sungai bawah tanah dari debit normal untuk mencapai puncak banjir di Mataair Kakap berkisar antara 3 sampai dengan 9 jam sejak hujan mulai turun di daerah tangkapan dengan rata-rata waktu adalah sekitar 5,8 jam untuk mencapai banjir

puncak, dengan rerata waktu resesi yang diperlukan dari puncak banjir untuk mencapai aliran dasar (T_b) adalah sekitar 11,6 jam. Sementara itu nilai K_b rata-rata adalah sebesar 0,991, sedangkan nilai K_i dan K_c secara berturut-turut adalah 0,799 dan 0,483.

c. Pemisahan Aliran Dasar Mataair Kakap

Pemisahan aliran dasar dilakukan untuk mengetahui prosentase komponen aliran yang mensuplai aliran mataair tergantung dari kondisi pelepasan komponen air dari akuifer karst. Dua jenis aliran yang dipisahkan adalah (1) aliran langsung dan aliran antara (*conduit-fissure*); dan (2) aliran dasar (*diffuse flow*). Karena panjangnya data debit tiap 30 menit secara *time series* selama periode satu tahun pemasangan alat di Mataair Kakap, maka digunakan cara pemisahan aliran dasar secara otomatis yaitu model *automated base flow separation by digital filtering method* yang dikembangkan oleh Eckhardt (2005), seperti yang sudah dijelaskan pada Rumus (3). Data utama yang diperlukan adalah data konstanta resesi aliran dasar Mataair Kakap (K_b) atau oleh Eckhardt disebut digital filtering yang nilai reratanya adalah sebesar 0,991. Nilai BFI_{max} yang digunakan adalah 0,494 yang diperoleh dari baseflow tertinggi dibagi debit puncaknya. Hasil pemisahan aliran dasar Mataair Kakap disajikan pada Gambar 13 dan prosentase bulannya disajikan pada Tabel 3.

Gambar 13. Fluktuasi Aliran Dasar Mataair Kakap periode Jan 2016 – Feb 2017

Dari perhitungan rasio total aliran dasar bulanan terhadap total aliran (Tabel 3.), tampak bahwa secara umum nilai rasionya mendekati angka sekitar 90%. Hal ini disebabkan oleh sifat pelepasan aliran akuifer karst yang didominasi oleh retakan bertipe *diffuse*. Jika dibedakan antara musim penghujan dan kemarau, terlihat perbedaan mengecilnya dominasi *diffuse flow* yang diakibatkan oleh adanya banjir yang memicu pelepasan komponen aliran *conduit* menuju mataair. Jika dicermati karakteristik temporalnya, nampak bahwa semakin menuju ke puncak musim kemarau, dominasi aliran dasar semakin besar karena berkurangnya aliran *conduit* dan *fissure* yang dilepaskan oleh akuifer karst di sekitar Mataair Kakap.

Tabel 3. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran Tiap Bulan Mataair Kakap

No	Bulan	Prosentase aliran dasar (%)	musim
1	Mar-16	79,93	hujan
1	Apr-16	79,93	kemarau
2	Mei-16	79,63	kemarau
3	Jun-16	78,86	kemarau
4	Jul-16	80,81	kemarau
5	Agu-16	80,74	kemarau
6	Sep-16	76,60	kemarau
7	Okt-16	76,09	kemarau
8	Nov-16	72,30	hujan
9	Des-16	69,54	hujan
10	Jan-17	84,23	hujan
11	Feb-17	80,78	hujan

Sumber : hasil analisis data 2017

Rasio aliran dasar dan total aliran pada musim penghujan pada bulan-bulan tertentu menunjukkan angka yang lebih kecil dibandingkan pada musim kemarau, dan mempunyai kecenderungan membesar seiring dengan berakhirnya musim hujan (Maret-April 2016). Sebagai contoh rasio pada bulan Desember 2017 menunjukkan angka 69,54 % yang berarti total alirannya terpengaruh kontribusi dari aliran *conduit*. Rasio yang disajikan pada Tabel 3 merupakan nilai rata-rata bulanan, sehingga tidak menunjukkan rasio per kejadian hujan.

Rasio komponen aliran *diffuse* pada saat banjir terhadap total aliran Mataair Kakap sangat berbeda dengan rasio bulanannya (Tabel 4). Pada awal sampai tengah musim hujan, rasio selalu kurang dari 50% yaitu berkisar antara 14-46%, bahkan pada kejadian 3 Pebruari 2017, rasio menunjukkan angka yang kecil yaitu 14,68%. Hal ini mengindikasikan bahwa akuifer karst belum menambah pasokan komponen *diffuse flow* menuju sungai, sementara pasokan *conduit flow* dari permukaan karst menjadi dominan saat kejadian banjir. Kemudian, jika periode musim hujan sudah berakhir, maka dari waktu ke waktu kecenderungan rasio *diffuse flow* mengalami peningkatan.

Tabel. 4. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran pada Kejadian Banjir Terpilih di Mataair Kakap

No	Waktu banjir		Debit puncak (liter/detik)	Prosentase aliran dasar (%)	Periode hujan
	Tanggal	Jam			
1	11/02/16	13:00	265,6	43	Tengah
2	01/03/16	16:00	220,6	44	Akhir
3	21/01/17	06:30	376,2	46	Awal
4	24/01/17	15:30	215,1	26	Tengah
5	03/02/17	16:30	717,9	14	Tengah
6	15/02/17	15:00	506,3	44	Tengah

6.2. Variasi temporal aliran di Mataair Sumbersemen (Rembang)

a. Hubungan tinggi muka air dan debit Mataair Sumbersemen

Mataair Sumbersemen terletak di Desa Gading, Kecamatan Sale, Kabupaten Rembang. Mataair Sumbersemen merupakan salah satu mataair yang terbesar debitnya di Kecamatan Sale dan mengalir sepanjang tahun (perennial). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi akuifer memiliki simpanan air yang cukup, sehingga mataair ini dijadikan sumber air oleh PDAM Kabupaten Tuban. Kondisi Mataair secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 14.

Gambar 14. Mataair Sumbersemen

Mataair Sumbersemen memiliki aliran yang tenang atau biasa disebut dengan aliran laminar dalam keadaan normal. Namun, pada keadaan banjir, aliran berubah menjadi turbulen. Mataair Sumbersemen memiliki morfometri tepian aliran yang memungkinkan untuk dilakukan pemasangan alat pencatat tinggi muka air (*water level logger*) seperti yang disajikan pada Gambar 15.

Gambar 15. TMA mataair pada kondisi normal (kiri) dan TMA mataair pada kondisi banjir

Pencatatan tinggi muka air (TMA) Mataair Sumbersemen dilakukan selama periode bulan Januari 2016 hingga Agustus 2017. Selain pemasangan alat pencatat TMA otomatis juga dilakukan pengukuran debit mataair (Gambar 17) pada berbagai variasi aliran. Nilai debit yang diperoleh akan dipasangkan dengan data TMA untuk menentukan hubungan dalam bentuk *stage discharge rating curve*. Pengukuran debit

dilakukan pada periode penelitian selama ada perbedaan TMA pada mataair (TMA rendah, sedang, dan tinggi). Hasil pengukuran debit dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Debit Aliran Mataair Sumbersemen

Tanggal	TMA (m)	Debit (ltr/dtk)
30/01/2016	0,4	510
05/02/2016	0,6	640
26/02/2016	0,8	790
27/05/2016	1,0	940
18/06/2016	1,2	1100
26/02/2016	1,6	1420
18/06/2016	1,8	1580
18/06/2016	2,0	1740
21/01/2017	0,5	550
13/02/2017	0,5	520

Sumber: pengukuran lapangan 2016-2017

Persamaan yang ada kemudian digunakan untuk menghitung debit aliran berdasarkan *logger* yang memiliki interval pencatatan setiap 30 menit. Setelah memasukkan nilai TMA yang diukur secara manual, maka TMA akan muncul secara otomatis sesuai dengan nilai persamaan. Nilai TMA merupakan variabel x yang dimasukkan kedalam rumus *rating curve*. Kurva hubungan TMA dan debit Mataair Sumbersemen dapat dilihat pada Gambar 16. Hasil persamaan regresi menunjukkan nilai determinasi yang tinggi, yaitu 0,998. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua variabel memiliki hubungan yang positif, yang berarti bahwa nilai debit dipengaruhi faktor TMA sebesar 99,8%. Selanjutnya, hidrograf aliran selama periode pengukuran ditunjukkan pada Gambar 18.

Gambar 16. *Stage Discharge Rating Curve* Mataair Sumbersemen
(Sumber: Olah Data, 2017)

Persamaan kurva regresi yang dihasilkan dari pengukuran tersebut adalah:

$$Y = 787,74x + 159.75 \dots\dots\dots (12)$$

di mana: y adalah debit aliran (liter/detik) dan x adalah TMA (m)

Gambar 17. Pengukuran debit dengan *slope area method* (kiri) download data logger TMA (Sumber: Foto lapangan 2017)

Gambar 18. Hidrograf aliran Mataair Sumbersemen selama periode pengukuran

b. Konstanta Resesi Hidrograf Banjir Sumbersemen

Selama periode penelitian terdapat 7 banjir yang digunakan untuk perhitungan resesi hidrograf. Pemilihan kejadian banjir yang digunakan untuk perhitungan resesi hidrograf adalah banjir yang cukup besar dengan waktu puncak banjir kembali ke aliran dasar (time to base = T_b) cukup lama. Sampel kejadian resesi banjir yang dipilih dapat dilihat pada Gambar 19.

Selanjutnya, hasil perhitungan nilai resesi disajikan pada Tabel 6. Pada Mataair Sumbersemen ini nilai K_b rata-rata adalah sebesar 0,988 dan tidak dijumpai nilai K_i dan K_c yang menunjukkan aliran langsung/aliran cepat/conduit yang mengimbuh mataair ini hanya sesaat dan tidak melalui akuifer tetapi lebih dominan melalui permukaan, yang diperkuat dengan perhitungan rerata nilai T_p dan T_b yang relatif singkat, yaitu 3,8 dan 4,8 jam saja. Hal ini mengindikasikan bahwa Mataair Sumbersemen ini sangat didominasi oleh simpanan aliran airtanah dalam yang bersifat seragam dan stabil sepanjang tahun.

Gambar 19. Kurva Resesi sampel banjir Mataair Sumbersemen

Tabel 6. Konstanta Resesi, T_p dan T_b Hidrograf Banjir Terpilih Sumbersemen

No	Waktu		Debit puncak(lt/dt)	Kr Baseflow (K_b)	Kr Interflow (K_i)	Kr channel (K_c)	T_p (jam)	T_b (jam)
	tanggal	jam						
1	27/05/16	13:00	1410	0,991	-	-	4	6,5
2	18/06/16	16:00	1648	0,988	-	-	3,5	7,5
3	30/06/16	06:30	1224	0,998	-	-	4	5
4	09/10/16	15:30	1229	0,993	-	-	3,5	2,5
5	20/1/17	16:30	1367	0,991	-	-	4,5	5
6	21/1/17	15:00	697	0,966	-	-	3	3
7	23/1/17	15:30	1195	0,995	-	-	4	4
rerata				0.988	-	-	3,8	5,5

c. Pemisahan Aliran Dasar Sumbersemen

Pemisahan aliran dasar dilakukan untuk mengetahui prosentase komponen aliran yang mensuplai aliran SBT tergantung dari kondisi pelepasan komponen air dari akuifer karst. Dua jenis aliran yang dipisahkan adalah (1) aliran langsung dan aliran antara (*conduit-fissure*); dan (2) aliran dasar (*diffuse flow*). Karena panjangnya data debit tiap 30 menit secara *time series* selama periode satu tahun pemasangan alat di Sumbersemen, maka digunakan cara pemisahan aliran dasar secara otomatis

yaitu model *automated base flow separation by digital filtering method* yang dikembangkan oleh Eckhardt (2005), seperti yang sudah dijelaskan pada Rumus (3). Data utama yang diperlukan adalah data konstanta resesi aliran dasar Sumbersemen (K_b) atau oleh Eckhardt disebut digital filtering yang nilai reratanya adalah sebesar 0,988. Nilai BFI_{max} yang digunakan adalah 0,494 yang diperoleh dari baseflow tertinggi dibagi debit puncaknya. Hasil pemisahan aliran dasar Mataair Sumbersemen disajikan pada Gambar 20 dan prosentase bulanannya disajikan pada Tabel. 7.

Gambar 20. Fluktuasi Aliran Dasar Mataair Kakap periode Januari 2016 – Agustus 2017

Dari perhitungan rasio total aliran dasar bulanan terhadap total aliran (Tabel 8), tampak bahwa secara umum nilai rasionya adalah 99%. Hal ini disebabkan oleh sifat pelepasan aliran akuifer karst yang didominasi oleh retakan bertipe *diffuse*.

Tabel 7. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran Tiap Bulan Mataair Sumbersemen

No	Bulan	Rasio (%)	musim
1	Februari 2016	99	hujan
2	Maret 2016	99	hujan
3	Apri 2016	99	hujan
4	Mei 2016	99	kemarau
5	Juni 2016	99	kemarau
6	Juli 2016	99	kemarau
7	Agustus 2016	99	kemarau
8	September 2016	99	kemarau
9	Oktober 2016	99	kemarau
10	November 2016	99	kemarau
11	Desember 2016	99	hujan
12	Januari 2016	99	hujan

Rasio komponen aliran *diffuse* pada saat banjir terhadap total aliran Mataair Sumbersemen sangat berbeda dengan rasio bulanannya (Tabel 8). Sepanjang musim hujan, rasio selalu kurang dari 50% yaitu berkisar antara 38-48%, bahkan pada kejadian 20 Januari 2017, rasio menunjukkan angka yang kecil yaitu 38%. Hal ini mengindikasikan bahwa akuifer karst belum menambah pasokan komponen *diffuse flow* menuju mataair, sementara pasokan *conduit flow* atau aliran permukaan dari permukaan karst menjadi dominan saat kejadian banjir. Kemudian, jika periode musim hujan sudah berakhir, maka dari waktu ke waktu kecenderungan rasio *diffuse flow* mengalami peningkatan.

Tabel. 8. Rasio Aliran Dasar dan Total Aliran pada Kejadian Banjir Terpilih Sumbersemen

No	Waktu banjir		Debit puncak (liter/detik)	Rasio (%)	Periode hujan
	Tanggal	Jam			
1	27/05/16	13:00	1410	42	Akhir
2	18/06/16	16:00	1648	39	Akhir
3	30/06/16	06:30	1224	48	Akhir
4	09/10/16	15:30	1229	44	Awal
5	20/1/17	16:30	1367	38	Tengah
6	21/1/17	15:00	697	38	Tengah
7	23/1/17	15:30	1195	47	Tengah

6.3. Perbandingan nilai konstanta resesi, aliran dasar, dan karakteristik penyimpanan antara Mataair Kakap (Karst Gunungsewu-Wonogiri) dan Mataair Sumbersemen (Karst Rembang)

Perbandingan nilai nilai konstanta resesi, aliran dasar, dan karakteristik penyimpanan antara Mataair Kakap (Karst Gunungsewu-Wonogiri) dan Mataair Sumbersemen (Karst Rembang) disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Kondisi Komponen Aliran Akuifer Karst Atas Dasar Perbandingan Angka Paramater Hidrograf dan aliran dasar

Paramater hidrograf	Mataair	Perbandingan	Karakteristik
$K_b = 0,991$	Kakap (Karst Gunungsewu)	> Sumbersemen	Akuifer melepaskan komponen diffuse lebih lambat dari pada akuifer di Mataair Sumbersemen
$K_i = 0,799$		terdeteksi	Terdapat simpanan air pada rekahan fissure
$K_c = 0,483$		terdeteksi	Terdapat simpanan air pada rekahan conduit
$T_p = 5,8 \text{ jam}$		> Sumbersemen	Mataair karst merespon aliran conduit dari daerah tangkapan dengan cepat, meskipun masih lebih lambat dibanding akuifer di Mataaair Sumbersemen
$T_b = 11,6 \text{ jam}$		> Sumbersemen	Mataair karst mempunyai aliran fissure dan conduit yang cukup lama bertahan saat periode banjir
Aliran dasar bulanan = 78,3%		< Sumbersemen	Menunjukkan dominasi rekahan bertipe diffuse yang cukup dominan
Aliran dasar saat banjir = 36,2%		< Sumbersemen	Menunjukkan adanya perkembangan aliran conduit
$K_b = 0,988$	Sumbersemen (Karst Rembang)	< Kakap	Akuifer melepaskan komponen diffuse lebih cepat dari pada akuifer di Mataair kakap
$K_i = \text{tidak terdeteksi}$		Tidak terdeteksi	Tidak terdapat simpanan air pada rekahan fissure
$K_c = \text{tidak terdeteksi}$		Tidak terdeteksi	Tidak terdapat simpanan air pada rekahan conduit
$T_p = 3,8 \text{ jam}$		< Kakap	Respon yang sangat cepat, kemungkinan berasal dari aliran permukaan (bukan dari simpanan conduit)
$T_b = 5,5 \text{ jam}$		< kakap	Tidak menunjukkan adanya simpanan fissure atu conduit
Aliran dasar bulanan = 99%		> Kakap	Simpanan aliran dasar yang sangat tinggi, kemungkinan berasal dari airtanah dalam dan bukan semata-mata dari lorong diffuse
Aliran dasar saat banjir = 42,3%		> Kakap	Kecilnya aliran dasar saat banjir lebih disebabkan aliran permukaan dan bukan dari simpanan fissure atau conduit

* K_c =konstanta resesi *conduit*; K_i =konstanta resesi *fissure*; K_b =konstanta resesi *diffuse*

* T_p = *time to peak*; T_b = *time to baseflow*

VII. KESIMPULAN

Dari dua mataair di daerah penelitian (Mataair Kakap-Karst Gunungsewu; dan Mataair Sumbersemen-Karst Rembang) yang telah dianalisis terkait parameter-parameter hidrograf banjir dan resesinya, maka terdapat beberapa perbedaan akuifer dalam melepaskan komponen alirannya, yaitu:

- a. Mataair Kakap mempunyai tiga tipe aliran yaitu *diffuse*, *fissure*, dan *conduit*. Terkait aliran dasar/*diffuse*/*base flow*, mataair ini melepaskan komponen *diffuse* lebih lambat dari pada akuifer karst di Mataair Sumbersemen. Saat musim hujan, Mataair Kakap merespon aliran *conduit* dari daerah tangkapan dengan cepat, meskipun masih lebih lambat dibanding yang dijumpai di Mataair Sumbersemen. Dari beberapa hal tersebut dapat disimpulkan bahwa selain memiliki aliran *diffuse* yang dominan sepanjang tahun (aliran dasar bulanan hampir mencapai nilai 80%), akuifer di Mataair Kakap telah memiliki jaringan lorong *conduit* yang berkembang secara lanjut (aliran dasar saat periode banjir kurang dari 40%);
- b. Mataair Sumbersemen hanya memiliki satu tipe aliran dominan yang diimbuh dari akuifer yaitu tipe aliran *diffuse* (lambat). Saat musim hujan, respon sangat cepat terhadap hujan kemungkinan berasal dari aliran permukaan (bukan dari simpanan *conduit*). Hal ini dibuktikan dengan sangat kecilnya aliran dasar saat periode banjir dengan nilai T_p (*time to peak*) dan T_b (*time to baseflow*) yang sangat singkat. Selain itu, Simpanan aliran dasar yang sangat tinggi sepanjang tahun (99%), menunjukkan bahwa kemungkinan aliran dasar berasal dari airtanah dalam dan bukan semata-mata dari lorong *diffuse*.

VIII. SARAN

Penelitian ini masih memerlukan konfirmasi lanjutan, yaitu hubungan *time series* antara data hujan dan data debit aliran.

IX. DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T. N. 2011. 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. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol 6 No. 3, Hal. 165-175
- Adji, T. N., 2010. Spatial and Temporal Variation of Hydrogeochemistry and Karst Flow Properties to Characterize Karst Dynamic System in Bribin Underground River, Gunung Kidul Regency, DIY Province Java, Indonesia. Summary, *Dissertation in Geography Study Program*. Graduate School of Geography, Gadjah Mada University, Yogyakarta
- Adji, T. N., 2010. Variasi Spasial-Temporal Hidrogeokimia dan Sifat Aliran Untuk Karakterisasi Sistem Karst Dinamis Di Sungai Bawah Tanah Bribin, Kabupaten Gunungkidul, DIY. *Desertasi*. Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Adji, T. N., et al. 2006. The Distribution Of Flood Hydrograph Recession Constant Of Bribin River For Gunung Sewu Karst Aquifer Characterization. *Dipublikasi ulang dari Gunung Sewu-Indonesian Cave and Karst Journal (Vol. 2. No.2)*
- Adji, T.N. 2011, Upper Catchment of Bribin Underground River Hydrogeochemistry (Gunung Sewu Karst, Java, Indonesia), Proceeding of Asian Trans-Disciplinary Karst Conference, Jogjakarta, 2011
- Adji, T.N. 2012, Wet Season Hydrochemistry of Bribin River in Gunung Sewu Karst, Indonesia, *Environmental Earth Sciences* , Vol. 67:1563–1572 pp
- Adji, T.N. dan Haryono, E., 1999. Konflik Antara Pemanfaatan Batugamping dan Konservasi Sumberdaya Air Das Bribin di Wilayah Karst Gunung Sewu, Makalah Lokakarya Nasional Menuju Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Berbasis Ekosistem Untuk Mereduksi Konflik Antar Daerah, Yogyakarta, , Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, September 1999
- Adji, T.N., 2005, Agresivitas Airtanah Karst Sungai Bawah Tanah Bribin, Gunung Sewu, Indonesian Cave and Karst Journal, Vol. 1 No1, HIKESPI
- Adji, T.N., 2013, Hubungan Karakter Aliran dan Sifat Kimia Mataair Petoyan Untuk Karakterisasi Akuifer Karst, Hibah Dana Masyarakat Fak. Geografi UGM
- Adji, T.N., 2014, Analisis Hidrograf Aliran Untuk Penentuan Derajat Karstifikasi Pada Beberapa Kondisi Mataair dan Sungai Bawah Tanah Karst, Hibah Dana Masyarakat Fak. Geografi UGM
- Adji, T.N., 2015, Sebaran Spasial Tingkat Karstifikasi Area Pada Beberapa Mataair dan Sungai Bawah Tanah Karst Menggunakan Rumus Resesi Hidrograph Malik and Vojtkova (2012), Hibah BOPTN Fak. Geografi UGM, 2015
- Adji, T.N., 2016, Distribusi Spasial Respon Debit Mataair dan Sungai Bawah Tanah Terhadap Hujan Untuk Prediksi Kapasitas Penyimpanan Air oleh Akuifer Karst di Sebagian Wilayah Karst di Pulau Jawa, Hibah BOPTN Fak. Geografi UGM, 2016
- Adji, T.N., Cahyadi, A., 2016, Pentingnya Monitoring Parameter-Parameter Hidrograf Dalam Pengelolaan Airtanah di Daerah Karst, Seminar Nasional Ekohidrolika APCE-UNESCO, Jogjakarta, 12-14 Oktober 2016
- Adji, T.N., Haryono, E., Woro, S, 1999, Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia, Seminar PIT IGI di Universitas Indonesia, 26-27 Oktober 1999

- Adji, T.N., Hendrayana, H., Sudarmadji, dan Suratman, W., 2009. Diffuse Flow Separation Within Karst Underground River At Ngreneng Cave. *Proceeding of International Conference Earth Science and Technology*, 6-7 Aug, Yogyakarta.
- Adji, T.N., Misqi, M., 2009, The Distribution of Flood Hydrograph Recession Constant for Characterization of Karst Spring and Underground River Flow Components Releasing Within Gunung Sewu Karst Region, *Indonesian Journal of Geography*, XLII(1)
- Adji, T.N., Sudarmadji, Suprojo, S.W., Hendrayana, H., Hariadi, B., 2007. The Distribution of Flood Hydrograph Recession Constant of Bribin River for Gunung Sewu Karst Aquifer Characterization, *Proceeding of International Symposium on Earth Resources and Geological Engineering Educational*, 17-18 Dec 2007, Jogjakarta
- Bonacci, O., 1993, Regionalization in karst regions, *Proceedings of the Ljubljana Symposium*, April 1990, IAHS Publ. no. 191, 1990
- Boussinesq, J., 1904. Recherches theoriques sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le débit des sources, *J. Math. Pure. Appl.*, 10, 5-78
- Dewandel, B., Lachassagne, P., Bakalowicz, M., & Weng, P., 2003. Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs. Application to the Oman ophiolite hard-rock aquifer. *Journal of Hydrology*, 274, 248-269
- Eckhardt K, 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes* 19, 507-515.
- Ford, D. and Williams, P. 2007, *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman and Hall, London
- Gillieson, D., 1996, *Caves: Processes, Development, and Management*, Blackwell, Oxford
- Hammond, M., Han, D, 2006. Recession Curve Estimation for Storm Event Separations, *Journal of Hydrology*, 330 (3-4), 573-585
- Haryono, E. dan Adji, T.N. 2004. Geomorfologi dan Hidrologi Karst. Yogyakarta: Kelompok Studi Karst, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
- Kresic, N. (2013). *Water in Karst ; Management, Vulnerability, and Restoration*. New York: McGraw-Hill
- Maillet, E., 1905, Essais d'hydraulique souterrain et fluviale, *Librairie Scientifique*, A. Hermann, Paris, 218 pp.
- Malik, P. and Vojtkova, S., 2012, Use of recession-curve analysis for estimation of karstification degree and its application in assessing overflow/underflow conditions in closely spaced karstic springs, *Environmental Earth Sciences Journal*, Vol 65, Issue 8, pp 2245-2257
- Malik, P., 2015. Evaluating Discharge Regimes of Karst Aquifers. In Z. Stevanovic', *Karst Aquifers – Characterization and Engineering* (pp. 205-249). -: Springer International Publishing Switzerland.
- Milanovic, P., 1981, *Karst Hydrogeology*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA
- Nathan, R., & McMahon, T., 1990, Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recessions Analysis. *Water Resources Research Vol. 26 no.7*, 1465-1473
- Plagnes, V. and Bakalowicz, M., 2001, May it propose a unique interpretation for karstic spring chemographs? In: J. Mudry and F. Zwahlen (Editors), *7th Conference on Limestone Hydrology and Fissured Media*. Franche-Comté University, Besançon, pp. 293-298

- Posavec, K., Parlov, J., & Nakic, Z., 2010, Fully Automated Objective-Based Method for Master Recession Curve Separation. *Groundwater Vol 48. No.4*, 598–603.
- Rashed, K.A., 2012, Assessing Degree of Karstification: A New Method Of Classifying Karst Aquifers, *Sixteenth International Water Technology Conference, IWTC 16 2012*, Istanbul, Turkey
- Rivera-Ramírez, H. D., Warner, G., & Scatena, F., 2002, Prediction of master recession curves and baseflow recessions in the luquillo mountains of Puerto Rico. *American Water Resources Association vol.38 no.3*, 993-704
- Schulz , E. F., 1976, *Problems in Applied Hydrology*. Colorado: Water Resources Publication
- Seyhan, E.,1990. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Yogyakarta: Gama Press.
- Shuster, E.T., White, W.B., 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers. *Journal of Hydrology 14*: 93-128
- Smatkin, V. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology 240*, 147–186.
- Tallaksen, L.,1995. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology 165* , 349-370

X. BIODATA PENELITI

A. DATA DIRI

Name : Dr. Tjahyo Nugroho Adji, S.Si, MSc.Tech
NIDN : 0028017202
Place / DOB : Magelang / 28 January 1972
NIP : 197201281998031001
Pangkat : IVB/Lektor Kepala
Address : Faculty of Geography, Gadjah Mada University, Jogjakarta, Indonesia
55281, ph:62-8122967492, email: adji@geo.ugm.ac.id
Bidang keahlian : Geohidrologi, Karst Hidrologi, Hidrogeokimia

B. PENDIDIKAN UTAMA

1. Sarjana Sains (S.Si) Pengkhususan Hidrologi, Jurusan Geografi Fisik, Fak. Geografi-Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 1996, Thesis: **Kualitas Air Gua-Gua Karst di sekitar Cekungan Wonosari (Studi Kasus: DAS Bribin)**
2. Master of Science and Technology (MSc.Tech) in Groundwater Studies , School of Geology, University of New South Wales, Sydney, Australia, 2002, Thesis: **Vertical Hydrogeochemical Zonation within Astrolabe Park Landfill, Sydney, Australia**
3. Doktor (S-3) Program Studi Geografi, Universitas Gadjah Mada (2010) dengan judul disertasi: **Kajian Variasi Spasial-Temporal Hidrogeokimia Dan Sifat Aliran Untuk Karakterisasi Perilaku Sistem Karst Dinamis (SKD) Sepanjang Sungai Bawah Tanah (SBT) Bribin**

C. PENELITIAN

1. Adji, T.N., 2017, **Karakterisasi Kurva Resesi Aliran Pada Beberapa Mataair Karst, Hibah penelitian Dosen dan Laboratorium, Fak. Geografi UGM, 2017**
2. Adji, T.N., 2017, **Model Tingkat Perkembangan Pelorongan Akuifer Karst Untuk Identifikasi Kapasitas Penyerapan Karbon Sebagai Antisipasi Bencana Pemanasan Iklim Global, Hibah Pasca Sarjana Kemenristek-Dikti, 2017**
3. Adji, T.N., 2016, **Distribusi Spasial Respon Debit Mataair dan Sungai Bawah Tanah Terhadap Hujan Untuk Prediksi Kapasitas Penyimpanan Air oleh Akuifer Karst di Sebagian Wilayah Karst di Pulau Jawa, Hibah BOPTN Fak. Geografi UGM, 2016**
4. Adji, T.N., 2015, **Sebaran Spasial Tingkat Karstifikasi Area Pada Beberapa Mataair dan Sungai Bawah Tanah Karst Menggunakan Rumus Resesi Hidrograph Malik and Vojtkova (2012), Hibah BOPTN Fak. Geografi UGM, 2015**
5. Adji, T.N., 2014, **Analisis Hidrograf Aliran Untuk Penentuan Derajat Karstifikasi Pada Beberapa Kondisi Mataair dan Sungai Bawah Tanah Karst, Hibah Dana Masyarakat Fak. Geografi UGM, 2014**
6. Adji, T.N., 2014, **Zonasi Potensi Airtanah Dengan Menggunakan Beberapa Parameter Lapangan dan Pendekatan SIG di Daerah Kepesisiran, Hibah Sekolah Vokasi UGM, 2014**
7. Adji, T.N., 2013, **Hubungan Karakter Aliran dan Sifat Kimia Mataair Petoyan**

- Untuk Karakterisasi Akuifer Karst, Hibah Dana Masyarakat Fak. Geografi UGM, 2013**
8. **Analisis Potensi Pencemaran Airtanah Bebas Di Kawasan Gumuk Pasir Parangtritis, Anggaran Dana Masyarakat UGM Nomor: LPPM-UGM/2166/BID.I/2012 11 Juli 2012**
 9. **Perhitungan Kadar CO₂ terlarut dan Tingkat Denudasi di DAS Bribin, Gunungsewu, Yogyakarta, Hibah BPOTN, no.: LPPM-UGM/3521/BID.1/2012**
 10. **Hibah Penelitian Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Internasional "Carbon Flux Characterization and Climate Change Reconstruction Based on Hydrological and Geomorphologic Signatures From Karst Environment", 2010-2012**
 11. **Pengembangan Metode ERT Geolistrik Untuk Permasalahan-Permasalahan Lingkungan, 2010-2011**
 12. **Adji, T.N., 2009, Karakterisasi Pelepasan Komponen Aliran Pada Akuifer Berbatuan Gamping Secara Spasial Untuk Penentuan Aliran Mantap di Kawasan Sulit Air Karst Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul, 2009, Hibah Doktor**
 13. **Pengembangan Metode Konservasi Air Bawahtanah di Kawasan Karst Sistem Bribin-Baron, Kabupaten Gunungkidul, 2009,**
 14. **Storm Rainfall Distribution Analysis, PT Newmont Nusa Tenggara, 2008**
 15. **Kajian Variasi Hidrogeokimia dan Sifat Aliran Sungai Bawah Tanah Untuk Karakterisasi Perilaku Sistem Karst Dinamis (SKD) Daerah Tropis (Studi Kasus: Sungai Bribin), 2005-2010**
 16. **Kajian Geolistrik Pada Akuifer Merapi di wilayah Kotamadya Jogjakarta Untuk Pembuatan Sumur Produksi Dalam , 2007**
 17. **Seksi Biofisik pada Kegiatan Identifikasi dan Inventarisasi Sumber Mataair di BP DAS Serayu Opak Progo (SOP), Juni-Agustus 2007**
 18. **Kajian Karakteristik Akuifer Karst dan lembah karst di Kawasan Karst Gunung Kidul, 2007**
 19. **Survey Geolistrik Untuk Penentuan Sumur Produksi Dalam di Distrik Teluk Arguni, Kab. Kaimana, Juli-Oktober 2006**
 20. **Hydrological Assessment Around Darajat Geothermal Operation, PT Chevron , 2005-2006**
 21. **Teknik Inverse Modelling Aplikasi Geolistrik Untuk Evaluasi Potensi Airtanah Pada Berbagai Kondisi Akuifer, 2004-2005**
 22. **Kajian Geolistrik Pada Akuifer Merapi Sekitar Kecamatan Pakem Untuk Pembuatan Sumur Produksi Dalam , 2004**
 23. **Penyelidikan Geolistrik Untuk Penyediaan Airtanah Pada Kebun Kelapa Sawit Muara Kandis, Sumsel, PT SMART Corporation Tbk, 2004**
 24. **Model Stratigrafi Daerah Peralihan Perbukitan Bokoharjo-Sistem Akuifer Merapi dengan Menggunakan Pendekatan Geolistrik-Resistivity Batuan Untuk Penentuan Potensi Airtanah, Kecamatan Prambanan, DIY, 2004**
 25. **Kajian Geolistrik Pada Akuifer Merapi Sekitar Kecamatan Ngaglik Untuk Pembuatan Sumur Produksi Dalam, PDAM Tirta Marta, Yogyakarta, 2004**
 26. **Studi Pemodelan Recharge Airtanah Kotamadya Yogyakarta, MAK 2520 Lembaga Penelitian UGM, 2003-2004**
 27. **Studi Perubahan Pola Aliran Airtanah Pasca Kejadian Longsoran Kalibayem,**

Yogyakarta, 2003

28. Adji, T.N., Nurjani, E., 1999, **Optimasi airtanah karst sebagai pemasok air domestik pada kawasan kritis air di Gunung Kidul**, Laporan Penelitian, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

D. PENGABDIAN PADA MASYARAKAT

1. **Inventarisasi data base Untuk CO₂ di kawasan karst**, Pusat SDAT dan Geologi Lingkungan, 2016
2. **Survei Pendahuluan Kawasan Bentangalam Karst di Provinsi Aceh**, 2016
3. **Survei Eksokarst, Endokarst, dan Hidrogeologi Karst Di IUP PT Samana Citra Agung Kabupaten Pidie**, 2015-2016
4. **Studi Aplikasi dan Metode Monitoring Sumur Pantau 711WM03 dan Mataair Pantau Karst 711WM04**, 2015
5. **Studi Potensi dan Neraca Sumberdaya Air Karst di Sekitar Rencana Pabrik Dan Area Tambang di Blora**, 2014-2015
6. **Studi Potensi Hidrologi Karst di sekitar tambang Semen Indonesia**, Rembang, Semen Indonesia, 2013
7. **Studi Potensi Mataair Karst di Kab. Banggai Kepulauan**, Badan Lingkungan Hidup, Kab. Bangkep, Sulteng, 2013
8. **Tenaga Ahli Penyusunan Urutan DAS Prioritas Di Wilayah Balai Pengelolaan DAS Remu Rensiki**, 2013
9. **Pembuatan sumur tampungan dan filtering di Telaga Karst Nangsri, Semanu, Gunungkidul**, 2013
10. **Studi Karakteristik Prioritas DAS**, Papua barat, BPDAS Remu-Rensiki, 2013
11. **Studi Imbangan Air di Sekitar Tambang Batugamping Holcim Site, Tuban**, 2012-2013
12. **Survei Hidrogeologi di Areal Eksplorasi Tambang PT Sinar Tambang Arthalestari, Kec. Ajibarang dan Kec. Gumelar**, Kab. Banyumas, 2012
13. **Pembuatan sumur tampungan dan filtering di Telaga Nangsri, Semanu, Gunungkidul**, 2012
14. **Survey KLHS Kab. Banggai Kepulauan**, Bappeda Kab. Bangkep, Sulteng, 2012
15. **Penyusunan Neraca Sumberdaya Alam dan Spasial Lingkungan Hidup (NSALH) Kabupaten Tanah Laut**, 2009
16. **Survey dan Evaluasi Airtanah untuk Keperluan Irigasi di Kab. Banyumas**, Litbang Banyumas, 2009
17. **Evaluasi dan Pembuatan Sistem Informasi Lingkungan (SIL) berbasis SIG di Kabupaten Teluk Bintuni**, 2009
18. **Evaluasi dan Pembuatan Sistem Informasi Lingkungan (SIL) berbasis SIG di Kabupaten Tanah Laut**, 2008
19. **Pemetaan Potensi dan Sebaran Potensi Daerah Airtanah di Kab. Sampang, Madura**, 2008
20. **Pemetaan Potensi dan Sebaran Potensi Daerah Karst di Kab. Sampang, Madura**, 2007 (PemKab Sampang)
21. **Evaluasi dan Pembuatan Sistem Informasi Lingkungan (SIL) berbasis SIG di Kabupaten Tanah Laut**, 2007

22. **Evaluasi Neraca Sumberdaya Air di Kabupaten Gunungkidul**, DIY, 2007
23. **Penyelidikan Potensi Airtanah sebagian Wilayah DIY**, Juli-November 2005
24. **Kegiatan Penyelidikan Potensi Airtanah Pasca Gempa 27 Mei 2005**, Juli-Desember 2005
25. **Kajian Geohidrologi di Wilayah Eks. Kotatip Cilacap Dalam Rangka Penatagunaan Airtanah**, Juni-Agustus 2005
26. **Penyusunan Rencana Induk Pengembangan Obyek Wisata Goa Gong dan Tabuhan, Pacitan**, Juni-September 2005
27. **Identifikasi Kerusakan Sumber Air Telaga dan Cara Pemulihan Kualitas Lingkungan di Kabupaten Gunungkidul**, 2005

E. PUBLIKASI

1. Adji, T.N., Haryono, E., Fatchurohman, H., Oktama, R., 2017, Spatial and temporal hydrochemistry variations of karst water in Gunung Sewu, Java, Indonesia, **Environmental Earth Sciences**, 76:709
2. Adji, T.N., Haryono, E., Mujib, A., Fatchurohman, H., Bahtiar, I., 2017, Assessment of aquifer karstification degree in some karst sites on Java Island, Indonesia, **Carbonates and Evaporites**, DOI 10.1007/s13146-017-0403-0
3. Haryono, E., Danardono, Mulatsih, S., Putro, S.T., Adji, T.N., 2016, The Nature of Carbon Flux in Gunungsewu Karst, Java-Indonesia, **Acta Carsologica** 45/1, 173–185, **Postojna**
4. Adji, T.N., Bahtiar, I.Y., 2016, Rainfall–discharge relationship and karst flow components analysis for karst aquifer characterization in Petoyan Spring, Java, Indonesia, **Environmental Earth Sciences**, 75:735
5. Adji, T.N., Haryono, E., Fatchurrohman, H., Oktama, R., 2016, Diffuse flow characteristics and their relation to hydrochemistry conditions in the Petoyan Spring, Gunungsewu Karst, Java, Indonesia, **Geosciences Journal**, Vol. 20, No. 3, p. 381 □ 390, June 2016
6. Adji, T.N., Wicaksono, D., Said, M.F., 2013, Analisis Potensi Pencemaran Airtanah Bebas di kawasan Gumuk Pasir Parangtritis, **Jurnal Riset Daerah**, Vol. XII, No.1, April, 2013
7. Adji, T.N. Jati, S.P., 2013, Identification of Groundwater Potential Zones Within an Area with Various Geomorphological Unit by Using Several Field Parameters and GIS Approach in Kulon Progo Regency, Java, Indonesia, **Arabian Journal of Geoscience**, Springer, 2012, Vol 1 (7), p.161-172
8. Gilang Arya Dipayana, Emilya Nurjani, dan Tjahyo Nugroho Adji, 2012, Estimasi Distribusi Spasial Nilai Imbuhan Airtanah Menggunakan Model *Water-Budget* dan *Geographic Information System* (GIS) di DAS Opak, DIY, **Prosiding Science, Engineering and Technology Seminar**, Malang ,2012
9. Adji, T.N. 2012, Wet Season Hydrochemistry of Bribin River in Gunung Sewu Karst, Indonesia, **Environmental Earth Sciences Journal**, Springer, 2012, vol. 67:1563–1572 pp
10. Adji, T.N., 2011, Pemisahan aliran dasar (*diffuse flow*) hulu daerah tangkapan hujan Sungai Bribin pada aliran Gua Gilap, Karst Gunung Sewu, Gunung Kidul, Yogyakarta, **Jurnal Geologi Indonesia**, Vol 6, No.3, Sept. 2011
11. Adji, T.N. 2011, Upper Catchment of Bribin Underground River Hydrogeochemistry

- (Gunung Sewu Karst, Java, Indonesia), **Proceeding of Asian Trans-Disciplinary Karst Conference**, Jogjakarta, 2011
12. Andrea Brunsch, Tjahyo Nugroho Adji, Daniel Stoffel, Muhammad Ikhwan, Peter Oberle, Franz Nestmann, 2011, Hydrological Assessment of a Karst Area In Southern Java With Respect To Climate Phenomena, **Proceeding of Asian Trans-Disciplinary Karst Conference**, Jogjakarta, 2011
 13. Adji, T.N., Rahmawati, N., 2010, *The Contribution of CO₂ Content in Rainfall to Dissolution Process in Karst Area (Case Study In Bribin Underground River)* , The **Proceeding of Technology cooperation and economic benefit of reduction of GHG emissions in Indonesia" held on 1-2 November 2010 in Hamburg**
 14. Hariadi, B., Adji, T.N., 2009, Variasi Temporal Hidrogeokimia Tetesan dari Ornamen Drapery di Dalam Gua Gilap di Kawasan Karst Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul, DIY, **Gunung Sewu-Indonesian Cave and Karst Journal**, Vol 5 No 1, April 2009
 15. Adji, T.N., Misqi, M., 2009, The Distribution of Flood Hydrograph Recession Constant for Characterization of Karst Spring and Underground River Flow Components Releasing Within Gunung Sewu Karst Region, Indonesia , **Indonesian Journal of Geography**, XII/1, December 2009
 16. Adji, T.N., Hendrayana, H., Sudarmadji, Suratman, Diffuse Flow Separation Within Karst Underground River at Ngreneng Cave, Yogyakarta, Indonesia, **International Conference Earth Science and Technology, 6-7 Aug 2009, Yogyakarta**
 17. **Proceeding of 15th International Congress of Speleology, ICS 2009**, Eko Haryono, Tjahyo Nugroho Adji, M. Widyastuti, Environmental Problems of Telaga (Doline Pond) in Gunungsewu Karst, Java Indonesia
 18. Adji, T.N., 2007, Application Of Water Table Fluctuation Method To Quantify Spatial Groundwater Recharge Within The Southern Slope Of Merapi Volcano, Indonesia, **Indonesian Journal of Geography**, Vol 39, No 2, Dec 2007
 19. Adji, T.N. 2009, **Proceeding of Indonesian Scientific Karst Forum (ISKF#1)**, Agustus 2008, artikel: "Pemisahan Aliran Dasar di Gua Gilap, Karst Gunung Sewu, Agustus 2008"
 20. Adji, T.N., Sudarmadji, Suprojo, S.W., Hendrayana, H., Hariadi, B., 2007. The Distribution of Flood Hydrograph Recession Constant of Bribin River for Gunung Sewu Karst Aquifer Characterization, **Proceeding of International Symposium on Earth Resources and Geological Engineering Educational** , 17-18 Dec 2007, Jogjakarta
 21. Rahmawati, N., Wibowo, A., Adji, T.N. 2007. Hydrogeochemical in Unconfined Aquifer in Part of Kulonprogo Regency, Indonesia, **Proceeding of International Conference on Chemical Sciences**, 24-26 May 2007
 22. Santosa, L.W., Adji, T.N., 2007. Application of Vertical Electrical Sounding (VES) Method to Identify the Occurrence of Groundwater Prospect in Arguni Bay Region, District of Kaimana, West Papua, **Forum Geografi, Jurnal Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta**, Vol. 21, No. 1, Juli 2007.
 23. Rahmawati, N., Adji, T.N., Santosa, L.W. 2007. Groundwater Quality Changes Due to Quake Within Part of Bantul Regency. **Proceeding of the second Jogja International Physics Conference (2nd JIPC)**
 24. Adji, T.N., 2006. Peranan Geomorfologi Dalam Kajian Kerentanan Air Bawah Tanah Karst Gunung Sewu, **Indonesian Cave and Karst Journal**, Vol 2, No 1, April 2006
 25. Adji, T.N., Noordianto, M.H. 2006. A Discussion of Groundwater Deterioration by

- Means of Its Recharge Within The Southern Part of Merapi Volcano, **Proceeding of International Interdisciplinary Conference-Volcano International Gathering, 2006**, 4-10 Sept 2006 ISSN 979-8918-53-3
26. Santosa, L.W., Adji, T.N., 2006. Pendugaan Geolistrik Untuk Identifikasi Keterdapatan Airtanah di Perkebunan Kelapa Sawit Muarakandis Kabupaten Musirawas, Provinsi Sumatera Selatan. **Jurnal Geografi Indonesia Vol 20, No 2, Sept, 2006**
 27. Adji, T.N., 2006. Kontribusi Hidrologi Karst Dalam Monitoring Keberlangsungan Ekosistem Karst, **Proceeding Seminar Nasional Biospeleologi dan Ekosistem Karst I, Yogyakarta, 5-6 Desember 2006**
 28. Fandeli, C., Adji, T.N. 2005. Analisis Daya Dukung Gua Untuk Pengembangan Ekowisata (Studi Kasus: Gua Gong dan Gua Tabuhan, Kabupaten Pacitan. **Jurnal Masyarakat Kebudayaan dan Politik Tahun XVIII, No. 4, Oktober 2005**
 29. Adji, T.N., Widyastuti, M., 2005, Application of Inverse Modelling Technique to Describe Hydrogeochemical Processes Responsible to Spatial Distribution of Groundwater Quality Along Flowpath, **Indonesian Journal of Geography Vol. XXXVII, Nr. 2, December 2005**
 30. Adji. T.N., 2005, Agresivitas Airtanah Karst Sungai Bawah Tanah Bribin , **Gunung Sewu-Indonesian Cave and Karst Journal, Vol 1. No.1 ,April 2005**
 31. Adji, T.N., 2003, Hydrogeochemical Perspective to Asses Groundwater Contamination within the Aquifer below the Landfill Site , **Indonesian Journal of Geography , Vol. XXXV, Nr.1, June 2003**
 32. Adji, 2003, T.N. Aspek Hidrogeokima Airtanah Karst di Sekitar Cekungan Wonosari, Kabupaten Gunung Kidul. Karst-Beberapa Karakteristik dan Pengelolaannya. ISBN 979878622-x
 33. Adji, T.N., Haryono, E., 2003. Analysis of Management Conflict Between Limestone Mining and Groundwater Preservation within The Bribin Underground Catchment Area, Gunung Kidul Regency. **The Proceeding of Symposium on Natural Resources, Faculty of Geography, GMU, August 2003**
 34. Haryono, E., Adji, T.N., 2003. Analysis of Changing on Groundwater Condition after Landslides in Kali Bayem Site, in Kalibayem: Mencari Alur Aslinya , **Journal of PEMDA Bantul (internal), June 2003**
 35. Adji, T.N., Haryono, E., Suprojo. S.W., 1999. Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia, **Prosiding Seminar PIT IGI di Universitas Indonesia, 26-27 Oktober 1999**

F. PAPER SEMINAR

1. Adji, T.N., Cahyadi, A., 2016, Pentingnya Monitoring Parameter-Parameter Hidrograf Dalam Pengelolaan Airtanah di Daerah Karst, **Seminar Nasional Ekohidrolika APCE-UNESCO, Jogjakarta, 12-14 Oktober 2016**
2. Adji, T.N., Mujib, M.A., Fatchurohman, H., Bahtiar, I.Y., 2014, Analisis Tingkat Perkembangan Akuifer Karst di Kawasan Karst Gunung Sewu, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Karst Rengel, Tuban, Jawa Timur Berdasarkan Analisis Hidrograf, **PIT IGI ke-17, UNY, Jogjakarta, 15 Nov 2014**
3. Adji, T.N., Wicaksono, D., Nurjani, E., 2014, Identifikasi Potensi Airtanah pada Area dengan Beragam Bentuklahan Menggunakan Beberapa Parameter Lapangan dan Pendekatan SIG di Kawasan Parangtritis, DIY, **Seminar Nasional Teknologi Terapan, Jogjakarta, Indonesia, 24 Juli 2014**

4. Fatchurohman, H., Adji, T.N., 2014, Study of Water-Rock Interaction to Characterize Karst Aquifer In Ngeleng Spring, **The 6th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium, Yogyakarta 28-30 Oktober 2014**
5. Adji, T.N., 2011, Upper Catchment of Bribin Underground River Hydrogeochemistry (Gunung Sewu Karst, Gunung Kidul, Java, Indonesia), **Asian Trans-Disciplinary Karst Conference 7-10 January 2011, Yogyakarta-Indonesia**
6. Adji, T.N., Rahmawati, N., 2010, *The Contribution of CO₂ Content in Rainfall to Dissolution Process in Karst Area (Case Study In Bribin Underground River)* , **The Proceeding of Technology cooperation and economic benefit of reduction of GHG emissions in Indonesia**" held on 1-2 November 2010 in Hamburg
7. Eko Haryono, Tjahyo Nugroho Adji, M. Widyastuti, Sutanto Trijuni, 2009, Atmospheric Carbon Dioxide Sequestration Trough Karst Denudation Process, Preliminary Estimation From Gunung Sewu Karst, **International Seminar on Achieving Resilient-Agriculture to Climate Change Through the Development of Climate-Based Risk Management Scheme**, PERHIMPI, Bogor 17-19 Desember 2009
8. **Integrated Water Resources Management Workshop**, September 2008, artikel: "Hydrological Properties of Bribin River System (Experience Learned for Seropan River System Project)"
9. **Indonesian Scientific Karst Forum (ISK F#1)**, Agustus 2008, artikel: "Pemisahan Aliran Gua Gilap.
10. **International Conference on Chemical Sciences**, 24-26 May 2007, artikel: "Hydrogeochemical in Unconfined Aquifer in Part of Kulonprogo Regency, Indonesia"
11. **Proceeding of International Symposium Geology for Education, 2007**, artikel: "The Distribution of Flood Hydrograph Recession Constant of Bribin River for Gunung Sewu Karst Aquifer Characterization"
12. **2007 International Conference on Karst Hydrogeology and Ecosystems Bowling Green, Kentucky, USA**, Water Resources Of Telaga (Small Lake) In Gunungsewu Karst:Environmental Problems And Rehabilitation Options, by: Eko Haryono, Tjahyo Nugroho Adji, M. Widyastuti, Kusdarwanto
13. **Proceeding of the second Jogja International Physics Conference (2nd JIPC)**, 2007, artikel: "Groundwater Quality Changes Due to Quake Within Part of Bantul Regency."
14. **Seminar Nasional Biospeleologi dan Ekosistem Karst I**, artikel: "Kontribusi Hidrologi Karst Dalam Monitoring Keberlangsungan Ekosistem Karst" , Yogyakarta, 5-6 Desember 2006
15. **International Interdisciplinary Conference-Volcano International Gathering**, artikel: "A Discussion of Groundwater Deterioration by Means of Its Recharge Within The Southern Part of Merapi Volcano", 4-10 Sept 2006, ISSN 979-8918-53-3
16. **The Proceeding of Symposium on Natural Resources, Faculty of Geography, GMU, August 2003**, artikel: "Analysis of Management Conflict Between Limestone Mining and Groundwater Preservation within The Bribin Underground Catchment Area, Gunung Kidul Regency"

G. MENULIS BUKU

1. **Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul**, by Santosa, Langgeng Wahyu; ADJI, Tjahyo Nugroho. Publisher: Yogyakarta, Gadjah Mada University Press, 2014, Description: xv, 299 p.; bib., ill.; 23 cm.
2. **Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) Kabupaten Banggai Kepulauan**; Langgeng Wahyu Santosa, ADJI, Tjahyo Nugroho dkk.; Cetakan Ke-1, 2014, ISBN

979-420-869-8, xxxi, 424 hlm

3. **Hydrogeochemistry and Karst Flow Properties of Bribin River, Indonesia**, Paperback – June 5, 2013, LAP LAMBERT Academic Publishing ISBN-10: 3659373214 Saarbrücken, Germany

H. NARA SUMBER

1. Nara sumber Penetapan kriteria kerusakan karst di RPP karst, Bogor 6 Juni 2016, Kementrian Kehutanan dan Lingkungan Hidup
2. Nara sumber Workshop dan diskusi rencana pengelolaan SDA dan LH kawasan karst Kalimantan di Samarinda, 1 Oktober 2015, Kementrian Kehutanan dan Lingkungan Hidup
3. Nara sumber Workshop dan Diskusi RPP karst Kalimantan, di Banjarmasin, tanggal 21 Oktober 2015, Kementrian Kehutanan dan Lingkungan Hidup
4. Narasumber pada kegiatan Lokakarya Nasional Pengelolaan Ekosistem Karst tanggal 14 - 15 Desember 2015, di Jakarta, Kementrian Kehutanan dan Lingkungan Hidup
5. Nara sumber pada Forum Diskusi Ilmiah 2014 dengan Tema "Hidrologi Karst", di Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, Jl. Diponegoro No. 57 Bandung, 11 Pebruari 2014

I. MATA KULIAH DIAMPU YG MEMILIKI MODUL

1. HIDROLOGI DASAR –S1
2. GEOMORFOLOGI DAN HIDROLOGI KARST-S1
3. GEOHIDROLOGI-S1
4. GEOMORFOLOGI LINGKUNGAN-S1
5. BIOGEOKIMIA LINGKUNGAN-S2
6. ANALISIS SUMBERDAYA LAHAN DAN AIR-S1
7. WATERSHED SYSTEM ANALYSIS-S2
8. GEOHIDROLOGI TERAPAN-S2
9. PRAKTIKUM GEOHIDROLOGI-S1
10. HIDROLOGI LINGKUNGAN-S2
11. GEOMORFOLOGI KARST-S2
12. METEOROLOGI DAN KLIMATOLOGI-S1

Yogyakarta, 10 Oktober 2017

Dr. Tjahyo Nugroho Adji, S.Si, M.Sc.Tech.