LAPORAN PENELITIAN
HIBAH PENELITIAN DOSEN

HUBUNGAN KARAKTER ALIRAN DAN SIFAT KIMIA MATAAIR PETOYAN
UNTUK KARAKTERISASI AKUIFER KARST

TJAHYO NUGROHO ADJI
LABORATORIUM GEOHIDROLOGI
JURUSAN GEOGRAFI LINGKUNGAN

Dibiayai dari
Dana Penerimaan Negara Bukan Pajak, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Tahun Anggaran 2013

UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS GEOGRAFI
2013

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN HIBAH PENELITIAN DOSEN FAKULTAS GEOGRAFI
TAHUN ANGGARAN 2013

1. Judul Penelitian : Hubungan Karakter Aliran dan Sifat Kimia Mataair Petoyan Untuk Karakterisasi Akuifer Karst

2. Identitas PenelitiKetua Peneliti*

a. Nama Lengkap : **Dr. Tjahyo Nugroho Adji, MSc.Tech**
b. NIP : 197201281998031001
c. Gol/Pangkat : IVa/Pembina
d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
e. Bidang Keahlian : Geohidrologi
f. Prodi/Jurusan : Geografi dan Ilmu Lingkungan/Geografi Lingkungan
g. Bidang Ilmu : Geohidrologi
h. Alamat Rumah : Pondok Gemilang A-12, Sendangadi, Mlati,Sleman
i. Telepon/Faks : 0274-4362134
j. E-mail : adji@geo.ugm.ac.id
k. Hand Phone : 08122967492

3. Anggota peneliti

No	Nama	L	NIM	Fakultas/Jurusan	Bidang Ilmu
1.	Hendy Fatchurohman	L	6627/GE	Geografi Lingkungan	Hidrologi
2.	Roza Oktama	L	6730/GE	Geografi Lingkungan	Hidrologi

4. Jangka Waktu Penelitian : 6 bulan mulai April 2013 - Agustus 2013
5. Lokasi Penelitian : Petoyan, Kec. Purwosari, Kab.Gunungkidul
6. Biaya Penelitian : Rp 10.000.000,00 (sepuluh juta rupiah)
7. Nama Jurnal/Akreditasi : BUMI LESTARI / 64a/DIKTI/Kep/2010
8. Instansi Penerbit : PPLH Univ. Udayana
9. Target Waktu terbit : 2013/2014

Menyetujui,
Kepala Laboratorium

Yogyakarta, 13 September 2013

Penulis

Dr. Ig. Setyawan Purnama, MSi.
NIP. 196608311992031001

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

Mengetahui,
Dekan Fakultas Geografi UGM

Prof. Dr. R. Rijanta, M.Sc
NIP 19620101 198803 1 002

INTISARI

Penelitian ini dilakukan di Mataair Petoyan, Kec. Purwosari, Kab. Gunungkidul yang bertujuan untuk mengetahui: (1) variasi temporal sifat aliran akuifer karst di Mataair Petoyan; (2) variasi temporal hidrogeokimia Mataair Petoyan dan mengidentifikasi hubungannya dengan sifat aliran di Mataair Petoyan. Pada konteks penelitian jangka panjang, penelitian ini dapat dikatakan sebagai studi komplementer (pendukung) dari *grand research* yang mempunyai agenda untuk menghitung banyaknya karbon yang dapat diserap oleh akuifer karst serta mendefinisikan proses-proses penyeimbang siklus karbon di kawasan karst Gunung Sewu, Kab. Gunung Kidul.

Penelitian ini menggunakan metode induktif, yaitu dengan memasang alat pencatat tinggi muka air pada sungai bawah tanah dan mataair pada kurun waktu 5 bulan dengan maksud untuk mengetahui variasi debit saat akhir musim hujan dan saat resesi (kemarau). Selanjutnya, perhitungan konstanta resesi dilakukan untuk mengetahui sifat komponen aliran *diffuse*, *fissure*, dan *conduit*. Selanjutnya, dilakukan analisis pemisahan aliran dasar, sehingga akan diketahui besarnya variasi temporal terkait perilaku dan magnitudo aliran mantap di Mataair Petoyan. Selain itu, dari hidrograf aliran selama masa pengukuran, akan diketahui perilaku pelepasan air dari akuifer karst dan parameter-parameter lain yang berkaitan dengan hubungan antara aliran dan hujan yang terjadi di sekitar Mataair Petoyan. Secara kimiawi, sampel unsur kimia mayor yang diambil akan merefleksikan proses hidrogeokimia yang terjadi secara temporal. Kemudian hubungan antara karakteristik hidrogeokimia dan sifat aliran secara temporal akan digunakan untuk mengarakterisasi akuifer karst yang mengimbuh Mataair Petoyan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Mataair Petoyan merupakan mataair yang sepanjang tahun didominasi oleh aliran yang bertipe *diffuse*. Hal ini juga didukung dengan fakta bahwa tidak terlalu lamanya nilai T_p dan T_b pada saat kejadian banjir. Hal lain yang dijumpai adalah bahwa di Mataair Petoyan tidak sedikit pun diimbuh oleh komponen aliran *conduit*, sehingga kenaikan debit aliran ketika banjir hanya diimbuh oleh komponen aliran *fissure*. Dengan fakta-fakta ini, dapat disimpulkan bahwa kondisi akuifer daerah tangkapan Mataair Petoyan mempunyai sistem pelorongan yang belum begitu berkembang; (2) Kondisi hidrogeokimia Mataair Petoyan sepanjang periode pengukuran tidak menunjukkan fluktuasi yang tajam, dengan menunjukkan hubungan yang kuat antara persentase aliran dasar dan DHL, meskipun hubungannya kecil jika dipasangkan dengan unsur dominan yang terlarut di air. Selanjutnya, sistem hidrologi karst di Mataair Petoyan bersifat terbuka (*open system*) yang ditunjukkan dengan kuatnya hubungan antara aliran dasar dan tekanan parsial gas karbondioksida.

Kata kunci: konstanta resesi, hidrogeokimia, *diffuse flow*

I. PENDAHULUAN

Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) memperkirakan persediaan air sekitar 25 % penduduk dunia merupakan sumber air karst (Ko, 1984). Di seluruh wilayah kepulauan Indonesia, luas kawasan karst mencapai hampir 20% dari total luas

wilayah (Balazs, 1968). Kondisi hidrologi di daerah karst dikenal unik dan mempunyai karakteristik yang sangat berbeda bila dibandingkan dengan kawasan lain karena dominasi proses pembentukan morfologi bawah permukaan karst oleh proses pelarutan atau karstifikasi (White, 1993). Hal ini mengakibatkan minimnya aliran permukaan dan lebih berkembangnya sistem aliran bawah permukaan berupa lorong-lorong dan sungai bawah tanah. Lorong-lorong dan sungai bawah tanah ini secara hidrogeologis dikenal sebagai porositas sekunder, yang oleh Gillieson (1996) disebut sebagai porositas lorong.

Wilayah selatan propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) hampir seluruhnya didominasi oleh daerah karst yang berbatuan gamping yang tercakup dalam dua wilayah administrasi yaitu sebagian besar berada pada wilayah Kabupaten Gunungkidul dan wilayah Kabupaten Bantul dalam prosentase yang sangat kecil. Di wilayah ini, khususnya di bagian barat wilayah kabupaten Gunungkidul, ketergantungan penduduk akan ketersediaan aliran mantap/aliran dasar pada mataair karst sangat besar untuk mencukupi kebutuhan air domestik, terutama pada saat musim kemarau (Adji et al, 1999; Adji dan Haryono, 1999; Haryono et al, 2009).

Meskipun demikian, sampai saat ini belum mencukupi adanya penelitian yang berkaitan dengan karakteristik akuifer batugamping ini kaitannya dengan pola pelepasan komponen-komponen aliran di akuifer karst. White (1988), Ford and Williams (1992), Smart and Hobbes (1986), Haryono dan Adji (2004), serta Gillieson (1996) secara prinsip membagi karakteristik aliran pada akuifer karst menjadi tiga yaitu: (1) aliran lorong (*conduit*); (2) celah (*fissure*), dan (3) rembesan (*diffuse*). Aliran bertipe rembesan ini secara hidrologis disebut juga sebagai aliran dasar atau aliran mantap yang merupakan aliran andalan pada saat musim kemarau. Dengan pertimbangan tersebut, penelitian ini bermaksud untuk melakukan investigasi secara spasial untuk mengkarakterisasi pola pelepasan aliran dari akuifer karst pada beberapa lokasi yang berbeda yang kemudian dapat digunakan untuk melakukan pemisahan aliran dasar (*baseflow separation*), sehingga diketahui distribusi debit andalan dan model pelepasan komponen aliran karst pada mataair. Selain itu, penerapan metode induktif dengan pendekatan *water rock interaction* (hidrogeokimia) yang dikombinasikan dengan karakteristik

aliran mataair karst diyakini oleh para ahli sebagai metode paling ampuh untuk mengkarakterisasi akuifer karst, sebagaimana yang dijelaskan oleh Liu, *et al.* (2004a dan 2004b), Etfimi (2005), Wang dan Luo (2001), Anthony, *et al.* (1997) Raeisi dan Karami (1997), serta Adji (2010).

II. PERUMUSAN MASALAH

Salah satu mataair yang diandalkan di bagian barat kawasan karst Gunungsewu adalah Mataair Petoyan. Ditinjau dari sisi manfaat, Mataair Petoyan, yang secara administratif terletak di Kecamatan Purwosari memiliki fungsi sebagai sumber utama air domestik dan irigasi bagi 4 (empat) dusun yaitu Dusun Petoyan, Dusun Susukan, Dusun Ngelegok, dan Dusun Tompak, namun terbilang masih minim penelitian terkait kondisi mataair dan kondisi akuifernya secara menyeluruh untuk dilakukan. Karakterisasi akuifer karst memerlukan pertimbangan tersendiri karena pelorongan karst memiliki sifat heterogen dan anisotropis, sehingga salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan pendekatan ilmiah terhadap hasil dari proses karstifikasi yang berupa sifat aliran dan kondisi hidrogeokimia. Berdasarkan kedua pendekatan terhadap sifat aliran dan kondisi hidrogeokimia dalam karakterisasi akuifer karst, maka dirumuskan beberapa permasalahan penelitian yaitu:

1. Bagaimana variasi temporal sifat aliran akuifer karst di Mataair Petoyan?
2. Bagaimanakah variasi temporal hidrogeokimia di Mataair Petoyan serta hubungannya dengan sifat alirannya?

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan penelitian maka pendekatan ilmiah terhadap kondisi hidrogeokimia yang dikombinasikan dengan kajian sifat aliran Mataair Petoyan dipilih sebagai cara yang sesuai untuk karakterisasi akuifer karst, sehingga penelitian ini diberi judul: **“Hubungan Karakter Aliran dan Sifat Kimia Mataair Petoyan Untuk Karakterisasi Akuifer Karst ”**

III. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Mengetahui sifat aliran akuifer karst di Mataair Petoyan secara temporal;
2. Mengkaji variasi temporal kondisi hidrogeokimia akuifer karst di Mataair Petoyan, dan hubungannya dengan sifat alirannya.

IV. STUDI PUSTAKA

Akuifer Karst

Karakterisasi akuifer karst oleh sebagian besar hidrolog dianggap tidak mudah karena sifatnya yang heterogen dan anisotropis (Ford and Williams, 1992). Oleh Blair (2004) hal ini malah dianggap sebagai suatu keunikan dibanding karakter pada jenis akuifer lain, karena kuatnya kontrol dari struktur geologi. Struktur yang dimaksud disini adalah karena sifat dan efek deformasi dari material batuan dasar. Batuan gamping di dekat permukaan tanah mempunyai kecenderungan terhadap terjadinya retakan, dan karena proses lanjut dari pelarutan air hujan kemudian membentuk retakan-retakan ke berbagai arah (*joint*) yang tidak beraturan atau yang dikenal sebagai *conduit* atau porositas sekunder.

Lebih jauh lagi, White (1988), Ford and Williams (1992), Smart and Hobbes (1986) serta Gillieson (1996) secara prinsip membagi sifat aliran pada akuifer karst menjadi tiga komponen yaitu :aliran saluran/lorong (*conduit*), celah (*fissure*), dan rembesan (*diffuse*). Sementara itu, oleh Domenico and Schwartz (1990), komponen aliran di akuifer karst hanya dibedakan menjadi dua yaitu komponen aliran rembesan (*diffuse*) dan saluran (*conduit*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Komponen aliran *diffuse* diimbuh oleh air infiltrasi yang tersimpan pada bukit-bukit karst (Haryono, 2001) dan mengisi sungai bawah tanah karst sebagai tetesan dan rembesan pada ornamen gua. Komponen aliran ini bersifat *laminar* dan karakterisasinya dapat mengikuti hukum Darcy (White, 1993). Sementara itu, komponen aliran *conduit* mendominasi sungai bawah tanah terutama pada saat banjir dan responnya terhadap hujan hampir menyerupai sungai bawah tanah karena diimbuh oleh aliran permukaan yang masuk ke akuifer karst melalui ponor atau *sinkhole*. Sifat aliran ini adalah *turbulent* dan hukum Darcy tidak dapat diterapkan untuk mengkarakterisasinya (Jankowski, 2001; Adji, 2005).

Karena keunikan sifat akuifer serta komponen alirannya, maka hampir semua penelitian hidrologi di akuifer karst tidak menggunakan metode penelitian yang bersifat deduktif (menggunakan distribusi sifat permukaan untuk mengkarakterisasi sifat alirannya), tetapi lebih cenderung menggunakan sifat penelitian *Quasi-Experimental Research* (Dane, 1990), dengan metode survei

induktif pada sungai bawah tanah. Beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan metode induktif diantaranya adalah Anthony *et al.* (1997), Karimi *et al.* (2004), Liu *et al.* (2004 a&b), Raeisi dan Karami (1997), serta Etfimi (2005). Penelitian-penelitian yang disebutkan ini di antaranya menggunakan pendekatan hidrogeokima pada titik-titik tertentu sungai bawah tanah, serta beberapa peneliti lain menggunakan metode hidrograf aliran dan respon aliran terhadap hujan untuk mengkarakterisasi perilaku akuifer karst (Adji, 2012; Adji and Misqi, 2010, Adji *et al.*, 2009).

Gambar 1. *Diffuse, mixed dan conduit* aliran airtanah karst (Domenico and Schwartz, 1990)

Hidrograf dan konstanta resesi

Aliran air sebagai outlet dari badan air tertentu yang ada di daerah karst dapat berupa mataair ataupun sungai permukaan yang tidak terlalu panjang. Munculnya mataair disebabkan lapisan batugamping yang kontak dengan lapisan batuan impermeabel di bawahnya, misalnya batuan breksi vulkanik. Respon yang ditangkap dari outlet tersebut divisualisasikan dalam bentuk hidrograf aliran yang mempunyai komponen *rising limb*, *crest*, dan *recession limb*, di samping itu juga ditandai dengan sifat pokok yaitu *time of rise*, *peak discharge*, dan *time base* (Suryanta, 2001). Hidrograf merupakan grafik yang menunjukkan keragaman limpasan (dapat juga tinggi muka air, kecepatan, beban sedimen, dan lain-lain) dengan waktu. Jika pada suatu aliran pada sungai bawah tanah dikenal tiga macam komponen aliran yaitu *diffuse*, *fissure*, dan *conduit*, maka hidrograf banjir

pada sungai permukaan juga memiliki tiga komponen aliran utama yang identik yaitu aliran dasar (*baseflow*) yang setara dengan *diffuse*, aliran antara (*interflow*-setara *fissure*), dan aliran permukaan (*channel flow*-setara *conduit*) (Adji, 2010; Adji, 2011). Konsep ini di antaranya dikenalkan oleh Schulz (1976) yang menganggap suatu akuifer sebagai suatu media penyimpan air yang setelah kejadian banjir akan berangsur-angsur melepaskan tiga komponen simpanan airnya seiring fungsi waktu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

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

Kurva resesi (Gambar 2-atas) merupakan bagian dari suatu hidrograf banjir (Gambar 2-bawah) pada sungai bawah tanah setelah tidak ada hujan, sehingga debit aliran turun atau akuifer melepaskannya komponen alirannya. Slope atau kemiringan dari kurva resesi semakin menjauhi puncak banjir akan semakin datar karena aliran *conduit* sudah dilepaskan sehingga aliran *diffuse* menjadi dominan. Periode kurva resesi ini terus berlangsung sampai terjadi kejadian banjir lagi. Jika mengacu pada Gambar 2, pada periode kurva resesi ini terjadi tiga kali pelepasan oleh masing-masing komponen aliran yaitu *diffuse*, *fissure*, dan *conduit*, yang jika kemudian dinamakan segmen resesi tentunya mempunyai slope yang berbeda-beda pula. Segmen resesi dapat dipilih dari suatu hidrograf banjir dapat dianalisis secara individu atau bersama-sama untuk memperoleh pemahaman komponen-

komponen aliran yang berpengaruh terhadap karakteristik aliran mantap (*baseflow*). Secara tradisional, analisis dilakukan dengan pendekatan grafikal tetapi pada saat ini lebih cenderung menggunakan model matematis. Masing-masing segmen resesi sering dianggap sebagai penurunan secara eksponensial, seperti halnya yang ada pada fenomena fisika seperti aliran panas, difusi, atau radioaktif, yang diformulasikan sebagai berikut:

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

dimana 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 and McMahon, 1990). Dari hasil penelitian, mereka membuat julat nilai konstanta resesi harian bervariasi dari 0,2-0,8 untuk *channel flow*; 0,7-0,94 untuk *intermediate flow*; dan 0,93-0,995 untuk *baseflow*. Semakin besar nilai konstanta resesi, maka dominasi aliran dasar (*baseflow*) pada sungai bawah tanah adalah semakin besar. Besarnya nilai konstanta resesi dapat digunakan sebagai indikasi dominasinya aliran dasar (*baseflow*) pada sungai bawah tanah (Smakhtin, 2001).

Karakterisasi Akuifer Karst

Liu, *et al.* (2004b), berpendapat bahwa untuk mengetahui kondisi hidrogeokimia di daerah karst tidak cukup melakukan studi yang hanya difokuskan pada hubungan antara air dan batuan (*water-rock interaction*) saja, tetapi dibutuhkan pengetahuan komprehensif terhadap efek dari variabel dari CO_2 yang terdapat pada sistem akuifer. Penelitian ini dilakukan pada saat hujan puncak dengan tujuan untuk mengetahui variasi temporal komposisi kimia dan agresivitas airtanah karst. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan linier antara ion dominan (Ca^{2+} dan HCO_3^-) dan daya hantar listrik tercatat, sementara PCO_2 air *diffuse* jauh lebih tinggi pada saat banjir puncak dibandingkan saat tidak terjadi banjir. Lebih jauh lagi analisis nilai indeks kejenuhan atau *Saturation Indices* (SI) terhadap mineral kalsit menunjukkan bahwa pada saat banjir nilai SI

terhadap kalsit adalah rendah. Pada waktu yang bersamaan PCO_2 air conduit tinggi dan SI terhadap kalsit juga rendah, yang mengindikasikan bahwa airtanah karst masih bersifat agresif. Penelitian ini kemudian berpendapat bahwa paling tidak kita harus mengetahui dua proses ketika banjir, yaitu hubungan antara batuan dan air (*water-rock interaction*) dan rembesan dari air hujan (*dilution by precipitation*), sementara untuk air bertipe *diffuse* atau *fissure*, mengkaji *water-rock interaction* saja sudah cukup. Selain itu, terungkap pula bahwa air bertipe *diffuse* yang bertipe jenuh (*supersaturated*) terhadap mineral kalsit dapat berubah menjadi sangat agresif ketika terjadi hujan di atas 100 mm/beberapa jam.

Karimi, *et al.* (2004) meneliti variasi hidrodinamik dari mataair karst Gilan di Iran. Parameter fisik dan kimia airtanah yang diukur meliputi DHL, suhu air, pH, dan ion mayor pada interval waktu dua mingguan. Analisis yang dipakai adalah analisis indeks kejenuhan (SI) terhadap kalsit, dolomit, dan gipsum serta tekanan parsial dianalisis dengan bantuan perangkat lunak WATEQF. Hasil dari analisis hidrograf satuan dan pemisahan aliran dasar (*baseflow*), serta perhitungan konstanta resesi menunjukkan bahwa tipe aliran dasar didominasi oleh tipe *diffuse*, sementara pada debit puncak didominasi oleh aliran *conduit*. Selanjutnya, debit puncak berlangsung ketika aliran *conduit* didekat mataair menaikkan debit mataair Gilan, sementara aliran *conduit* yang bersal dari lokasi yang jauh mencapai mataair pada saat periode resesi. Lebih jauh lagi, peranan aliran *conduit* pada saat musim kemarau membuat parameter fisik seperti DHL berkurang di daerah hilir, terutama pada daerah tangkapan hujan yang sempit dan panjang karena durasi hujan jauh lebih sedikit daripada waktu tundanya (*time-lag*).

Salah satu pendekatan untuk mengidentifikasi karakteristik akuifer karst adalah dengan melakukan analisis hidrokemograf, seperti yang dideskripsikan oleh Raeisi dan Karami (1997). Pada penelitian ini, mereka melakukan monitoring terhadap parameter-parameter Daya Hantar Listrik (DHL), pH, dan suhu di mataair karst Berghan, Iran dengan interval pengukuran setiap 20 hari selama periode 32 bulan, termasuk juga menganalisis komposisi kimia mataair karst ini atas dasar unsur mayor terlarut. Mereka juga menghitung debit mataair Berghan pada saat periode resesi setiap 3 minggu selama periode penelitian mereka. Tekanan parsial gas karbondioksida dianalisis dengan bantuan software WATEQF. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa komponen *baseflow* mendominasi seluruh total aliran mataair masing-masing sebesar 71,5%, 100%, dan 66,2% secara berurutan pada periode resesi pertama, kedua, dan pada saat musim hujan. Sementara itu, nilai DHL, pH, suhu dan nilai indeks kejenuhan terhadap mineral kalsit tidak menunjukkan variasi yang signifikan. Kesimpulan dari studi ini adalah bahwa daerah tangkapan mataair Berghan didominasi oleh tipe aliran *diffuse*, dengan bukti berupa adanya imbuhan autogenik, breksi akuifer dan perbedaan yang kecil pada variasi hidrograf resesi. Chichano, *et al.* (2000) melakukan penelitian hidrogeokimia dengan pemodelan hidrogeokimia indeks kejenuhan (*saturation indices*) dengan perangkat lunak *WATEQF* dan kalkulasi transfer massa dengan perangkat lunak *PHREEQC* terhadap mataair karst di Spanyol dengan hasil bahwa input air terhadap akuifer mencakup jenis imbuhan dan kondisi input air memberikan pengaruh terhadap pola temporal kondisi hidrogeokimia.

V. METODE PENELITIAN

Alat

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

- Perangkat *Notebook* Pengolahan data dan penyusunan laporan
- Pencatat tinggi muka air otomatis Mencatat fluktuasi tinggi muka air dari mataair dalam rentang waktu penelitian
- *GPS* Penentuan posisi absolut di lapangan
- EC dan pH Meter Mengukur DHL dan pH air aktual di lapangan
- Botol Sampel Media pengambilan sampel air mataair
- Kamera Digital Dokumentasi penelitian
- *Stopwatch* Menghitung satuan waktu di lapangan

Bahan

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

Sampel Air Mataair	Objek analisis laboratorium
Peta RBI skala 1:25.000	Membuat peta dasar dan peta tematik

Peta Geologi Yogyakarta skala 1:100.000	penelitian
---	------------

Data

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

1. Data tinggi muka air Mataair Petoyan, untuk mengetahui fluktuasi aliran dan bahan pembuatan *rating curve*;
2. Data Debit Mataair Petoyan, untuk menentukan karakter akuifer berupa sifat aliran;
3. Data kandungan unsur kimia air dari Mataair Petoyan, untuk penjabaran proses hidrogeokimia yang berlangsung dalam akuifer karst.

Metode Pengumpulan Data

1. Data Tinggi Muka Air

Data tinggi muka air Mataair Petoyan 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 Petoyan diperoleh dengan pengukuran langsung di lapangan dengan metode *sudden injection* dengan langkah kerja sebagai berikut.

- 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:

$$Q = v. c1 / T. c2 \dots\dots\dots(2)$$

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

3. Data Kandungan Unsur Kimia

Pengumpulan data kandungan unsur kimia air Mataair Petoyan dilakukan dengan pengambilan sampel air yang dilakukan sesuai dengan desain waktu pengambilan sampel yang dibuat berdasarkan perubahan kondisi aliran yang diwakilkan oleh bentuk hidrograf aliran (*stage-discharge hydrograph*) terdapat pada Gambar 3.

Gambar 3. Gambar 3. Ilustrasi Desain Waktu Pengambilan Sampel (Adji, 2011).

Metode Pengolahan Data

1. Mengetahui Sifat Aliran Akuifer Karst secara Temporal

a. 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.

b. Perhitungan nilai konstanta resesi

Perhitungan dilakukan terhadap beberapa kejadian banjir dengan nilai waktu puncak banjir sampai aliran normal (*time to baseflow*) (Schulz, 1976). Konstanta resesi banjir diperoleh dengan persamaan

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (3)$$

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 Worthington (1991, dalam Giliesson, 1996).

c. Pemisahan aliran dasar (*Baseflow separation*)

Pemisahan aliran dasar dilakukan dengan perangkat lunak metode *Digital Filtering* (Eckhardt, 2005) yang secara rinci menemukan nilai operasi *digital filtering* terhadap nilai konstanta resesi pada hidrograf sepanjang penelitian, dengan rumus operasi:

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

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.

2. Mengkaji Variasi Temporal Kondisi Hidrogeokimia Akuifer Karst

a. Uji laboratorium kualitas air

Komposisi kandungan kimia dalam air mencakup Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , dan Cl^- . Metode analisis volumetri untuk kandungan Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , analisis colorimetri untuk analisis kandungan Na^+ dan K^+ , serta analisis turbidimetri untuk mengukur kandungan SO_4^{2-} .

b. Penentuan tipe kimia air

Penentuan tipe kimia air dilakukan dengan klasifikasi Szczukariw-Prikłonski (Jankowski, 2001) yang mempergunakan persentase kandungan unsur anion dan kation yang dominan dalam tiap sampel air.

c. Perhitungan nilai indeks kejenuhan (*saturation indices*)

Nilai indeks kejenuhan (*saturation indices*) air terhadap mineral kalsit dihitung dengan menggunakan perangkat lunak *NETPATH*. Indeks kejenuhan dihitung dengan persamaan:

$$SI \text{ CaCO}_3 = \log_{10} \frac{[\text{CO}_3^{2-}] [\text{Ca}^{2+}]}{K_{sp} \text{ CaCO}_3} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

$[\text{CO}_3^{2-}]$ adalah aktivitas ion karbonat;

$[\text{Ca}^{2+}]$ adalah aktivitas ion kalsium;

$K_{sp} \text{ CaCO}_3$ adalah *solubility product* kalsit = $10^{-8,48}$

3. Mempelajari Hubungan antara Sifat Aliran dengan Kondisi Hidrogeokimia untuk Mendeskripsikan Karakteristik Akuifer Karst

Pengolahan data yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian ketiga adalah inventarisasi data yang dikumpulkan secara temporal dan pengolahan secara statistik dengan pembuatan *scatter plot* untuk mengetahui hubungan antara sifat aliran dengan kondisi hidrogeokimia selama waktu

penelitian, dengan detail hubungan antara: (i) Debit aliran dengan persentase aliran dasar; (ii) Debit aliran dengan kandungan Ca^{2+} ; (iii) Debit aliran dengan kandungan HCO_3^- ; (iv) DHL dengan kandungan Ca^{2+} ; (v) DHL dengan kandungan HCO_3^- ; (vi) Persentase aliran dasar dengan kandungan Ca^{2+} ; (vii) Persentase aliran dasar dengan kandungan HCO_3^- .

3. Analisis

1. Mengetahui Sifat Aliran Akuifer Karst secara Temporal

- Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk mengubah data tinggi muka air Mataair Petoyan menjadi data debit dengan lengkung aliran (*rating curve*) yang menghubungkan antara variabel tinggi muka air dengan variabel debit yang diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan (Gambar 4).

Gambar 4. Lengkung Aliran (*Rating Curve*)

- Analisis Grafis

Analisis terhadap hidrograf aliran untuk memperoleh informasi mengenai sifat aliran akuifer karst Mataair Petoyan dilakukan secara grafis untuk

menentukan tiap bagian dari hidrograf aliran meliputi lengkung naik (*rising limb*), puncak (*peak*), dan lengkung turun (*falling limb*), yang masing-masing disertai oleh parameter yang terkait meliputi *time lag*, *time to peak*, dan *time to base*.

- Analisis Deskriptif

Penjabaran mengenai sifat aliran akuifer karst Mataair Petoyan dilakukan dengan analisis deskriptif terhadap nilai konstanta resesi dan persentase aliran dasar.

2. Mengkaji Variasi Temporal Kondisi Hidrogeokimia Akuifer Karst

a. Analisis Grafis

Perubahan hidrogeokimia pada tiap kondisi aliran disajikan dan dianalisis dalam bentuk grafis yakni berupa kemograf yang menyajikan informasi waktu pada sumbu x dan karakteristik hidrogeokimia pada sumbu y untuk mempermudah bahasan mengenai variasi temporal secara menyeluruh.

b. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan untuk menjelaskan adanya variasi temporal kondisi hidrogeokimia akuifer karst.

3. Mempelajari Hubungan antara Sifat Aliran dengan Kondisi Hidrogeokimia untuk Mendeskripsikan Karakteristik Akuifer Karst

a. Analisis *scatter plot*

Analisis *scatter plot* dilakukan untuk mengetahui keberadaan hubungan antara parameter sifat aliran dengan parameter kondisi hidrogeokimia secara statistik.

b. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan terhadap keberadaan hubungan antara sifat aliran dengan kondisi hidrogeokimia.

VI. JADWAL PENELITIAN

AGENDA	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER
--------	-------	-----	------	------	---------	-----------

	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
Perijinan																								
Studi pustaka																								
Instalasi stasiun aliran																								
Pengukuran debit untuk rating curve																								
Pengumpulan + analisis data aliran																								
Analisis stage discharge rating curve																								
Pemilihan hidrograf banjir																								
Laporan kemajuan																								
Sampling hidrogeokimia																								
Analisis konstanta resesi																								
Analisis parameter hidrograf																								
Analisis baseflow separation																								
Analisis hidrogeokimia																								
Analisis karakteristik akuifer																								
Penulisan laporan dan presentasi																								

VII. HASIL PENELITIAN

7.1. DESKRIPSI WILAYAH KAJIAN

7.1.1. Letak, Luas, dan Batas

Mataair Petoyan secara administratif terletak di Dusun Susukan, Desa Giritirto, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi DIY. Mataair Petoyan merupakan mataair *perennial* atau mengalir sepanjang tahun dan tidak kering pada musim kemarau. Secara absolut Mataair Petoyan terletak pada koordinat X:431625 mT dan Y : 9115906 mU (Gambar 5). Unit administratif yang digunakan dalam penelitian ini adalah unit desa, terkait dengan pemanfaatan Mataair Petoyan yang memenuhi kebutuhan air sebagian besar Desa Giritirto. Secara administratif Desa Giritirto memiliki batas sebagai berikut :

- Batas Utara : Desa Selopamioro, Kecamatan Imogiri, Kab. Bantul
- Batas Timur : Desa Giriharjo, Kecamatan Panggang,
- Batas Selatan: Desa Giripurwo, Kecamatan Purwosari.
- Batas Barat : Desa Giriasih, Kecamatan Purwosari

Gambar 5. Peta Lokasi Matakair Petoyan

Desa Giritirto memiliki luas daerah sebesar 1095,99 Hektar yang terdiri dari 7 padukuhan dan 51 RT. Luas untuk masing-masing padukuhan dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas Wilayah Desa Giritirto per dukuh

No	Nama Padukuhan	Luas		Jumlah RT
		(Ha)	(%)	
1	Padukuhan Petoyan	235.077	21.53	8
2	Padukuhan Nglegok	147.148	13.43	5
3	Padukuhan Gading	172.558	15.74	9
4	Padukuhan Susukan	98.393	8.98	4
5	Padukuhan Tompak	119.752	10.93	7
6	Padukuhan Ploso	193.778	17.68	9
7	Padukuhan Blado	129.285	11.80	9
Jumlah		1095.991	100.00	51

Sumber : Olah data sekunder, 2013

7.1.2. Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah data dari dua stasiun penakar hujan terdekat dari lokasi penelitian yaitu Stasiun Giriwungu dan Stasiun Siluk. Data hujan yang digunakan adalah data selama 22 tahun mulai tahun 1985-2006 (Tabel 2).

Tabel 2. Curah Hujan Rata-Rata di Daerah Penelitian

NamaStasiun	CurahHujan (mm/bln)												rerata (mm/th)
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	
Giriwungu	369	347	261	151	46	59	39	25	74	130	300	311	2113
Siluk	278	305	213	130	46	51	22	19	20	105	195	285	1668

Sumber : Perhitungan dan Data Sekunder, 2013

7.1.3. Geologi

Pengetahuan tentang kondisi geologi daerah karst terkait secara erat dengan kondisi hidrogeokimia sungai bawah tanah, terutama adalah jenis batuan dan struktur geologi. Secara regional, jika dilihat bahwa batugamping menempati daerah yang dibatasi oleh Sungai Oyo di bagian utara dan Samudera Hindia di sebelah selatan, maka oleh Samodra (2005), dan Suyoto (1994) dalam

Kusumayudha (2005) stratigrafi batugamping di Kabupaten Gunung Kidul terfokus pada tiga formasi yaitu Formasi Oyo, Formasi Wonosari, dan Formasi Kepek, yang penjelasannya adalah sebagai berikut:

- a. Formasi Oyo, tersusun oleh batugamping pasiran yang strukturnya berlapis, kalkarenit, batupasir gampingan, dan batupasir napalan-tufaan. Formasi ini berumur sekitar Miosen Tengah. Hubungan antara Formasi Oyo dan Formasi Wonosari (batugamping terumbu) di bagian atasnya, maka sebagian Formasi Oyo menjari dengan Formasi Wonosari;
- b. Formasi Wonosari, tersusun dari batugamping berlapis, batugamping masif, dan batugamping terumbu. Ciri khusus pada formasi ini adalah dominasi porositas sekunder berupa rongga-ronga hasil pelarutan. Formasi ini kadang-kadang menunjukkan hubungan selaras di atas Formasi Oyo, sedangkan di tempat lain hubungannya tidak selaras atau menjari;
- c. Formasi Kepek, tersusun dari perselingan antara lempung, napal pasiran, dan batugamping berlapis. Formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal dan berumur Miosen akhir hingga Pliosen. Formasi Kepek dan Formasi Wonosari mempunyai hubungan selaras di satu tempat, dan menjari di banyak tempat. Oleh Suyoto (1994) dalam Kusumayudha (2005), Formasi Oyo, Kepek, dan Wonosari dianggap sebagai satu kelompok formasi yang diberi nama Kelompok Gunungsewu (Gambar 6.).

Ketiga formasi batuan tersebut di lapangan menunjukkan ciri-ciri bentang alam batugamping yang berbeda-beda pula. Dari pengamatan lapangan dan dari peta geologi oleh MacDonald dan Partners (1984), serta deskripsi oleh Bemmelen (1970), Rahardjo *et al.* (1977), Toha, dkk. (1994), Surono, dkk. (1992), Kusumayudha (2005), dan Samodra (2005), dapat disimpulkan bahwa seluruh batuan gamping yang ada di daerah penelitian tercakup ke dalam Formasi Wonosari.

Gambar 6. Kolom Stratigrafi Pegunungan Selatan Jawa Tengah (Suyoto, 1994, dalam Kusumayudha, 2005)

Selain itu, terdapat sedikit bagian dari Formasi Nglanggran (Tmn) di daerah penelitian yang tersusun atas breksi gunungapi, breksi aliran, aglomerat, lava dan tuff. Formasi Nglanggran terbentuk pada Kala Miosen awal dan berada di bawah Formasi Wonosari dan Formasi Kepek. Formasi Nglanggran terekspos sepanjang zona patahan Baturagung mulai dari ujung barat daya perbukitan karst Gunung Sewu hingga bagian utara Kabupaten Gunungkidul yang berbatasan dengan Jawa

Tengah. Selanjutnya, struktur geologi yang ditemukan di daerah penelitian berupa sesar geser. Sesar ditemukan pada zona patahan sebelah barat laut Desa Giritirto. Sesar yang terdapat di lokasi penelitian berasosiasi dengan beberapa sesar kecil yang ada di bagian selatan zona Perbukitan Baturagung. Sesar-sesar kecil tersebut berada di arah timur hingga selatan sesar utama yaitu Sesar Opak. Sesar Opak membentang ke arah barat daya-timur laut melewati Kabupaten Bantul, Gunungkidul, hingga Klaten. Sesar-sesar kecil yang berada pada *escarpment* Baturagung kebanyakan berarah barat-timur.

7.1.4. Geomorfologi

Bentuklahan yang menyusun daerah penelitian di Desa Giritirto didominasi oleh perbukitan karst Gunung Sewu dan sedikit bagian dari Perbukitan Baturagung.

Karst Gunung Sewu

Secara makro bentuklahan di daerah karst tergolong menjadi bentukan dengan relief positif dan negatif. Bentukan positif antara lain *pinnacle*, bukit sisa, dan kerucut karst sedangkan bentukan negatif antara lain *doline*, *polje*, luweng, dan *uvala*. Kerucut karst dan bentukan negatif seperti *doline* dan luweng atau ponor banyak ditemukan di daerah penelitian. Ponor atau luweng merupakan lubang pelarutan yang terbentuk dari perkembangan diaklas atau rekahan. Beberapa ponor yang berasosiasi akan membentuk cekungan tertutup yang dinamakan *doline*. *Doline* biasanya berbentuk cekungan seperti mangkuk, dangkal dan diameternya bisa mencapai 1000 m (White, 1988).

Menurut Haryono dan Day (2004) bagian barat dari Karst Gunung Sewu dikategorikan menjadi karst tipe poligon (*polygonal karst*). Karst tipe ini dicirikan dengan bentukan yang rapat atau cekungan-cekungan yang bergabung membentuk kokpit. Rasio antara cekungan atau dolin dibandingkan dengan luas batuan karbonat pada karst tipe poligon hampir mendekati satu atau satu. Kenampakan yang memperlihatkan tingginya pelarutan tersebut memungkinkan dipengaruhi oleh proses fluvial. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya jaringan lembah meander yang terpotong-potong walaupun banyak cekungan tertutup yang mendominasi pada sebagian besar bentanglahan. Jaringan tersebut

kemungkinan terisi air atau teraliri pada musim penghujan yang intensif. Mataair juga banyak ditemukan di bentuklahan karst dengan tipe poligon.

Perbukitan Baturagung

Perbukitan Baturagung adalah perbukitan struktural dengan proses pengangkatan (*uplift*) yang membentuk plato bagian selatan Pulau Jawa. Kontrol sesar sangat dominan dalam proses struktural yang terjadi di Baturagung. Proses diatropisme yang terjadi di Baturagung membentuk sesar bertingkat. Desa Giritirto berada pada perbatasan antara zona Perbukitan Baturagung dengan Karst Gunungsewu. Persentase zona Perbukitan Baturagung di daerah penelitian memang jauh lebih kecil dari Karst Gunung Sewu.

Sebagian besar bahan penyusun Perbukitan Baturagung adalah material vulkanik tua dari Formasi Kebobotak, Nglanggran, Sambipitu, dan Oyo. *Escarpment* atau bidang patahan dapat dengan jelas diamati sepanjang zona Perbukitan Baturagung bagian utara (> 45%). Kemiringan lereng didominasi oleh lereng miring (15-30%) yang berada pada bagian bawah pegunungan. Semakin keatas pegunungan lereng cenderung lebih miring dengan kemiringan 30-45 % (terjal).

7.1.5. Hidrologi

Hampir tidak ditemukan air permukaan berupa sungai di lokasi penelitian. Air permukaan yang didapati di daerah penelitian sebagian besar berupa mataair dan telaga. Telaga atau danau doline atau *logva* merupakan akumulasi air yang berada pada cekungan diantara bukit-bukit karst dengan lapisan tanah yang kedap air. Sumber air utama telaga adalah dari air hujan dan imbuhan dari lapisan epikarst bukit-bukit di sekitarnya. Telaga dapat bersifat perenial maupun musiman. Ponor biasanya ditemukan di dasar telaga yang langsung terhubung ke jaringan bawah permukaan. Telaga biasanya dimanfaatkan penduduk untuk berbagai kebutuhan domestik seperti mandi, mencuci, dan memandikan ternak.

Banyak ditemukan pula mataair pada bentuklahan karst poligonal di daerah penelitian. Kontrol sesar menyebabkan rekahan memotong saluran sehingga mataair berada di bawah tekanan hidrostatik. Perkembangan jaringan bawah tanah yang tidak terlalu dalam juga berpengaruh terhadap munculnya mataair.

Beberapa mataair yang ditemukan di Desa Giritirto memiliki variasi aliran yang beraneka ragam. Beberapa mataair merupakan mataair perenial, termasuk Mataair Petoyan, dan ditemukan pula beberapa mataair yang muncul di musim penghujan saja (*intermittent*) dengan variasi aliran yang lebih dinamis.

7.1.6. Tanah

Lokasi penelitian tersusun atas tiga grup tanah. Tanah Mediteran mendominasi sebagian besar daerah penelitian dengan sedikit pula grup tanah Litosol dan Aluvial.

Mediteran

Tanah Mediteran dikenal sebagai *Lixisols* dalam sistem FAO dan *Alfisols* atau *Inceptisols* dalam klasifikasi tanah USDA. Tanah mediteran memiliki kandungan lempung yang lebih banyak pada *sub-soil* daripada *top-soil*. Hal tersebut disebabkan oleh proses pedogenesis terutama pada proses perpindahan lempung. Tanah mediteran memiliki kejenuhan basa tinggi hingga lebih dari 35%.

Tanah Mediteran berkembang dari bahan induk batugamping yang sudah lapuk secara kuat dan akhirnya terlepas (*leached*) dengan tekstur yang halus. Tanah mediteran berkembang di daerah tropis, subtropis, dan daerah iklim sedang dengan musim kering yang tegas. Tanah Mediteran dicirikan dengan warna coklat-kemerahan, sering disebut juga sebagai tanah *terra rossa*.

Litosol

Tanah jenis Litosol disebut juga sebagai *Leptosol* dalam klasifikasi FAO. Tanah jenis ini memiliki lapisan yang sangat tipis di atas batuan dengan kondisi penuh *gravel* (kerikil) hingga berbatu. Tanah jenis ini banyak ditemukan di daerah bergunung dengan ketinggian sedang hingga tinggi. Tanah *Leptosol* juga ditemukan di daerah yang tererosi dengan kondisi batuan sangat dekat ke permukaan. Tanah ini potensial untuk lahan rumput pada musim penghujan dan lahan hutan pada musim kemarau.

Alluvial

Tanah Alluvial disebut sebagai tanah Fluvisol dalam sistem FAO. Tanah jenis ini tergolong muda, terbentuk dari proses endapan fluvial. Banyak ditemukan

di daerah yang berasosiasi dengan sungai di berbagai macam tipe iklim. Tanah Alluvial memiliki perbedaan horizon yang lemah namun horizon atas (*top-soil*) nya dapat dengan jelas ditunjukkan. Tanah Alluvial juga memiliki ciri yang hampir sama dengan Tanah *Gleyso* pada sistem FAO. Tanah *Gleyso* adalah tanah yang lama jenuh air dalam periode yang lama, yang dicirikan dengan pola warna abu-abu. Tanah Gleysol ditemukan di daerah datar dan cekungan dengan pengaruh endapan marin atau fluvial. Tanah jenis ini juga dipengaruhi oleh kondisi airtanah yang dangkal.

7.1.7. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan di lokasi penelitian bervariasi dengan persentase terbesar berupa tegalan sebesar 50,57 % atau seluas 613,41 Hektar. Semak belukar mempunyai persentase mencapai 20,31 % atau seluas 246,3 Hektar atau seluas 246,39 Hektar. Kondisi Desa Giritirto yang berbukit dan terjal menyebabkan persentase tegalan dan semak belukar mendominasi. Lahan miring biasanya dibuat teras artifisial agar tanah tidak terkikis dan ditanami berbagai komoditi ditanam pada lahan miring di antaranya adalah jagung, palawija, jati, hingga tanaman-tanaman obat seperti kunyit atau jahe. Selain itu, beberapa daerah yang datar digunakan sebagai sawah tadah hujan dan pemukiman. Swah tadah hujan memiliki luas sebesar 193,80 Hektar atau 15,98 % dari luas seluruh Desa Giritirto. Sawah tadah hujan ditanami padi dengan masa panen dua kali dalam setahun. Sawah tadah hujan yang ada di Desa Giritirto biasanya juga mendapat irigasi dari mataair yang ada di sekitarnya meskipun tidak teraliri sepanjang tahun. Secara rinci, penggunaan di daerah penelitian disajikan pada Tabel 3.

Pemukiman di Desa Giritirto memiliki pola yang mengelompok. Pemukiman terkonsentrasi pada daerah datar dan berasosiasi dengan jalan. Luas keseluruhan dari lahan pemukiman adalah sebesar 70,04 Hektar atau 5,07 % dari luas total Desa Giritirto.

Tabel 3. Penggunaan Lahan di Desa Giritirto

No.	Penggunaan Lahan	Luas (Hektar)	Persentase
1	Air Tawar	1.63	0.13
2	Belukar/Semak	246.39	20.31
3	Hutan	26.16	2.16
4	Pemukiman	70.04	5.77
5	Kebun	61.55	5.07
6	SawahTadahHujan	193.80	15.98
7	Tegalan	613.41	50.57
Total		1212.99	100.00

Sumber :Perhitungan data sekunder (2013)

7.1.8. Penduduk

Penduduk Desa Giritirto tersebar di 7 pedukuhan dengan jumlah seluruhnya sebanyak 4.011 jiwa yang terbagi dalam 959 kepala keluarga. Penduduk tersebar dalam pola pemukiman yang mengelompok. Kondisi penduduk suatu wilayah dipengaruhi pula oleh kondisi topografi dan sumberdaya yang dimiliki wilayah tersebut. Semakin produktif suatu lahan, mudah diakses dan kondisi medan yang tidak menyulitkan akan lebih menarik untuk ditinggali. Penduduk terbanyak masuk dalam wilayah administrasi Dusun Petoyan. Dusun Petoyan merupakan pusat Desa Giritirto yang juga merupakan Pusat Kecamatan Purwosari. Distribusi dan jumlah penduduk disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Penduduk Desa Giritirto

No	Padukuhan	Jumlah KK	Jumlah Penduduk		Jumlah
			Laki-laki	Perempuan	
1	Petoyan	189	332	371	703
2	Nglegok	100	179	206	385
3	Gading	204	442	460	902
4	Susukan	56	120	145	265
5	Tompak	102	215	242	457
6	Ploso	190	375	384	759
7	Blado	118	256	284	540
	Jumlah	959	1.919	2.092	4.011

Sumber : Data Desa Giritirto (2008)

7.2. Kondisi Aliran Mataair Petoyan

7.2.1. Hubungan tinggi muka air dan debit Mataair Petoyan

Mataair Petoyan selalu berair sepanjang tahun (*perennial*) dan mempunyai morfometri alur output mataair yang memungkinkan untuk dipasang alat pencatat tinggi muka air (*water level data logger*), sehingga kondisi aliran sepanjang tahun dapat tercatat (Gambar 7).

Gambar 7. Kondisi aliran Mataair Petoyan (kiri) dan *automatic water level logger* (kanan)

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 pada periode antara 19 April 2013 sampai dengan 16 Agustus 2013, yang kemudian disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Debit Aliran Mataair Petoyan

No	Tanggal	TMA (m)	Debit aliran (liter/detik)
1	13 Oktober 2012	0,145	0,27
2	21 Oktober 2012	0,071	0,42
3	28 Oktober 2012	0,090	0,29
4	10 Nopember 2012	0,028	0,24
5	21 Nopember 2012	0,045	0,29
6	23 Februari 2013	0,465	2,71
7	3 Maret 2013	0,448	2,60
8	09 Maret 2013	0,489	2,85
9	17 Juni 2013	0,454	2,80

Sumber : Pengukuran lapangan (2013)

Selanjutnya, dari data hasil pengukuran tersebut dibuat kurva regresi (Gambar 8). Hubungan antara tinggi muka air dan debit aliran di Mataair Petoyan dinyatakan sebagai:

$$y = 6,13 x - 0.173 \dots\dots(6)$$

Keterangan:

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

Gambar 8. Hubungan Tinggi Muka Air Dan Debit di Mataair Petoyan

Hasil kurva hubungan tinggi muka air di Mataair Petoyan dengan debit alirannya mempunyai hubungan linier karena sifat alirannya yang cenderung laminar seperti halnya yang dijumpai pada sungai permukaan. Selanjutnya, rumus *rating curve* di atas digunakan untuk menghitung debit aliran sepanjang tahun pada alat pencatat tinggi muka air yang dipasang di Mataair Petoyan. Tinggi muka air yang tercatat di Mataair Petoyan mempunyai interval pencatatan tiap 30 menit. Hasil penggambaran variasi debit aliran Mataair Petoyan (April –Agustus 2013) disajikan pada Gambar 8.

Gambar 8. Variasi Debit Mataair Petoyan 19 April 2013 - 16 Agustus 2013

7.2.2. Konstanta Resesi Hidrograf Banjir Mataair Petoyan

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 Petoyan, terjadi beberapa 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:

$$Q(t) = Q(t_0)e^{-k(t-t_0)} \dots\dots\dots(7)$$

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:

$$\ln Q(t) = -k(t-t_0) + \ln Q(t_0) \dots\dots\dots(8), \text{ atau}$$

$$k = -1/t-t_o \ln (Q_t/Q_o) \dots\dots\dots(9)$$

Selanjutnya, grafik tiap kejadian banjir terpilih yang sudah dipisahkan komponen aliran dasarnya (*baseflow*) pada skala logaritma disajikan pada Gambar 9.

Dari Gambar 9. 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 6.).

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

	waktu	Debit Puncak (lt/dt)	Kr channel (K_c)	Kr Interflow (K_i)	Kr Baseflow (K_b)	T_p (jam)	T_b (jam)
Banjir 1	4/19/2013 8:00	2,38	-	-	0,992	3,50	2,50
Banjir 2	6/28/2013 7:30	2,54	-	-	0,985	4,50	1,50
Banjir 3	7/3/2013 19:00	2,66		0,67	0,970	7,00	3,50
Banjir 4	7/9/2013 8:00	2,97	-	0,63	0,996	5,50	10,00
rerata				0,65	0,985	5.13	4.38

Sumber : Pengukuran lapangan dan analisis data tahun 2013

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 6. diketahui bahwa nilai K_c periode banjir di Mataair Petoyan tidak terdeteksi, artinya banjir yang terjadi tidak dipicu oleh aliran *conduit*. Sementara itu, nilai K_i berjulat 0,63–0,67 yang menunjukkan tidak terlalu besarnya variasi pasokan aliran antara ketika banjir. Selanjutnya, julat konstanta resesi aliran dasar (K_b) menunjukkan variasi antara 0,97-0,996 dengan nilai rata-rata sebesar 0,985 yang menunjukkan tingginya dominasi aliran dasar ketika banjir.

Gambar 9. Kejadian Resesi Banjir-Banjir Terpilih Mataair Petoyan

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 Petoyan berkisar antara 3,5 sampai dengan 7,0 jam sejak hujan mulai turun di daerah tangkapan dengan rata-rata waktu adalah sekitar 5 jam untuk mencapai banjir puncak, dengan rerata waktu resesi yang diperlukan dari puncak banjir untuk mencapai aliran dasar (T_b) adalah sekitar 4,38 jam. Dari angka-angka ini tampak bahwa tidak terlalu adanya perbedaan waktu yang besar antara T_p dan T_b yang mengindikasikan dominasi aliran dasar (*baseflow*) sebagai komponen utama banjir di Mataair Petoyan.

7.2.3. Pemisahan Aliran Dasar Mataair Petoyan

Pemisahan aliran dasar dilakukan untuk mengetahui persentase 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 pemasangan alat di Mataair Petoyan, 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 (4). Data utama yang diperlukan adalah data konstanta resesi aliran dasar Mataair Petoyan (K_b) atau oleh Eckhardt disebut digital filtering yang nilai reratanya adalah sebesar 0,985. Nilai BFI_{max} yang digunakan adalah 0,8 karena sifat akuifer karst yang porus dan alirannya menahun (Eckhardt, 2005). Hasil pemisahan aliran dasar Mataair Petoyan disajikan pada Gambar 10, dan persentase aliran dasar saat pada empat kali kejadian banjir disajikan pada Tabel 7.

Gambar 10. Fluktuasi Aliran Dasar (*diffuse flow*) Mataair Petoyan

Tabel 7. Persentase Aliran Dasar Mataair Petoyan Saat Banjir

BANJIR 1			BANJIR 2		
Waktu	Debit (lt/dt)	% aliran dasar	Waktu	Debit (lt/dt)	% aliran dasar
4/19/2013 4:00	2.23	80.00	6/28/2013 3:00	2.20	80.18
4/19/2013 4:30	2.24	79.70	6/28/2013 3:30	2.23	79.09
4/19/2013 5:00	2.25	79.58	6/28/2013 4:00	2.27	78.16
4/19/2013 5:30	2.29	78.30	6/28/2013 4:30	2.30	77.35
4/19/2013 6:00	2.31	77.91	6/28/2013 5:00	2.34	76.66
4/19/2013 6:30	2.32	77.86	6/28/2013 5:30	2.37	76.07
4/19/2013 7:00	2.34	77.68	6/28/2013 6:00	2.40	75.57
4/19/2013 7:30	2.36	77.10	6/28/2013 6:30	2.44	75.14
4/19/2013 8:00	2.38	77.01	6/28/2013 7:00	2.47	74.78
4/19/2013 9:30	2.37	77.48	6/28/2013 7:30	2.54	73.62
4/19/2013 10:00	2.36	78.04	6/28/2013 8:00	2.52	74.82
4/19/2013 10:30	2.34	78.82	6/28/2013 8:30	2.50	75.91
4/19/2013 11:00	2.31	79.97	6/28/2013 9:00	2.48	76.88
4/19/2013 11:30	2.30	80.27	6/28/2013 9:30	2.46	77.76
4/19/2013 12:00	2.28	80.83	6/28/2013 10:00	2.44	78.55
4/19/2013 12:30	2.27	81.20	6/28/2013 10:30	2.42	79.26
4/19/2013 13:00	2.23	82.14			
4/19/2013 13:30	2.22	82.38			
4/19/2013 14:00	2.21	82.43			

Lanjutan Tabel 7

BANJIR 3			BANJIR 4		
Waktu	Debit (lt/dt)	% aliran dasar	Waktu	Debit (lt/dt)	% aliran dasar
7/3/2013 12:00	2.15	80.05	7/9/2013 2:00	2.20	80.32
7/3/2013 12:30	2.19	78.93	7/9/2013 2:30	2.26	78.18
7/3/2013 13:00	2.22	77.97	7/9/2013 3:00	2.33	76.40
7/3/2013 13:30	2.26	77.15	7/9/2013 3:30	2.40	74.92
7/3/2013 14:00	2.29	76.45	7/9/2013 4:00	2.46	73.69
7/3/2013 14:30	2.32	75.85	7/9/2013 4:30	2.53	72.68
7/3/2013 15:00	2.36	75.34	7/9/2013 5:00	2.60	71.84
7/3/2013 15:30	2.39	74.90	7/9/2013 5:30	2.66	71.16
7/3/2013 16:00	2.43	74.54	7/9/2013 6:00	2.73	70.62
7/3/2013 16:30	2.46	74.23	7/9/2013 6:30	2.79	70.18
7/3/2013 17:00	2.49	73.98	7/9/2013 7:00	2.86	69.83
7/3/2013 17:30	2.53	73.76	7/9/2013 7:30	2.99	68.23
7/3/2013 18:00	2.56	73.59	7/9/2013 8:00	2.97	70.03
7/3/2013 18:30	2.60	73.45	7/9/2013 8:30	2.93	71.94
7/3/2013 19:00	2.66	72.52	7/9/2013 9:00	2.93	72.95
7/3/2013 19:30	2.64	73.94	7/9/2013 9:30	2.90	74.26
7/3/2013 20:00	2.62	75.09	7/9/2013 10:00	2.85	76.11
7/3/2013 20:30	2.59	76.50	7/9/2013 10:30	2.81	77.46
7/3/2013 21:00	2.54	78.16	7/9/2013 11:00	2.77	78.81
7/3/2013 21:30	2.51	79.16	7/9/2013 11:30	2.71	80.41
7/3/2013 22:00	2.48	80.06	7/9/2013 12:00	2.65	81.90
			7/9/2013 12:30	2.59	83.56
			7/9/2013 13:00	2.53	84.99
			7/9/2013 13:30	2.47	86.03
			7/9/2013 14:00	2.41	87.33
			7/9/2013 14:30	2.37	87.92
			7/9/2013 15:00	2.37	87.04
			7/9/2013 15:30	2.37	86.26
			7/9/2013 16:00	2.37	85.57
			7/9/2013 16:30	2.37	84.95
			7/9/2013 17:00	2.37	84.40

Sumber: analisis data hidrograf (2013)

Dari perhitungan rasio total aliran dasar bulanan terhadap total aliran (Tabel 7), tampak bahwa secara umum nilai rasionya mendekati angka sekitar 80%. Hal ini disebabkan oleh sifat pelepasan aliran akuifer karst di sekitar Mataair Petoyan yang didominasi oleh retakan bertipe *diffuse*. Sementara itu, persentase aliran dasar di sekitar waktu debit puncak menunjukkan angka yang lebih kecil (<80%), dan bahkan pada saat debit puncak nilainya di bawah 70%. Meskipun demikian,

penurunan atau kenaikan persentase aliran dasar tidak selalu selaras waktunya dengan kenaikan atau penurunan debit alirannya pada tiap-tiap hidrograf banjir (Gambar 11.).

Gambar 11. Hubungan antara debit dan persentase aliran dasar saat banjir

Gambar 12. *Scatter plot* antara kenaikan debit dan persentase aliran dasar saat time to peak (kiri) dan saat periode resesi (kanan)

Dari Gambar 12 tampak bahwa kenaikan aliran dasar (*baseflow*) tidak harus selalu sama atau seiring dengan kenaikan debit alirannya, bahkan mayoritas banjir mempunyai nilai aliran dasar tertinggi yang tercapai beberapa jam setelah debit puncak tercapai. Meskipun demikian, baik ketika debit menuju puncaknya maupun saat resesi setelah banjir, terjadi hubungan yang kuat antara kenaikan debit dan kenaikan aliran dasarnya (Gambar 13). Dari Gambar 13 terlihat bahwa hubungan antara debit dan aliran dasar berkorelasi negatif, artinya kenaikan debit selalu diikuti dengan penurunan aliran dasar atau sebaliknya.

7.3. Kondisi Hidrogeokimia dan hubungannya dengan sifat aliran Mataair Petoyan

Karakteristik Hidrogeokimia di Mataair Petoyan diwakili sebanyak 7 kali pengukuran pada kurun waktu April 2013 sampai dengan Agustus 2013. Data lengkap hasil pengukuran paramater kualitas air dan analisis laboratorium air sungai bawah tanah di Mataair Petoyan disajikan pada Tabel 8, dan hidrokemografinya disajikan pada Gambar 13 dan Gambar 14.

Tabel 8. Komposisi Kimia Sampel Air Mataair Petoyan

Waktu		DHL ($\mu\text{mhos/cm}$)	pH	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Ca^{2+} (epm)	Mg^{2+} (epm)	Na^{+} (epm)	K^{+} (epm)	HCO_3^{-} (epm)	Cl^{-} (epm)	SO_4^{2-} (epm)	Debit (l/dt)	aliran dasar (%)
tanggal	jam												
19/4/13	07:30	553	6.93	26.00	6.99	0.67	0.48	0.03	6.40	0.20	0.04	2.38	80.00
26/4/06	12:30	570	7.02	26.40	6.69	4.59	0.57	0.03	7.08	0.25	0.06	2.27	80.06
22/5/06	12:00	567	7.6	26.3	6.79	0.64	0.57	0.03	7.60	0.19	0.06	2.24	80.07
20/6/06	10:30	567	7.6	25.7	5.74	0.64	0.57	0.03	6.60	0.19	0.06	2.23	80.17
19/7/06	9:30	445	7	26	5.61	0.51	0.61	0.03	4.82	0.17	0.02	2.51	73.74
22/8/06	9:30	559	7	25.9	8.48	0.49	0.65	0.02	5.11	0.17	0.02	2.30	80.04
20/9/06	9:30	597	7.1	25.8	6.24	0.20	0.70	0.02	4.92	0.25	0.06	2.11	80.06

Sumber : pengukuran lapangan dan analisis laboratorium tahun 2013

Gambar 13. Hidrokemograf Mataair Petoyan (sumbu x tidak diskalakan)

Gambar 14. Variasi Debit, Persentase Aliran Dasar, log PCO₂ dan SI kalsit di Mataair Petoyan (sumbu x tidak diskalakan)

7.3.1. Analisis hidrokemograf

Mataair Petoyan merupakan mataair yang bersifat perenial dan dari pembahasan sebelumnya telah diketahui mempunyai dominasi aliran berupa aliran diffuse. Karena dominasi aliran diffuse inilah, maka fluktuasi DHL dan unsur terlarut yang dijumpai tidak terlalu tegas dijumpai, meskipun dalam keadaan banjir sekali pun. Sebagai contoh adalah nilai DHL yang hanya berkisar antara 445 $\mu\text{mhos/cm}$ dan 597 $\mu\text{mhos/cm}$. Meskipun demikian, nilai DHL di Mataair Petoyan mempunyai korelasi yang kuat dengan fluktuasi debit alirannya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.

Gambar 15. Scatter plot DHL – Debit Aliran Mataair Petoyan

Hubungan yang tampak menunjukkan bahwa ketika debit aliran naik, maka terjadi penurunan nilai DHL. Secara teoritis, hal ini terjadi karena bertambahnya komponen aliran selain aliran dasar ketika terjadi kenaikan debit aliran, sebagaimana yang korelasinya juga kuat, seperti yang disajikan pada Gambar 16. Dari fakta-fakta ini dapat disimpulkan bahwa DHL berkorelasi positif dengan banyak sedikitnya persentase aliran dasar, atau ketika aliran dasar naik, maka DHLnya pun juga naik.

Gambar 15. Scatter plot DHL – Debit Aliran Mataair Petoyan

7.3.2. Analisis *scatter plot*

Scatter plot DHL-unsur dominan terlarut di Mataair Petoyan disajikan pada Gambar 16.

Gambar 16. Scatter plot DHL – unsur dominan terlarut Mataair Petoyan

Dari Gambar 16 terlihat bahwa hubungan antara DHL dan kalsium atau bikarbonat sebagian besar mempunyai hubungan positif, meskipun nilai determinasinya (R^2) hanya sebesar 11-13%. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan positif hasil proses *water-rock interaction* yang terjadi. Nilai R^2 yang cukup kecil ini kemungkinan karena tidak dipisahkannya kejadian banjir dan kejadian resesi pada *scatter plot* ini karena terbatasnya jumlah sampel. Selanjutnya, Gambar 17 menunjukkan *scatter plot* antara persentase aliran dasar dan unsur dominan terlarut di Mataair Petoyan.

Gambar 17. *Scatter plot* persentase aliran dasar – unsur dominan terlarut Mataair Petoyan

Hampir sama dengan yang dijumpai pada *scatter plot* antara DHL dan unsur dominan terlarut, yakni mempunyai hubungan positif, meskipun nilai determinasinya (R^2) hanya sebesar 22-25%. Sama dengan penjelasan sebelumnya, hubungan ini menunjukkan adanya hubungan positif hasil proses *water-rock interaction* yang terjadi, dan kecilnya nilai R^2 yang cukup kecil ini karena tidak dipisahkannya kejadian banjir dan kejadian resesi pada analisis *scatter plot* ini karena terbatasnya jumlah sampel saat banjir. *Scatter plot* persentase aliran dasar - log PCO_2 di Mataair Petoyan, dan hubungan debit - log PCO_2 disajikan pada Gambar 18.

Gambar 18. *Scatter plot* persentase aliran dasar dan log PCO₂ di Mataair Petoyan

Dari Gambar 18, tampak bahwa hubungan antara log PCO₂ dan PAD/debit cukup besar yaitu dengan nilai R² sekitar 0,6 dan 0,9. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *interface* udara dan air di Mataair Petoyan bersifat terbuka sehingga setiap saat ada transfer gas karbondioksida ke dalam air, atau tidak terlalu banyak gas karbondioksida yang dipergunakan untuk melarutkan batuan seperti halnya yang terjadi pada sistem sungai bawah tanah (*closed system*). Dari *scatter plot* juga terlihat bahwa nilai log PCO₂ dan PAD mempunyai hubungan negatif, artinya nilai log PCO₂ akan turun saat persentase *baseflow* di Mataair Petoyan meningkat. Meskipun demikian, dengan dominasi aliran dasar yang besar di mataair ini, maka kuatnya hubungan antara aliran dasar dan log PCO₂, maka perlu penelitian lanjutan untuk menjelaskan sebab dari hubungan ini. Sebaliknya, jika dipasangkan antara log PCO₂ dan unsur dominan terlarut, maka hubungannya tetap dideteksi positif, meskipun nilainya tidak terlalu kuat (Gambar 19), bahkan hubungan log PCO₂ dan bikarbonat menunjukkan hubungan negatif.

Gambar 19. *Scatter plot* unsur dominan terlarut dan log PCO₂ di Mataair Petoyan

VIII. KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. Kesimpulan

- Dari hasil analisis nilai konstanta resesi, diindikasikan bahwa Mataair Petoyan merupakan mataair yang sepanjang tahun didominasi oleh aliran yang bertipe *diffuse*. Hal ini juga didukung dengan fakta bahwa tidak terlalu lamanya nilai Tp dan Tb pada saat kejadian banjir. Analisis nilai konstanta resesi juga menunjukkan bahwa di Mataair Petoyan tidak dijumpai komponen aliran *conduit* ketika kejadian banjir, sehingga kenaikan debit aliran ketika banjir hanya diimbuh oleh komponen aliran *fissure*. Dengan fakta-fakta ini, dapat disimpulkan bahwa kondisi akuifer daerah tangkapan Mataair Petoyan mempunyai sistem pelorongan yang belum belum begitu berkembang;
- Dengan dominasi aliran *diffusinya*, maka kondisi hidrogeokimia Mataair

Petoyan sepanjang periode pengukuran tidak menunjukkan fluktuasi yang tajam. Akibatnya, terjadi hubungan yang kuat antara persentase aliran dasar dan DHL. Meskipun demikian, aliran dasar tidak mempunyai korelasi yang kuat jika dipasangkan dengan unsur dominan yang terlarut di air yaitu kalsium dan bikarbonat. Selanjutnya, sistem hidrologi karst di Mataair Petoyan bersifat terbuka (*open system*) yang ditunjukkan dengan kuatnya hubungan antara aliran dasar dan tekanan parsial gas karbondioksida.

8.2. Saran

Perlunya penelitian ini dilanjutkan pada periode pengukuran yang lebih panjang, mengingat keterbatasan pengambilan sampel pada penelitian ini yang menyebabkan tidak terdeteksinya hubungan yang kuat antara kondisi aliran dan unsur-unsur dominan terlarut.

VIII. DAFTAR PUSTAKA

- 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. 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., 2010. Variasi Spasial-Temporal Hidrogeokimia dan Sifat Aliran Untuk Karakterisasi Sistem Karst Dinamis di Sungai Bawah Tanah Bribin, Kabupaten Gunung Kidul, DIY, Disertasi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- 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
- Adji, T.N., 2011, Upper catchment of Bribin underground river hydrogeochemistry (Gunung Sewu Karst, Gunung Kidul, Java, Indonesia) Proceeding of Asian Trans-Disciplinary Karst Conference, Yogyakarta
- Adji, T.N., 2011. Pemisahan aliran dasar bagian hulu Sungai Bribin pada aliran Gua Gilap, di Karst Gunung Sewu, Gunung Kidul, Yogyakarta, *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 6 No. 3 September 2011

- 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, E., Woro, S, 2009, Diffuse Flow Separation Within Karst Underground River at Ngreng Cave, Proceeding of International Conference Earth Science and Technology, 6-7 Aug 2009, Yogyakarta
- Adji, T.N., Misqi, M., 2010, 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)
- Anthony, D.M., Groves, C., Meiman, J., 1997. Preliminary investigations of seasonal changes in the geochemical evolution of Logdson River, Mammoth Cave, Kentucky, *Proceedings of the 4th Mammoth Cave Science Conf., Mammoth Cave, KY*, 15-23.
- Balazs, D., 1968. *Karst Regions in Indonesia: Karszt-Es Barlangkutatas*, Volume V. Budapest, Globus nyomda, 61 p.
- Bemmelen, R.W. van, 1970. *The Geology of Indonesia*. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. Government Printing Office. The Hague
- Blair, R.W., 2008. Karst Landforms and Lakes, National Aeronautics and Space Administration, http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/geomorphology/GEO_7
- Brunsch A, Adji, TN, Stoffel D, Ikhwan M, Oberle P, Nestmann F (2011) Hydrological assessment of a karst area in Southern Java with respect to climate phenomena, Proceeding of Asian Trans-Disciplinary Karst Conference, Yogyakarta
- Chichano, L., 2000. *Factors Which Determine The Hydrogeochemical Behaviour of Karstic Springs. A Case Study from The Betic Cordilleras, Spain*. Pergamon
- Dane, F.C. 1990. *Research Methods*, Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, California
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. 2nd Ed. John Wiley & Sons
- Eckhardt K, 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes* 19, 507-515.
- Etfimi, R., 2005. Use of hydrochemical studies to identify the recharge sources of karst Spring; example of Poceme springs in Albania, *Geophysical Research Abstracts*, Vol.7, 04063
- Ford, D. and Williams, P. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman and Hall, London
- Ford, D. and Williams, P. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman and Hall, London
- Gillieson, D., 1996, *Caves: Processes, Development, and Management*, Blackwell, Oxford
- Haryono, E, Adji, T.N., Widyastuti, W., 2009, Environmental Problems of *Telaga* (Doline Pond) in Gunungsewu Karst, Java Indonesia, , Proceeding 15th International Congress of Speleology, Volume II, UIS, Texas, pp 1112-1116
- Haryono, E. dan Adji, T.N. 2004. Geomorfologi dan Hidrologi Karst. Yogyakarta: Kelompok Studi Karst, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
- Haryono, E., 2001. *Nilai Hidrologis Bukit Karst*, Makalah pada seminar Nasional, Eko-Hidrolik, 28-29 Maret 2001, Jurusan Teknik Sipil , UGM

- Jankowski, J., 2001. Groundwater Environment, *Short Course Note*, School of Geology, University Of New South Wales, Sydney, Australia
- Karimi, H., Raeisi, E., Bakalowicz, M., 2004. Characterising the main karst aquifers of the Alvand Basin, northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach, *Hydrogeology Journal*, Vol.13 nr. 5-6
- Ko, R.K.T., MD.DV., 1984. *Peranan Ilmu Speleologi Dalam Penyelidikan Fenomena Karstik dan Sumberdaya Tanah dan Air – Sebuah Informasi Soal Speleologi*, Ceramah Pada Pusat Penelitian Tanah –Bogor, Bogor.
- Kusumayudha, S.B., 2005, *Hidrogeologi Karst dan Geometri Fraktal di Daerah Gunungsewu*, Adicita Karya Nusa, Yogyakarta
- Liu, Z., Groves, C., Yuan, D., Meiman, J., 2004(a). South China Karst Aquifer Storm-Scale Hydrochemistry, *Ground Water*. 42, Jul/Agt 2004
- Liu, Z., Groves, C., Yuan, D., Meiman, J., Jiang, D., He, S., Li, Q., 2004(b). Hydrochemical variation during flood pulses in the south-west peak cluster karst : impacts of $\text{CaCO}_3\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ interactions, *Hydrological Processes*. 18, 2423-2437
- MacDonalds and Partners. 1984. *Greater Yogyakarta – Groundwater Resources Study*. Vol 3C: Cave Survey. Yogyakarta, Directorate General of Water Resources Development Project (P2AT)
- Nathan RJ, McMahon TA, 1990. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. *Water Resources Research*. 26(7):1465-1473.
- Raeisi, R., Karami, G., 1997. Hydrochemographs of Berghan karst spring as indicators of aquifer characteristics, *Journal of Cave and Karst Studies* 59(3), 112-118
- Rahardjo, W., Rumidi, S., Rosidi, H.M.D., 1977, *Peta Geologi Lembar Jogjakarta*, skala 1:100.000, Pusat Pengembangan dan Penelitian Geologi, Bandung
- Schulz, E.F., 1976. *Problems in Applied Hydrology*. Water Resources Publication, Colorado
- Smakhtin, V.Y., 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240:147-86.
- Smart, P.L. and Hobbes, S.L., 1986. Characteristics of Carbonate Aquifers: A conceptual basis. In *Proceedings, Environmental Problem in Karst Terrains and Their Solution*. Bowling Green, KY: National Well Water Association, 1-4
- Surono, Toha, B., Sudarno, I., Wiryosujono, S., 1992, *Geologi Lembar Surakarta-Girintontro*, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Suryanta, G., 2001, *Kajian Karakteristik Hidrograf Satuan Daerah Karst Gunung Kidul (Studi Kasus: Daerah Tangkapan Air Sungai Bawahtanah Bribin, Kabupaten Gunung Kidul, Propinsi DIY)*, *Skripsi Sarjana*, Fakultas Geografi, UGM, Yogyakarta
- Toha, B., Purtyasti, R.D., Sriyono, Sutoto, Rahardjo, W., dan Pramumijoyo, S., 1994. Geologi Daerah Pegunungan Selatan, Suatu Kontribusi, *Prosiding Geologi dan Geoteknik Pulau Jawa sejak Akhir Mesozoik hingga Kuartar*, hal. 19-36, Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada
- Wang, Y., Ma, T., Luo, Z., 2001. Geostatistical and geochemical analysis of surface water leakage into groundwater on a regional scale: a case study in the Liulin karst system, northwestern China, *Journal of Hydrology* 246, 223-234

- White, W.B., 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain*. Oxford University Press, New York
- White, W.B., 1993. *Analysis of Karst Aquifer*. In: Alley, W.M. (editor), *Regional Groundwater Quality*. Van Nostrand Reinhold, New York

IX. BIODATA PENELITI

BIODATA PENELITI UTAMA

IDENTITAS PRIBADI

Nama Lengkap : Dr. Tjahyo Nugroho Adji, MSc.Tech
Tempat, Tgl. Lahir : Magelang, 28 Januari 1972
NIP/Jabatan : 197201281998031001 / Lektor Kepala
Pangkat / Gol. : Pembina/IVA
Bidang Keahlian : Geohidrologi
Prodi/Jurusan : Geografi dan Ilmu Lingkungan/Geografi Lingkungan
Alamat Rumah : Pondok Gemilang A-12, Sendangadi, Mlati, Sleman

PENGALAMAN (3 tahun terakhir)

1. Studi Imbangan Air Di Sekitar Tambang Batugamping Holcim Site, Tuban, 2012-2013
2. Survei Hidrogeologi di Areal Eksplorasi Tambang PT Sinar Tambang Arthalestari, Kec. Ajibarang Dan Kec. Gumelar, Kab. Banyumas, 2012
3. Pembuatan sumur tampungan dan filtering di Telaga Nangsri, Semanu, Gunungkidul, 2012
4. Survey KLHS Kab. Banggai Kepulauan, 2012

PENGALAMAN PENELITIAN (3 tahun terakhir)

1. Analisis Potensi Pencemaran Airtanah Bebas Di Kawasan Gumuk Pasir Parangtritis, Anggaran Dana Masyarakat UGM Nomor: LPPM-UGM/2166/BID.I/2012 11 Juli 2012
2. Perhitungan Kadar CO₂ terlarut dan Tingkat Denudasi di DAS Bribin, Gunungsewu, Yogyakarta, Hibah BPOTN, no.: LPPM-UGM/3521/BID.1/2012
3. 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
4. Pengembangan Metode ERT Geolistrik Untuk Permasalahan-Permasalahan Lingkungan, 2010-2011

Yogyakarta, 15 September 2013

Dr. Tjahyo N. Adji, MSc.Tech

BIODATA MAHASISWA ASISTEN PENELITIAN -1

IDENTITAS PRIBADI

Nama Lengkap : Hendy Fatchurohman
Tempat, Tgl. Lahir : Gunungkidul, 9 April 1990
NIM : 6627/GE
Prodi / Jurusan : Geografi dan Ilmu Lingkungan/Geografi Lingkungan
Judul Skripsi : Kajian *Acid Neutralizing Capacity* Mataair Karst Gunungsewu Dan Potensi Jumlah Serapan CO₂ (Karbon Dioksida) Pada Proses Pelarutan Batuan Karbonat.
Alamat : Sokokerep, RT.6/RW.17, Semanu, Gunungkidul

Yogyakarta, 15 September 2013

Hendy Fatchurohman

BIODATA MAHASISWA ASISTEN PENELITIAN -2

IDENTITAS PRIBADI

Nama Lengkap : Roza Oktama
Tempat, Tgl. Lahir : Bogor, 28 Oktober 1991
NIM : 6730/GE
Prodi / Jurusan : Geografi dan Ilmu Lingkungan/Geografi Lingkungan
Judul Skripsi : Karakterisasi Akuifer Karst dengan Pendekatan Variasi Temporal Hidrogeokimia dan Sifat Aliran (Studi Mataair Kawasan Karst Gunungsewu)
Alamat : Villa Arsita Nomer C1, Jalan Kaliurang Km 9,3. Ngaglik, Sleman, Yogyakarta.

Yogyakarta, 15 September 2013

Roza Oktama