HUBUNGAN DEBIT ANDALAN DENGAN TINGKAT AGRESIVITAS PADA MATAAIR KARST NGELENG, PURWOSARI, GUNUNGKIDUL

¹⁾Hendy Fatchurohman, ²⁾Tjahyo Nugroho Adji, ³⁾Roza Oktama

¹⁾Master Perencanaan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281

^{2), 3)}Jurusan Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Sekip Utara, Yogyakarta 55281

Email : hendy.fatchurohman@gmail.com

ABSTRAK

Aliran dasar (*baseflow*) sungai bawah tanah karst merupakan aliran yang diandalkan untuk mengisi aliran bawah tanah pada musim kemarau. Penelitian ini dilakukan di Mataair Ngeleng, Kec. Purwosari, Kab. Gunungkidul yang merupakan bagian dari karst Gunung Sewu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara aliran dasar dengan tingkat agresivitas mataair. Satu buah *water level data logger* dipasang selama periode antara April 2013 s.d. Agustus 2013 untuk mengetahui variasi tinggi muka air selama periode pengukuran. Pengukuran debit aliran sebanyak sembilan kali pengukuran yang mewakili kondisi TMA rendah, sedang, dan tinggi, dilakukan untuk membuat kurva hubungan antara TMA dan debit aliran. Kemudian, pemisahan aliran dasar dan aliran langsung dilakukan dengan metode *automated baseflow separation by digital filtering*. Nilai *digital filtering* diperoleh dari analisis nilai konstanta resesi pada kejadian-kejadian banjir sepanjang tahun yang kemudian dihubungkan dengan nilai *baseflow max indices* (BFI_{max}) pada akuifer karst. Hasil penelitian menunjukkan selama periode pengamatan, Mataair Ngeleng mengalami 4 kali kejadian banjir, dengan nilai *digital filtering* sebesar 0,985. Hasil pengamatan parameter hidrogeokimia 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.

Kata kunci: Pemisahan aliran dasar, Mataair Ngeleng, *digital filtering*, agresivitas

PENDAHALUAN

Wilayah selatan Kabupaten Gunungkidul hampir seluruhnya didominasi oleh daerah karst yang berbatuan gamping. Berkembangnya jaringan bawah tanah menyebabkan kondisi hidrologis permukaan kering dan minim sumberdaya air. Keberadaan mataair menjadi sangat penting dalam fungsinya memenuhi kebutuhan air masyarakat. Ketersediaan aliran mantap/debit andalan menjadi sangat penting terutama di musim kemarau. Meskipun demikian, sampai saat ini penelitian yang berkaitan dengan karakteristik akuifer batugamping dalam kaitannya dengan pola pelepasan komponen-komponen aliran di akuifer karst belum mencukupi. White (1988), Ford and Williams (1992), Smart and Hobbes (1986) 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 temporal untuk mengetahui tingkat pelarutan atau agresivitas serta pengamatan aliran 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) serta Raeisi dan Karami (1997).

Imbuhan yang mempunyai sifat rembesan (*diffuse*) bergerak secara seragam kebawah melalui rekahan-rekahan kecil yang tersedia. Komponen aliran inilah yang selanjutnya dikenal sebagai debit andalan atau aliran dasar (*baseflow*), yang merupakan satu-satunya pemasok air pada sungai bawah tanah di musim kemarau ketika komponen aliran *conduit* dan *fissure* sudah tidak ada lagi.

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

Dalam kaitannya dengan penelitian ini, seperti yang sudah dijelaskan oleh Domenico and Schwartz (1990) dan Smart and Hobbes (1986), jika pada suatu aliran sungai bawah tanah dikenal tiga macam komponen aliran yaitu *diffuse*, *fissure*, dan *conduit*, maka pada

suatu sungai permukaanpun mempunyai tiga komponen aliran utama yang identik yaitu: (1) aliran dasar (*baseflow*) yang setara dengan aliran *diffuse*, (2) aliran antara (*interflow*-setara dengan *fissure*), dan (3) aliran saluran (*channel flow*-setara dengan *conduit*). Konsep ini diantaranya dikenalkan oleh Schulz (1976) yang menganggap akuifer sebagai suatu media penyimpan air yang setelah kejadian banjir akan berangsur-angsur melepaskan tiga komponen simpanan airnya seiring dengan fungsi waktu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada tulisan ini, untuk lebih memudahkan pemahaman, aliran *diffuse* diterjemahkan sebagai aliran dasar (*baseflow*).

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

Latar belakang permasalahan dan tujuan penelitian

Kecamatan Purwosari dan sekitarnya memiliki beberapa mataair karst dengan karakteristik yang berbeda. Minimnya riset mengenai mataair di sekitar Kecamatan Purwosari melatarbelakangi dilakukannya penelitian dan studi lebih lanjut mengenai debit andalan dan tingkat agresivitas pada mataair karst. Mataair Ngeleng merupakan salah satu mataair terbesar di Kecamatan Purwosari dengan nilai pemanfaatan yang tinggi. Hal itu yang menjadilatar belakang memilih Mataair Ngeleng sebagai lokasi studi kasus penelitian terhadap mataair karst

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung persentase aliran dasar di Mataair Ngeleng. Pemisahan aliran dasar dilakukan untuk mengetahui persentase komponen aliran permanen minimum yang memasok aliran Mataair Ngeleng. Dua jenis aliran dari akuifer karst yang dipisahkan adalah (1) aliran langsung dan aliran antara; dan (2) aliran dasar. Jika persentase aliran dasar atau aliran permanen (*minimum flow*) sebagai debit andalan mataair dapat diketahui, maka hal ini dapat digunakan sebagai prediksi penyediaan sumber air bersih atau untuk keperluan lain. Selain itu, distribusi temporal aliran dasar dapat juga digunakan untuk menambah pengetahuan tentang sifat dan perkembangan akuifer karst di daerah tangkapan air Mataair Ngeleng ini.

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

Curah Hujan dan Geologi

MataairNgeleng secara keruangan terletak di bagian barat kawasan karst Gunung Sewu, yang secara administratif masuk pada wilayah Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul. Kawasan Karst Gunung Sewu yang pada awalnya diperkenalkan oleh Danes (1910) dan Lehmann (1936), dicirikan oleh bukit-bukit berbentuk kerucut (*kegelkarst*), sebagai bentukan positif tumpul, dan tidak terjal atau sering diistilahkan sebagai kubah sinusoidal. Kegelkarst oleh Sweeting (1972) dikategorikan sebagai bagian dari tipe karst tropis.

Gambar 3. Kedudukan Mataair Ngeleng secara administratif

Dari data curah hujan yang 2 stasiun penakar hujan yang terdekat dari lokasi penelitian yaitu Stasiun Giriwungu dan Stasiun Siluk, dapat disimpulkan bahwa curah hujan di sekitar Mataair penelitian berkisar antara 1600-2100 mm/th. Data hujan yang digunakan adalah data selama 22 tahun mulai tahun 1985-2006 (Tabel 1).

Tabel 1. Curah Hujan Rata-Rata di Daerah Penelitian

Nama Stasiun	Curah Hujan (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

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

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.

METODE PENELITIAN

Satu buah alat pencatat TMA otomatis (*water level data logger*) dipasang selama periode April 20013 s.d. Agustus 2013 dengan interval pencatatan 30 menit. Selanjutnya, pengukuran debit aliran pada periode debit kecil, rata-rata, dan puncak dilakukan sesaat selama 9 kali pengukuran untuk membuat kurva hubungan debit dan tinggi muka air, sehingga diperoleh variasi debit selama masa pengukuran 1 tahun. Analisis regresi antara pasangan data TMA dan debit terukur dilakukan untuk membuat *Stage Discharge Rating Curve*. Cara yang dipakai adalah cara sederhana berupa regresi linier dengan jumlah sampel kecil (Schulz, 1976), sehingga diperoleh rumus hubungan antara TMA dan debit. Kemudian, konstanta resesi pada beberapa kejadian banjir dicari dengan persamaan sebagai berikut:

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

Pada persamaan di atas, Q adalah debit aliran, k adalah konstanta resesi pada suatu sistem akuifer, t adalah waktu pada debit ke t, dan t_0 adalah waktu pada debit awal resesi (Schulz, 1976). Kemudian jika pada skala semi-log rumus ini dianggap linier, maka:

$$\ln Q(t) = -k(t - t_0) + \ln Q(t_0) \dots\dots\dots(2), \text{ atau}$$

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

Menurut Schulz (1976), pemisahan aliran dasar adalah suatu metode untuk memisahkan komponen aliran pada suatu sungai menjadi komponen aliran dasar dan

komponen aliran langsung. Analisis pemisahan aliran dasar (*baseflow separation*) dan penghitungan aliran langsung sepanjang tahun dilakukan dengan menggunakan cara *automated base flow separation by digital filtering* (Eckhardt, 2005), yaitu mencari nilai *digital filtering* atas dasar nilai konstanta resesi aliran dasar pada kejadian hidrograf sepanjang tahun yang kemudian dihubungkan dengan nilai *base flow indices* maksimum (BFI_{max}) di akuifer karst dengan rumus sebagai berikut:

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

pada rumus di atas, $q_{b(i)}$ 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. Sementara itu, nilai BFI_{max} yang dipergunakan adalah 0,8 karena sifat akuifer karst yang porus dan sifat alirannya menahun (Eckhardt, 2005).

Selain mengukur aliran mataair, sampel mataair juga diambil untuk dilakukan uji lab terhadap unsur kimianya. Pengumpulan data kandungan unsur kimia air Mataair Ngeleng dilakukan dengan pengambilan sampel air yang dilakukan sesuai dengan desain waktu pengambilan sampel yang dibuat berdasarkan perubahan kondisi aliran yang diwakilkan saat aliran kecil, menengah dan besar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran debit aliran di dekat alat pencatat tinggi muka air sepanjang tahun dilakukan pada saat-saat tertentu sehingga mewakili pelbagai kondisi tinggi muka air, untuk pembuatan grafik hubungan antara tinggi muka air dan debit. Pengukuran debit dilakukan sebanyak sembilan kali yang hasilnya secara rinci ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran debit aliran Mataair Ngeleng pada berbagai kondisi tinggi muka air

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 (2012-2013)

Selanjutnya, setelah dilakukan sembilan kali pengukuran debit dan tinggi muka air, analisis regresi dilakukan untuk memperoleh rumus kurva aliran (*stage discharge rating curve*), seperti yang disajikan pada Gambar 4. Dengan rumus kurva aliran ini, maka debit

aliran sepanjang tahun dapat diketahui dengan hanya melihat tinggi muka airnya saja. Rumus *rating curve* yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$y = 6,13 x - 0.173 \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan pada rumus di atas, y adalah debit aliran (lt/dt) dan x adalah tinggimukaair (m).

Gambar 4. Hubungan debit-TMA (*rating curve*)di Mataair Ngeleng

Kemudian, rumus ini digunakan untuk menggambarkan hidrograf aliran yang berisi fluktuasi debit aliran sepanjang tahun dengan interval waktu pencatatan TMA tiap 30 menit sekali. Hasil penghitungan sepanjang tahun disajikan pada Gambar 5.

Gambar 5. Variasi Debit Mataair Ngeleng 19 April 2013 - 16 Agustus 2013

Setelah diperoleh hidrograf aliran, maka kemudian dihitung jumlah kejadian banjir total selama periode 19 April 2013 - 16 Agustus 2013. Hasil penghitungan menunjukkan adanya 4 kejadian banjir ,yang mempunyai debit yang cukup dan waktu resesi yang cukup panjang sesuai syarat oleh Schulz (1976) untuk dihitung nilai konstanta resesinya (Kr

baseflow). Data hasil penghitungan konstanta resesi disajikan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut diperoleh nilai rata-rata konstanta resesi sebesar 0,985.

Tabel 3. Konstanta resesi hidrograf banjir terpilih di Mataair Ngeleng

	Waktu	Debit Puncak (lt/dt)	Kr <i>channel</i> (K_c)	Kr <i>Interflow</i> (K_i)	Kr <i>Baseflow</i> (K_b)	Tp (jam)	Tb (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 pada periode(2013)

Secara umum, Nathan And McMahon (1990) menjelaskan bahwa kisaran nilai konstanta resesi untuk aliran dasar (K_b) berkisar antara 0,970 dan 0,996 dengan nilai rata-rata sebesar 0,985. Kemudian, setelah dipisahkan antara komponen aliran dasar dan debit totalnya, maka hasilnya adalah seperti yang disajikan pada Gambar 6.

Gambar 6. Fluktuasi Aliran Dasar (*diffuse flow*) Mataair Ngeleng

Dari perhitungan rasio total aliran dasar bulanan terhadap total aliran, secara umum nilai rasionya mendekati angka sekitar 80%. Hal ini disebabkan oleh sifat pelepasan aliran akuifer karst di sekitar Mataair Ngeleng 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 7)

Gambar 7. Hubungan antara debit dan persentase aliran dasar saat kejadian banjir

Dari Gambar 7 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. Selanjutnya, hubungan *scatter plot* antara aliran dasar dan debit aliran disajikan pada Gambar 8. Dari Gambar 8 tampak bahwa meskipun demikian kenaikan debit dan aliran dasar tidak selalu selaras waktunya baik ketika debit menuju puncaknya maupun saat resesi setelah banjir, tetapi tetap terjadi hubungan yang kuat antara kenaikan debit dan kenaikan aliran dasarnya (Gambar 8.). Dari Gambar 8 terlihat pula bahwa hubungan antara debit dan aliran dasar berkorelasi negatif, artinya kenaikan debit selalu diikuti dengan penurunan aliran dasar atau sebaliknya.

Gambar 8. Scatter plot antara kenaikan debit dan persentase aliran dasar saat *time to peak* (kiri) dan saat periode resesi (kanan)

Karakteristik Hidrogeokimia di Mataair Ngeleng diwakili sebanyak 7 kali pengukuran pada kurun waktu April 2013 sampai dengan Agustus 2013. Data lengkap hasil pengukuran parameter kualitas air dan analisis laboratorium air sungai bawah tanah di Mataair Ngeleng disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Kimia Sampel Air Mataair Ngeleng

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

Analisis hidrokemograf

Mataair Ngeleng 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, 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 Ngeleng mempunyai korelasi yang kuat dengan fluktuasi debit alirannya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

Gambar 9. Scatter plot DHL – Debit Aliran Mataair Ngeleng

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 10. 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 10. Scatter plot DHL – Debit Aliran Mataair Ngeleng

Analisis scatter plot

Scatter plot DHL-unsur dominan terlarut di Mataair Ngeleng disajikan pada Gambar 11.

Gambar 11. Scatter plot DHL – unsur dominan terlarut Mataair Ngeleng

Berdasarkan Gambar 11 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 12 menunjukkan *scatter plot* antara persentase aliran dasar dan unsur dominan terlarut di Mataair Ngeleng.

Gambar 12. Scatter plot persentase aliran dasar – unsur dominan terlarut Mataair Ngeleng

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 PCO₂ di Mataair Ngeleng, dan hubungan debit - log PCO₂ disajikan pada Gambar 13.

Gambar 13. *Scatter plot* persentase aliran dasar dan $\log \text{PCO}_2$ di Mataair Ngeleng

Dari Gambar 13, tampak bahwa hubungan antara $\log \text{PCO}_2$ dan PAD/debit cukup besar yaitu dengan nilai R^2 sekitar 0,6 dan 0,9. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *interface* udara dan air di Mataair Ngeleng 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 $\log \text{PCO}_2$ dan PAD mempunyai hubungan negatif, artinya nilai $\log \text{PCO}_2$ akan turun saat persentase *baseflow* di Mataair Ngeleng meningkat. Meskipun demikian, dengan dominasi aliran dasar yang besar di mataair ini, maka kuatnya hubungan antara aliran dasar dan $\log \text{PCO}_2$, maka perlu penelitian lanjutan untuk menjelaskan sebab dari hubungan ini. Sebaliknya, jika dipasangkan antara $\log \text{PCO}_2$ dan unsur dominan terlarut, maka hubungannya tetap dideteksi positif, meskipun nilainya tidak terlalu kuat (Gambar 14), bahkan hubungan $\log \text{PCO}_2$ dan bikarbonat menunjukkan hubungan negatif.

Gambar 14. *Scatter plot* unsur dominan terlarut dan $\log \text{PCO}_2$ di Mataair Ngeleng

Kesimpulan

Penghitungan persentase aliran dasar menunjukkan secara umum nilainya mendekati angka sekitar 80%. 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, sehingga dapat disimpulkan bahwa Mataair Ngeleng merupakan mataair yang sepanjang tahun didominasi oleh aliran yang bertipe diffuse, dengan sedikit imbuhan aliran fissure ketika kejadian banjir. Fakta lain yang dijumpai adalah bahwa ditemukan hubungan yang kuat antara debit dan aliran dasar dengan hubungan korelasi yang sifatnya berkorelasi negatif, artinya kenaikan debit selalu diikuti dengan penurunan aliran dasar atau sebaliknya. Dengan dominasi aliran diffusenya, 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.

Dari pengamatan yang dilakukan di Mataair Ngeleng ini, diharapkan dapat memberikan sumbangan mengenai karakteristik ketersediaan aliran andalan di Mataair Ngeleng. Selain itu, informasi mengenai ketersediaan aliran andalan ini dapat bermanfaat bagi pemenuhan sumberdaya air di sekitar Mataair Ngeleng, atau bagi kepentingan lain. Dalam jangka panjang, perlu untuk terus dilakukan pengamatan terkait dengan fluktuasi debit aliran dan persentase aliran dasar, karena kemungkinan terjadinya perubahan atau penurunan persentase aliran dasar di Mataair Ngeleng. Penurunan persentase aliran dasar dapat disebabkan oleh faktor eksternal, seperti berkurangnya lapisan epikarst di permukaan karena aktivitas penambangan, atau oleh sebab lain.

Ucapan Terimakasih

Syukur *alhamdulillah* pertama kali penulis haturkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang dengan karunia-Nya maka penulis dapat menyelesaikan tulisan ini. Selanjutnya penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada Fakultas Geografi UGM yang telah memberikan hibah dana penelitian, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Penulis juga kemudian menghaturkan terima kasih kepada Program Beasiswa Unggulan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sehingga dapat melanjutkan studi master di program Master Perencanaan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai Fakultas Geografi UGM.

DAFTAR PUSTAKA

- 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
- Bonacci, O., 1990, Regionalization in karst regions, *Proceedings of the Ljubljana Symposium*, April 1990, IAHS Publ. no. 191, 1990.
- Danes, J.V., 1910. Die Karstphanomene in Goenoeng Sewoe auf Java, *Tijdschrift van het kon. Ned. Aardrijksk. Gen.* Tweede Serie, deel XXVII, 247-260
- 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, h.507-515.

- 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., 2001. Nilai Hidrologis Bukit Karst, *Prosiding Seminar Nasional Eko-Hidrolik*, 28-29 Maret 2001, Jurusan Teknik Sipil , UGM.
- Jankowski, J., 2001. Groundwater Environment, *Short Course Note*, School of Geology, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Kusumayudha, S.B., 2005, *Hidrogeologi Karst dan Geometri Fraktal di Daerah Gunungsewu*, Adicita Karya Nusa, Yogyakarta
- Kusumayudha, S.B., Zen, M.T., Notosiswoyo, S., Gautama, R.S., 2000, Fractal Analysis of the Oyo River, Cave Systems, and Topography of the Gunungsewu Karst Area, Central Java, Indonesia, *Hydrogeology Journal* 8:271-278
- Lehmann, H., 1936. *Morfologische Studien auf Java*, Gohr, Abh, 3, Stuttgart
- MacDonalds and Partners. 1984. *Greater Yogyakarta – Groundwater Resources Study*. Vol 3C: Cave Survey. Yogyakarta, Directorate General of Water Resources Development Project (P2AT)
- Nathan, R.J., McMahon, T.A., 1990. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. *Water Resources Research*. 26(7):1465-1473.
- Schulz, E.F., 1976. *Problems in Applied Hydrology*. Water Resources Publication, Colorado.
- Sinar Harapan, 2004. *Mesin Bor Pembangunan Bendung Gua Bribin Tiba*. 18 Juni 2004. <http://www.sinarharapan.co.id/berita/0406/17/nus04.html>
- Smart, P.L. , Hobbes, S.L., 1986. Characteristics of Carbonate Aquifers: A conceptual basis. *Proceedings of Environmental Problem in Karst Terrains and Their Solution*. Bowling Green, KY: National Well Water Association, 1-4
- Suara Merdeka, 2004. Warga Gunungkidul Bakal Nikmati Air Bersih. 21 Juni 2004.**<http://www.suaramerdeka.com/harian/0406/21/ked08.htm>
- Surono, Toha, B., Sudarno, I., Wiryosujono, S., 1992, *Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Sweeting, M.M., 1972. *Karst Landforms*, Macmillan, London.
- Waltham, A.C., Smart, P.L., Friederich, H., Eavis, A.J. & Atkinson, T.C., 1983, The caves of Gunung Sewu, Java: *Cave Science*, v. 10, no. 2, p. 55–96.
- 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

Untuk lebih memudahkan pencarian sitasi atau referensi , silahkan gunakan cara sitasi ini sebagaimana terdapat tanggal saat artikel ini diarsip pada <https://osf.io/preprints/inarxiv/>

Adji, T. N. (2017, October 9); Adji, T. N. (2017, October 9); Adji, T. N. (2017, October 9); Fatchurohman, H., & Adji, T. N. (2017, October 7); Fatchurohman, H., Adji, T. N., & Oktama, . roza . (2017, October 7); Bahtiar, I. Y., & Adji, T. N. (2017, October 7); Adji, T. N., Hendrayana, H., . sudarmadji ., & Woro, S. (2017, October 7); Adji, T. N. (2017, October 7); Adji, T. N., & Bahtiar, I. Y. (2017, October 7); Adji, T. N., & Mujib, M. A. (2017, October 7); Adji, T. N. (2017, October 9); Adji, T. N., & Mujib, M. A. (2017, October 7); Adji, T. N. (2017, October 7); Adji, T. N., & Haryono, E. (2017, October 7); Adji, T. N., Haryono, E., & Widyastuti, M. (2017, October 6); Adji, T. N. (2017, October 1); Adji, T. N. (2017, October 2); Adji, T. N., & S. (2017, October 1); Adji, T. N., Sunariya, I. T., & Wicaksono, M. Z. (2017, October 2); Adji, T. N., & Misqi, M. (2017, October 2); Adji, T. N., & Rahmawati, N. (2017, October 2); Adji, T. N. (2017, October 3); Adji, T. N. (2017, October 3); Adji, T. N., & Haryono, E. (2017, October 3); Adji, T. N. (2017, October 2); Haryono, E., & Adji, T. N. (2017, October 2); Hariadi, B., & Adji, T. N. (2017, October 2); Adji, T. N. (2017, October 2); Adji, T. N., Haryono, E., Widyastuti, M., & P, S. T. (2017, October 2); Adji, T. N. (2017, October 2); Adji, T. N. (2017, October 2); Adji, T. N. (2017, October 2); Adji, T. N., & Cahyadi, A. (2017, October 2); Adji, T. N., Fatchurohman, H., Bahtiar, I. Y., & Mujib, M. A. (2017, October 2); Adji, T. N. (2017, October 2); Adji, Tjahyo N, Heru Hendrayana, Sudarmadji, and Suratman Woro. 2017; Haryono, E., Adji, T. N., & Widyastuti, M. (2017, October 2); Adji, T. N., & Haryono, E. (2017, October 1); Adji, T. N., & Haryono, E. (2017, October 1).

Pustaka-pustaka (jurnal dan artikel seminar) ini dapat memperkaya pengetahuan tentang sistem hidrologi karst, khususnya yang ada di daerah tropis (Indonesia). Format penulisan referensi pustaka yang digunakan bukan sesuai tahun diterbitkan, akan tetapi sesuai tahun ketika diunggah di web Indonesian Archive, lihat:

(<https://osf.io/preprints/inarxiv/discover?q=tjahyo>)

These references (journals and seminar articles) can enrich the knowledge of karst hydrological systems, especially those in the tropical area (Indonesia). The reference writing format used is not based on the year published but according to the year when it was uploaded on the Indonesian Archive web, see:

(<https://osf.io/preprints/inarxiv/discover?q=tjahyo>)

- Adji, T. N., Hendrayana, H., . sudarmadji ., & Woro, S. (2017, October 7). Perhitungan Konstanta Resesi Akuifer Karst Sepanjang Aliran Sungai Bribin, Gunung Sewu. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/ct278
- Adji, T. N., Haryono, E., Widyastuti, M., & P, S. T. (2017, October 2). ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE SEQUESTRATION TROUGH KARST DENUDATION PROCESS Preliminary Estimation from Gunung Sewu Karst. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/xe3c6
- Adji, T. N., Fatchurohman, H., Bahtiar, I. Y., & Mujib, M. A. (2017, October 2). Analisis Tingkat Perkembangan Akuifer Karst di Kawasan Karst Gunung Sewu, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Karst Rengel, Tuban, Jawa Timur Berdasarkan Analisis Hidrograf. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/vr8sp
- Adji, Tjahyo N, Heru Hendrayana, Sudarmadji, and Suratman Woro. 2017. "DIFFUSE FLOW SEPARATION WITHIN KARST UNDERGROUND RIVER AT NGRENENG CAVE". INA-Rxiv. October 2. osf.io/preprints/inarxiv/c643e.
- Fatchurohman, H., Adji, T. N., & oktama, . roza . (2017, October 7). HUBUNGAN DEBIT ANDALAN DENGAN TINGKAT AGRESIVITAS PADA MATAAIR KARST NGELENG, PURWOSARI, GUNUNGKIDUL. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/8vnma
- Adji, T. N. (2017, October 1). AGRESIVITAS AIRTANAH KARST SUNGAI BAWAH TANAH BRIBIN, GUNUNG SEWU. Retrieved from osf.io/jh8p2
- Adji, T. N., & S. (2017, October 1). HYDROLOGICAL PROPERTIES OF BRIBIN UNDERGROUND RIVER SYSTEM (Experience learned for Seropan River System Project). Retrieved from osf.io/zshc9
- Adji, T. N., & Haryono, E. (2017, October 1). KONFLIK ANTARA PEMANFAATAN BATUGAMPING DAN KONSERVASI SUMBERDAYA AIR DAS BRIBIN DI WILAYAH KARST GUNUNG SEWU. Retrieved from osf.io/utxz
- Adji, T. N., & Haryono, E. (2017, October 1). KAWASAN KARST DAN PROSPEK PENGEMBANGANNYA DI INDONESIA. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/ykt3f
- Adji, T. N. (2017, October 2). UPPER CATCHMENT OF BRIBIN UNDERGROUND RIVER HYDROGEOCHEMISTRY (GUNUNG SEWU KARST, GUNUNG KIDUL, JAVA, INDONESIA). Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/g7u6p
- Adji, T. N., Sunariya, I. T., & Wicaksono, M. Z. (2017, October 2). LAJU PENYERAPAN KARBONDIOKSIDA DAERAH ALIRAN SUNGAI BAWAH TANAH BRIBIN, KARST GUNUNG SEWU. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/eagcv
- Adji, T. N., & Misqi, M. (2017, October 2). THE DISTRIBUTION OF FLOOD HYDROGRAPH RECESSON CONSTANT FOR CHARACTERIZATION OF KARST SPRING AND UNDERGROUND RIVER FLOW COMPONENTS RELEASING WITHIN GUNUNG SEWU KARST REGION. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/nz3we
- Adji, T. N., & Rahmawati, N. (2017, October 2). The contribution of CO2 content in rainfall to dissolution process in karst area. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/vr3wf
- Adji, T. N. (2017, October 2). VARIASI SPASIAL-TEMPORAL HIDROGEOKIMIA DAN SIFAT ALIRAN UNTUK KARAKTERISASI SISTEM KARST DINAMIS DI SUNGAI BAWAH TANAH BRIBIN, KABUPATEN GUNUNG KIDUL, DIY. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/x4wyu
- Haryono, E., & Adji, T. N. (2017, October 2). GEOMORFOLOGI DAN HIDROLOGI KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/7jtgx
- Hariadi, B., & Adji, T. N. (2017, October 2). Variasi Temporal Hidrogeokimia Tetesan dari Ornamen Drapery di Dalam Gua Gilap di Kawasan Karst Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul, DIY. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/drztj

- Adji, T. N. (2017, October 2). Peranan Geomorfologi Dalam Kajian Kerentanan Air Bawah Tanah Karst. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/zancv
- Adji, T. N. (2017, October 2). 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. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/8nc9m
- Adji, T. N. (2017, October 2). SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION OF HIDROGEOCHEMISTRY AND KARST FLOW PROPERTIES TO CHARACTERIZE KARST DYNAMIC SYSTEM IN BRIBIN UNDERGROUND RIVER, GUNUNG KIDUL REGENCY, DIY PROVINCE. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/zegsa
- Adji, T. N. (2017, October 2). KONTRIBUSI HIDROLOGI KARST DALAM PENGELOLAAN KAWASAN KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/fm9aj
- Adji, T. N., & Cahyadi, A. (2017, October 2). Pentingnya Monitoring Parameter-Parameter Hidrograf Dalam Pengelolaan Airtanah di Daerah Karst. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/hvcmw
- Adji, T. N. (2017, October 2). Pemisahan aliran dasar bagian hulu Sungai Bribin pada aliran Gua Gilap, di Karst Gunung Sewu, Gunung Kidul, Yogyakarta. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/97mrv
- Haryono, E., Adji, T. N., & Widyastuti, M. (2017, October 2). ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF TELAGA (DOLINE POND) IN GUNUNGSEWU KARST, JAVA INDONESIA. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/8us3w
- Adji, T. N. (2017, October 3). Serial:Powerpoint Presentasi: HIDROLOGI/ KONDISI AIR DAERAH KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/a4b3x
- Adji, T. N. (2017, October 3). Serial: Powerpoint Presentasi KARTS SYSTEMS, CHARACTERISTICS, DEVELOPMENT, PROBLEMS AND CHARACTERIZATION. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/9ndk3
- Adji, T. N., & Haryono, E. (2017, October 3). Serial:Powerpoint Presentasi: MENGENAL KAWASAN KARST, CIRI-CIRI DAN TINDAKAN PREVENTIV SEDERHANA UNTUK PELESTARIANNYA. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/4vxy2
- Adji, T. N., Haryono, E., & Widyastuti, M. (2017, October 6). Serial Powerpoint Presentasi ATMOSPHERIC CARBONDIOXIDE SEQUESTRATION TROUGH KARST DENUDATION PROCESS (Preliminary Estimation from Gunung Sewu Karst Area). Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/fp2hu
- Fatchurohman, H., & Adji, T. N. (2017, October 7). STUDY OF WATERROCK INTERACTION TO CHARACTERIZE KARST AQUIFER IN NGELENG SPRING. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/td2zm
- Bahtiar, I. Y., & Adji, T. N. (2017, October 7). KAJIAN RESPON DEBIT MATAAIR NGELENG TERHADAP CURAH HUJAN UNTUK KARAKTERISASI AKUIFER KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/g4dh5
- Adji, T. N. (2017, October 7). Serial Powerpoint Presentasi: Karst Hydrogeochemistry - HIDROGEOKIMIA KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/ye3mv
- Adji, T. N., & Bahtiar, I. Y. (2017, October 7). SERIAL POWERPOINT CROSS CORRELATION ANTARA INPUT (CURAH HUJAN) DAN OUTPUT (DEBIT ALIRAN) SISTEM AKUIFER KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/s8e2z
- Adji, T. N., & mujib, M. A. (2017, October 7). Serial Powerpoint Presentasi: Menentukan Derajat Karstifikasi (Karstification Degree) akuifer Karst. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/d3h6c
- Adji, T. N., & mujib, M. A. (2017, October 7). Serial Presentasi: SEBARAN SPASIAL TINGKAT KARSTIFIKASI AREA PADA BEBERAPA MATAAIR DAN SUNGAI BAWAH TANAH KARST MENGGUNAKAN RUMUS RESESI HIDROGRAPH MALIK VOJTKOVA (2012). Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/ew5aq
- Adji, T. N. (2017, October 7). Serial Powerpoint Presentasi: Nilai Ekonomi Air di Daerah Karst. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/2pums
- Adji, T. N., & Haryono, E. (2017, October 7). Serial Powerpoint Presentasi: PERKEMBANGAN SISTEM HIDROLOGI KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/rf4h6
- Adji, T. N. (2017, October 9). HUBUNGAN KARAKTER ALIRAN DAN SIFAT KIMIA MATAAIR PETOYAN UNTUK KARAKTERISASI AKUIFER KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/t4yfk
- Adji, T. N. (2017, October 9). SEBARAN SPASIAL TINGKAT KARSTIFIKASI AREA PADA BEBERAPA MATAAIR DAN SUNGAI BAWAH TANAH KARST MENGGUNAKAN RUMUS RESESI HIDROGRAPH MALIK VOJTKOVA (2012). Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/wahrg
- Adji, T. N. (2017, October 9). ANALISIS HIDROGRAF ALIRAN UNTUK PENENTUAN DERAJAT KARSTIFIKASI PADA BEBERAPA KONDISI MATAAIR DAN SUNGAI BAWAH TANAH KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/9uq56
- Adji, T. N. (2017, October 9). Serial Powerpoint Presentasi: KOMPONEN-KOMPONEN ALIRAN KARST. Retrieved from osf.io/preprints/inarxiv/tcug2