Chapter 2

Analisis Karakteristik Hidrologi Aliran Sungai Bawah Tanah di Kawasan Karst untuk Mendukung Pengembangan Geowisata

Igor Yoga Bahtiar¹ dan Ahmad Cahyadi²

Jurusan Geografi Lingkungan Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

Email: 1igor.bahtiar@gmail.com ; 2ahmadcahyadi@geo.uqm.ac.id

Intisari

Perkembangan lorong-lorong pelarutan di kawasan karst menyebabkan kondisi anisotropis pada airtanah di kawasan ini. Kondisi seperti ini menyebabkan penentuan batas hidrologi dari sungai bawah tanah sulit untuk dilakukan. Disisi lain kondisi kawasan karst memiliki daya tarik tersendiri untuk dikembangkan menjadi kawasan wisata. Makalah ini membahas tentang metode-metode yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik hidrologi aliran sungai bawah tanah (analisis Hidrograf, Tracer dan Hidrogeokimia) dan membuat model pengelolaan geowisata gua di kawasan karst berdasarkan pada karakteristik hidrologis sungai bawah tanah. Identifikasi karakteristik hidrologi sangat penting untuk mendukung pengembangan geowisata (wisata gua). Hal ini terkait dengan pengurangan risiko bencana yang mungkin muncul. Seperti kecelakaan gua yang terjadi pada Bulan Maret 2013 di Gua Serpeng Kabupaten Gunungkidul akibat terjadi banjir secara tiba-tiba di dalam gua.

Kata Kunci: Karakteristik Hidrologi, Sungai Bawah Tanah, Geowisata, Karst

Pendahuluan

Geowisata gua merupakan salah satu potensi kawasan karst yang memiliki risiko kerusakan lingkungan yang kecil. Selain itu geowisata gua juga memiliki daya tarik tersendiri dari segi panorama seperti bentukan-bentukan di dalam gua seperti stalakmit, stalaktit, *gordyn* dsb. Oleh karena alasan tersebut geowisata gua memiliki potensi dikembangkan sebagai wisata alam yang memiliki kelestarian obyek wisata yang cukup panjang dan memiliki daya tarik bagi wisatawan. Manajemen pengelolaan pariwisata alam yang aman dan terkordinasi merupakan kunci dari pengembangan geowisata. Selain kenyamanan dalam menikmati keindahan kenampakan di dalam gua, keselamatan wisatawan juga menjadi hal yang menjadi fokus pengelolaan geowisata gua. Kecelakaan gua yang pernah terjadi di lokasi wisata gua akibat banjir, salah satu kejadian terjadi pada Bulan Februari dan Maret 2013 di Gua Sriti dan Gua Serpeng, Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta. Kecelakaan disebabkan oleh aliran sungai bawah tanah yang tiba-tiba naik.

Pengetahuan tentang karakteristik hidrologi wilayah karst sangat penting untuk perencanaan geowisata gua. Berdasarkan dengan pengetahuan karakteristik hidrologi aliran sungai bawah tanah kawasan karst dapat mengetahui pola kejadian hidrologi seperti besar debit aliran ketika banjir, *Lag time* kejadian banjir dsb. Karakteristik hidrologi tersebut penting dalam operasional penanggulangan kejadian kecelakaan di obyek geowisata gua. Oleh sebab itu tujuan dari mengetahui karakteristik hidrologi sungai bawah tanah adalah untuk memberikan gambaran kondisi hidrologi sungai bawah tanah dalam upaya pengembangan geowisata gua yang memiliki tingkat keselamatan yang baik.

Metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik hidrologi sungai bawah tanah adalah analisis hidrograf, uji *tracer* dan hidrogeokimia. Analisis hidrograf dapat digunakan untuk menentukan jenis aliran yang dominan dalam sistem akuifer bawah tanah. Uji *tracer* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam penelusuran aliran bawah permukaan. Sedangkan hidrogeokimia dilakukan dengan sampling untuk mengetahui karakteristik sistem hidrologi Karst. Diharapkan dengan menggunakan ketiga

pendekatan tersebut dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik hidrologi sungai bawah tanah di daerah kajian. Dengan demikian maka dapat memberikan saran dan masukan untuk pengelolaan geowisata di daerah Karst tersebut.

Berdasarkan hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi masyarakat dan pemerintah atau dinas terkait mengenai pengembangan geowisata gua di kawasan karst. Salah satu tujuan yang ada didalam penelitian ini adalah mampu untuk mengidentifikasi karakteristik hidrologi aliran sungai bawah tanah dengan menggunakan analisis hidrograf, uji *tracer* dan uji hidrogeokimia. Setelah itu diharapkan juga dapat menentukan model pengelolaan geowisata gua yang sesuai dengan karakteristik hidrologi aliran sungai bawah tanah di daerah penelitian.

Kajian Pustaka

Karst merupakan bentukan permukaan bumi yang terjadi karena proses pelarutan dari material batuan yang menyusun bentukan ini. Daerah karst memiliki karakteristik relief dan drainase yang khas, terutama disebabkan oleh pelarutan batuan yang tinggi oleh air (Dibyosaputro, 1997). Adji dan Haryono (2004) mengungkapkan kondisi hidrologi daerah karst dicirikan oleh sedikitnya aliran permukaan, namun memiliki banyak kenampakan gua dan aliran bawah permukaan. Sumber utama air bawah permukaan daerah Karst terbagi menjadi 4 macam, yaitu: imbuhan *allogenic*, *internal runoff*, *diffuse infiltration* dan imbuhan dari akuifer diatas batuan solusional bila ada. Sedangkan menurut Gunn (1981; dalam Haryono, 2001) perjalanan air hingga sungai bawah tanah atau mataair setidaknya melewati enam jalan, berupa aliran permukaan, *troughflow*, aliran dekat permukaan (*subcutaneous flow*), aliran luweng (*shaft flow*), aliran vados dan rembesan vados (*vadose seepage*).

Tipe aliran bawah permukaan kawasan karst terbagi menjadi dua jenis tipe aliran menurut Demenico dan Schwart (1990), yaitu tipe saluran (*conduit*) dan tipe rembesan (*diffuse*) (**Gambar 2.1**). Sedangkan menurut Gillieson (1996) secara mendasar sifat aliran pada akuifer karst terbagi menjadi tiga jenis, yaitu aliran

saluran/lorong (*conduit*), celah (*fissure*) dan rembesan (*diffuse*). Komponen aliran *diffuse* dikontrol oleh aliran dari air infiltrasi yang berada pada bukit-bukit Karst dan memberikan masukan pada aliran bawah tanah melalui tetesan dan rembesan pada ornamen gua (Haryono, 2001). Sifat komponen aliran tersebut *laminar* dengan karakteristik yang mengikuti hukum Darcy menurut White (1993; dalam Adji, 2006). Disisi lain, komponen aliran *conduit* mempunyai dominasi terhadap imbuhan pada aliran sungai bawah tanah saat banjir dan respon terhadap air hujan juga menyerupai aliran bawah tanah. Kondisi ini disebabkan oleh aliran permukaan yang masuk kedalam sistem bawah tanah melalui ponor atau *sinkhole*. Karena sifat aliran *conduit* adalah aliran *turbulent* maka hukum Darcy tidak dapat diterapkan untuk mengetahui karakteritiknya (Jankowski, 2001; dalam Adji, 2006).

Gambar 2.1. Contoh tipe sistem aliran bawah tanah Karst (Demenico dan Schwartz, 1990)

Menurut Mulyadi (2003) Geowisata secara umum dapat didefinisikan sebagai tempat wisata minat khusus yang menyajikan daya tarik keindahan bumi. Geowisata merupakan wisata yang memiliki tujuan untuk menikmati keindahan fisik lingkungan (*fisikal*). Geowisata sendiri tidak ada hubungannya dengan cabang keilmuan seperti geologi maupun geografi. Karena kegiatan lapangan pada

ilmu-ilmu tersebut biasa dikenal dengan *fieldtrip* atau kunjungan lapangan.

Metodologi

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah metode pustaka dan telaah literatur. Kajian meliputi metode untuk mengidentifikasi karakteristik hidrologi aliran sungai bawah tanah di kawasan karst. Setidaknya terdapat 3 metode yang digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik hidrologi, yaitu analisis hidrograf, uji *tracer* dan sampling hidrogeokimia. Hidrograf (**Gambar 2.3**) merupakan hubungan antara tinggi muka air sungai dengan debit aliran atau debit sedimen. Menurut Adji dan Haryono (2004) analisis hidrograf untuk aliran sungai bawah tanah dapat dilakukan untuk mengetahui respon dari variasi eksternal seperti curah hujan, suhu, tanah dan aktivitas tumbuhan. Selain itu analisis hidrograf dapat untuk menentukan jenis aliran dominan dalam sistem akuifer bawah tanah.

Gambar 2.3. Hidrograf mataair karst pada satu kejadian hujan
(White, 1988)

Uji *Tracer* merupakan metode penelusuran aliran bawah permukaan dengan tujuan untuk mengetahui sistem aliran bawah permukaan dengan menggunakan bahan pelacak. Bahan pelacak

terbagi menjadi 3 jenis, yaitu *tracers*, kimia dan pewarna, serta radioaktif (Jankowski dalam Adji dan Haryono, 2004). Sampling hidrogeokimia dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik sistem hidrologi karst. Pengamatan hidrogeokimia ini mengabaikan beberapa unsur lain yang mempengaruhi sistem hidrologi karst mulai dari karakteristik zona epikarst, dan tekanan gas CO₂. Karakteristik hidrologi aliran airtanah yang dihasilkan dari analisis menggunakan tiga metode diatas akan digunakan dalam penentuan model pengembangan kawasan geowisata gua.

Pembahasan

Perkembangan kawasan karst yang didominasi oleh lorong-lorong pelarutan yang menyebabkan batas topografi tidak berhimpit dengan batas hidrologinya. Hal ini menyebabkan pendefinisian karakteristik hidrologi kawasan karst sangat sulit untuk dilakukan. Berdasarkan kondisi tersebut kemudian dikembangkan beberapa metode untuk melakukan pendefinisian karakteristik wilayah tangkapan hujan suatu DAS di wilayah karst. Pendekatan yang banyak digunakan diantaranya invers model (hidrogeokimia, analisis hidrograf), tracer, metode geofisika (georadar, geolistrik) dan metode geologi dengan analisis fraktal dan kelurusan. Namun demikian dalam tulisan ini hanya akan dibahas tentang metode analisis hidrograf, hidrogeokimia dan metode tracer.

Analisis menggunakan hidrograf menunjukkan bahwa disetiap satu kejadian hujan akan menyebabkan kenaikan kurva hidrograf. Hal ini terjadi karena adanya kenaikan debit aliran. Kenaikan debit aliran ini mempunyai waktu hingga mencapai puncak (*peak*) atau biasa disebut *lag time*. Dari kondisi *lag time* dapat dianalisis respon suatu sungai bawah tanah. Respon yang cepat terhadap satu kejadian eksternal seperti kejadian hujan dan tambahan dari imbuhan sungai permukaan yang masuk kedalam sistem aliran bawah permukaan menunjukkan suatu sistem DAS sungai bawah tanah didominasi oleh sistem *conduit*. Selain itu, terdapat gua yang memiliki respon hidrologi yang lambat dari pengaruh eksternal. Hal ini menunjukkan bahwa suatu wilayah tangkapan air hujan DAS sungai bawah tanah didominasi oleh aliran *diffuse*.

Analisis menggunakan sampling hidrogeokimia akan menunjukkan bahwa aliran air bawah permukaan ketika musim kemarau memiliki hubungan yang kuat antara penurunan debit dengan kenaikan aliran dasar, sedangkan ketika musim penghujan aliran saat banjir didominasi oleh *Conduit flow* dan dominasi *diffuse flow* saat resesi dan saat tidak banjir. Hal ini berarti bahwa pada kondisi wilayah yang didominasi oleh sistem conduit, maka variasi hidrogeokimianya akan sangat jauh berbeda antara musim kemarau dan musim penghujan. Pada musim penghujan, wilayah yang didominasi dengan sistem aliran conduit akan didominasi oleh sifat yang lebih asam, kandungan karbon organik yang tinggi serta kesadahan rendah. Kondisi berbeda terjadi pada aliran yang didominasi oleh sistem aliran diffuse di mana karakteristik hidrogeokimia pada saat musim penghujan dan kemarau tidak akan jauh berbeda.

Uji *tracer* digunakan untuk mengetahui apakah daerah kajian sistem aliran sungai bawah tanahnya terdapat hubungan antara satu sistem dengan sistem yang lain. Selain itu, metode ini dapat digunakan untuk mengetahui keterhubungan suatu gua dengan sistem sungai bawah tanah utama serta dapat pula digunakan untuk mengetahui apakah suatu gua terhubung dengan lubang conduit. Hal ini dapat dilakukan dengan memasukkan bahan pentracer pada suatu sungai atau luweng (conduit) kemudian memasang fluorometer di gua yang kita pantau. Berdasarkan data yang dihasilkan, maka akan diketahui luas wilayah DAS, karakteristik wilayah DAS serta dapat pula digunakan untuk memprediksi karakteristik hidrologi suatu gua.

Berdasarkan data-data yang dihasilkan dari pendefinisian karakteristik suatu DAS sungai bawah tanah, maka kemudian dapat dilakukan perencanaan pemanfaatan suatu gua untuk wisata. Meskipun demikian pemanfaatan suatu gua untuk wisata hendaknya mempertimbangkan faktor lain seperti aspek arkeologi, aspek ekologi dan biologi serta aspek sosial masyarakat. Gua dengan karakteristik aliran diffuse akan dapat dimanfaatkan sepanjang musim. Kondisi ini disebabkan karena pada gua semacam ini tidak akan terjadi banjir yang terjadi secara cepat. Kondisi berbeda terjadi pada sistem aliran conduit, di mana pada sistem aliran ini banjir dapat terjadi dengan

sangat cepat. Hal ini dapat terjadi karena gua dengan sistem conduit seringkali terhubung dengan sungai permukaan. Oleh karena itu, maka pemanfaatannya disarankan hanya pada musim kemarau saja.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Analisis karakteristik hidrologi sungai bawah tanah dapat dilakukan dengan menggunakan tiga metode, yaitu analisis hidrograf, uji *tracer* dan sampling hidrogeokimia. Hasil analisis tiga metode tersebut menunjukkan gua yang memiliki karakteristik hidrologi aliran sungai bawah permukaan dengan respon cepat dan lambat terhadap faktor eksternal.
2. Pemanfaatan gua berdasarkan pada karakteristik hidrologi dengan dominasi aliran conduit sebaiknya hanya dimanfaatkan ketika musim kemarau dan sebaliknya gua dengan karakteristik hidrologi dengan dominasi aliran *diffuse* dan *fracture* dapat dimanfaatkan sepanjang tahun.

Daftar Pustaka

- 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. *Desertasi*. Yogyakarta: Program Pasca Sarjana, Fakultas Geografi, UGM (Tidak Dipublikasikan)
- Haryono, E. dan Adji, T.N. 2004. *Bahan Ajar Karst Indonesia*. Yogyakarta: Kelompok Studi Karst, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Dibyosaputro, S. 1997. *Geomorfologi Dasar*. Yogyakarta: Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W. 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. 2nd Ed. John Wiley & Sons.
- Gillieson, D. 1996. *Caves: Processes, Development, and Management*. Blackwell, Oxford
- Haryono, E. 2001. Nilai Hidrologi Bukit Karst. *Makalah dalam Seminar Nasional Eko-Hidrolik*. Yogyakarta: Teknik Sipil UGM

- Mulyadi, Asep. 2003. Sumberdaya Geowisata Bandung. *Jurnal. Jurnal Geografi 'GEA' Vol.1, No.5, April 2003.*
- White, W.B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains.* New York: Oxford University Press.

Makalah ini merupakan salah satu chapter dalam buku berjudul “**Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia**”, dengan Editor **Ahmad Cahyadi, Bayu Argadyanto Prabawa, Tommy Andryan Tivianton dan Henky Nugraha**. Buku ini diterbitkan di **Yogyakarta** Tahun **2014** oleh Penerbit Deepublish. Makalah ini dimuat di **halaman 13-22.**