Chapter 1

Keunikan Hidrologi Kawasan Karst: Suatu Tinjauan

Ahmad Cahyadi

Jurusan Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Email: ahmadcahyadi@geo.ugm.ac.id

Intisari

Kawasan karst merupakan kawasan yang memiliki karakteristik hidrologi yang unik yang disebabkan berkembangnya lorong-lorong pelarutan. Karakteristik ini menciptakan kondisi anisotropis yang mengharuskan dilakukannya metode-metode eksplorasi yang tidak sama dengan wilayah lain pada umumnya. Selain itu, berkembangnya lorong-lorong pelarutan menyebabkan kawasan ini memiliki karakteristik khas berupa *duality of the recharge, duality of the infiltration process, duality of the discharge process*. Meskipun memiliki karakteristik kering di permukaan, sumberdaya air di bawah permukaan kawasan karst memiliki potensi besar dan telah berperan dalam pemenuhan kebutuhan air di kawasan karst dan sekitarnya.

Kata Kunci: Hidrologi, Lorong Pelarutan, Anisotropis

Pendahuluan

Kawasan karst merupakan wilayah yang unik secara hidrologis. Kawasan ini terbentuk oleh proses pelarutan batuan yang mudah larut seperti batuan karbonat dan batuan garam (Ford dan William, 1992). Proses pelarutan yang berlangsung menyebabkan kondisi ekstrim, yakni kering pada bagian permukaan dan kaya air di bagian bawah permukaan (Cahyadi, 2010). Hal inilah yang menyebabkan kawasan karst, khususnya di Indonesia lebih banyak dikenal sebagai kawasan yang sering mengalami kekeringan,

meskipun sebenarnya memiliki sumberdaya air yang melimpah di bawah permukaan.

Thornbury (1958) mengungkapkan bahwa suatu kawasan dapat berkembang menjadi topografi karst apabila memiliki empat kondisi sebagai berikut:

1. Harus terdapat batuan yang mudah larut seperti *limestone*. Batuan seperti dolomit, dan chalk juga dapat berkembang menjadi topografi karst namun perkembangannya tidak secepat *limestone*.
2. Batuan yang mudah larut tersebut harus bervolume besar (tebal dan luas), banyak rekahan dan memiliki penutup lahan yang rapat.
3. Batuan tersebut mengalami pengangkatan yang cukup tinggi sehingga membentuk lembah mayor yang didasari oleh batuan mudah larut yang memiliki rekahan batuan yang baik. Kondisi tersebut sangat penting untuk memudahkan airtanah mengalir ke bawah (vertikal) melalui diaklas-diaklas pada batuan, proses pelarutan dan membentuk aliran sungai bawah tanah.
4. Memiliki curah hujan yang tinggi, karena air hujan merupakan media utama dalam proses pelarutan.

Kawasan karst memiliki ciri khas berupa adanya sistem perguanaan dan aliran bawah tanah yang intensif sebagai akibat dari berkembangnya proses solusional pada batuan mudah larut seperti *limestone*, *marble* dan *gypsum* (Ford dan Williams, 2007), sehingga suatu kawasan dengan batuan yang mudah larut saja tidak cukup untuk menjadikan suatu kawasan disebut sebagai kawasan karst. Pengertian tentang kawasan karst yang mengartikan kawasan karst dilihat dari jenis batuannya saja dapat dilihat misalnya dalam Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1456 K/20/MEM/2000 tentang pengelolaan kawasan karst yang saat ini sudah digantikan dengan PERMEN ESDM No. 17 Tahun 2012 Tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst. Tinjauan definisi kawasan karst yang hanya didasarkan oleh litologi saja memiliki kelemahan ditinjau dari sudut pandang hidrologi. Hal ini karena kawasan batuan karbonat yang belum berkembang menjadi

kawasan karst akan didominasi oleh kondisi hidrologi airtanah yang dikontrol oleh ruang antar butir batuan, sedangkan pada kawasan yang telah berkembang sebagai kawasan karst akan lebih didominasi oleh lorong-lorong hasil proses pelarutan.

Batasan yang lebih jelas tentang kawasan karst diantaranya dikemukakan oleh White (1988) bahwa kawasan karst paling tidak memiliki tiga ciri, yaitu (1) terdapatnya cekungan-cekungan tertutup, (2) jarang atau tidak ditemukannya sungai permukaan dan (3) berkembangnya drainase bawah permukaan dan sistem gua. Pengertian semacam ini kemudian memunculkan tingkatan perkembangan kawasan karst seperti kawasan karst muda, dewasa dan tua.

Karakteristik Khusus Hidrologi Kawasan Karst

Aliran airtanah pada kawasan karst sangat berbeda dengan kawasan non-karst. Aliran airtanah pada kawasan non karst melewati ruang antar butir. Kondisi demikian disebut dengan kondisi isotropis. Kondisi isotropis memungkinkan kemungkinan aliran airtanah ke segala arah memiliki peluang yang sama (**Gambar 1.1**). Hal berbeda terjadi pada aliran airtanah di kawasan karst, di mana aliran airtanah lebih banyak di kontrol oleh lorong-lorong pelarutan. Kondisi demikian disebut sebagai kondisi anisotropis, di mana kondisi ini memungkinkan aliran airtanah ke segala arah memiliki peluang tidak sama.

White (1988) mengatakan bahwa hidrologi kawasan karst memiliki karakteristik khas berupa variasi tingkat infiltrasi, debit aliran airtanah dan debit keluaran airtanah dari sistem karst (white, 1988). Karakteristik tersebut oleh Ford dan Williams (2007) dijelaskan sebagai berikut:

Gambar 1.1. Kondisi Isotropis pada Kawasan Non-Karst (Kiri) dan Anisotropis pada Kawasan Karst (Kanan)(Haryono dan Adji, 2004)

1. *Duality of The Recharge*

Duality of the recharge merupakan dua sifat atau cara air masuk ke dalam sistem akuifer yakni melalui autogenik atau allogenis (Gambar 1.2). Autogenik digunakan untuk menyebutkan imbuhan airtanah yang masuk ke dalam akuifer kawasan karst berasal dari kawasan karst itu sendiri, atau dapat dikatakan berasal dari air hujan yang jatuh langsung di atas topografi karst dan kemudian masuk ke dalam tanah melalui rekahan-rekahan atau lorong-lorong pelarutan. Istilah allogenis digunakan untuk menunjukkan imbuhan airtanah ke dalam akuifer kawasan karst berasal dari luar kawasan karst atau wilayah lain, seperti melalui adanya imbuhan airtanah melalui sungai permukaan dari kawasan non-karst yang masuk ke dalam sistem sungai bawah tanah di kawasan karst (*sinking stream*). Meskipun demikian, pada kenyataannya sistem imbuhan airtanah di kawasan karst sebagian besar berupa campuran antara autogenik dan allogenis.

Gambar 2. Tipe Imbuhan di Kawasan Karst: (a) Autogenik; (b) Allogenik dan (c) Campuran Antara Autogenik dan Allogenik (Ford dan Williams, 2007)

2. Duality of The Infiltration Process

Duality of the infiltration process/ Duality of the groundwater flow merupakan kondisi proses infiltrasi yang terjadi di kawasan karst dapat berupa *diffuse*, di mana air meresap melalui lapisan tanah dan zona tak jenuh melalui ruang antar butir batuan atau tanah serta dapat pula terinfiltrasi dengan cara *conduit*, di mana infiltrasi terkonsentrasi melalui ponor atau *sinking stream* yang kemudian masuk ke sistem airtanah. *Duality of the groundwater flow proses* terbagi menjadi aliran lambat melalui ruang antar butir batuan (*diffuse*), aliran sedang melalui rekahan rekahan batuan (*fissure/campuran*) dan aliran cepat yang melalui jaringan lorong-lorong pelarutan (*conduit*) (**Gambar 1.3**).

3. Duality of The Discharge Process

Duality of the discharge process menunjukkan perbedaan debit mataair yang keluar akibat dominasi sistem aliran. Tipe infiltrasi dan sistem aliran *diffuse* akan menghasilkan mataair dengan debit aliran yang relatif kecil. Sebaliknya, tipe infiltrasi dan sistem aliran *conduit* akan menghasilkan mataair yang memiliki mataair dengan debit yang besar. Sistem aliran *diffuse* menghasilkan mataair dengan respon terhadap hujan yang lambat, sedangkan pada sistem aliran *conduit* akan memiliki respon terhadap hujan yang cepat.

Gambar 1.3. Sistem Infiltrasi di Kawasan Karst (Domenico and Schwartz, 1990)

Inventarisasi Sumberdaya Air di Kawasan Karst

Sumberdaya air kawasan karst umumnya berupa danau doline (telaga), mataair dan sungai bawah tanah. Namun demikian pemanfaatan telaga dan mataair masih dominan terutama di Indonesia. Analisis sumberdaya air di kawasan karst tidak terlepas dari upaya inventarisasi serta usaha-usaha untuk melakukan pendefinisian karakteristik hidrologi suatu kawasan karst. Telaga dan mataair merupakan sumberdaya yang relatif mudah untuk diinventarisasi dan dimanfaatkan dibandingkan dengan sungai bawah tanah. Keterdapatan keduanya dapat diinventarisasi menggunakan data survei terestrial ataupun dengan penginderaan jauh. Keduanya merupakan kombinasi metode yang sangat efektif untuk digunakan.

Pemanfaatan citra penginderaan jauh dalam pemetaan telaga dapat dilakukan dengan menggunakan citra dengan skala menengah sampai dengan skala besar. Contoh citra resolusi menengah diantaranya adalah citra Landsat, ALOS dan ASTER, sedangkan citra resolusi tinggi atau besar diantaranya adalah Quickbird, Ikonos dan GeoEyes. Pemanfaatan citra resolusi menengah dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan telaga yang memiliki ukuran yang relatif besar. Pemanfaatan citra resolusi menengah

biasanya dilakukan dengan menggunakan teknik *object based* (Gambar 1.4).

Gambar 1.4. Contoh Hasil Analisis Deteksi Telaga Menggunakan Citra Resolusi Menengah (Rosaji dan Cahyadi, 2012)

Pemanfaatan citra resolusi tinggi untuk mendeteksi keberadaan telaga di suatu kawasan karst tentunya jauh lebih mudah. Namun demikian, ketersediaan data ini secara gratis seringkali tidak tersedia. Kondisi demikian bisa diatasi dengan menggunakan beberapa data sekunder seperti peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dan data yang terdapat pada instansi pemerintah dan desa. Pemanfaatan data penginderaan jauh ini harus

memperhatikan kondisi musim, mengingat beberapa telaga akan mengalami kondisi tidak berair pada musim kemarau. Hal ini menyebabkan citra yang memiliki waktu pengambilan gambar pada musim kemarau tidak dapat mendeteksi keberadaan telaga (**Gambar 1.5**) (Rosaji dan Cahyadi, 2012).

Gambar 1.5. Contoh Hasil Pengambilan Data pada Citra Alos di Musim Kemarau (Kiri) dan Musim Penghujan (Tengah) serta pada Citra Resolusi Tinggi (*GeoEyes*)

Inventarisasi mataair dengan menggunakan penginderaan jauh lebih sulit dilakukan dibandingkan dengan telaga. Namun demikian, mataair dapat dideteksi dengan ciri-ciri kenampakan tertentu serta pola spasial yang khas. Misalnya kenampakan berupa pohon-pohon hijau yang berbentuk titik di antara lokasi yang relatif kering dan kenampakan titik awal sungai. Secara spasial, kemunculan mataair biasanya mengikuti pola tertentu, seperti keberadaan kelurusan (*lineament*), kontak antar formasi batuan, serta perubahan topografi yang drastis (**Gambar 1.6**). Contoh data inventarisasi data terkait sumberdaya air pada mataair ditunjukkan oleh **Tabel 1.1**.

Gambar 1.6. Lokasi Pemunculan Mataair di Kawasan Karst Wonorejo yang Mengelompok pada Perbatasan Formasi Geologi dan Perubahan Topografi Antara Perbukitan Karst dan Ledok Baturetno

Peranan Sumberdaya Air di Kawasan Karst

Sumberdaya air di kawasan karst memiliki peranan yang sangat besar bagi peyediaan air di kawasan karst maupaun kawasan non-karst di sekitarnya. Kondisi tersebut misalnya dapat dilihat dari peranan sungai bawah tanah di Kabupaten Gunungkidul yang mampu mensuplai kebutuhan air bersih baik di kawasan karst di Kabupaten tersebut ataupun kawasan di sekitarnya (**Tabel 1.2**). Hal lain yang menunjukkan fakta pentingnya sumberdaya air di kawasan karst adalah fakta bahwa sebagian besar penduduk di Pulau Peling, Banggai Kepulauan, Sulawesi Tengah memanfaatkan mataair sebagai sumber utama pemenuhan kebutuhan air (**Tabel 1.3**).

Tabel 1.1. Contoh Hasil Inventarisasi Sebagian Mataair di Kawasan Karst Kabupaten Rembang

No	X	Y	Z	Nama	Lokasi	Periode	Debit (liter/detik)
1	552048	9239972	164	Sendang Tanimulya	Jatimalang	Tahunan	0,50
2	554624	9238038	352	Sendang Mermo	Waru	Tahunan	1,50
3	557170	9244503	430	Klatak	Bitingan	Tahunan	3,00
4	555426	9244073	370	Picisan	Picis	Tahunan	5,00
5	555732	9243194	322	Suntri 2	Suntri	Tahunan	5,00
6	555613	9242466	303	Sumur Dukoh	Tegaldowo	Tahunan	Tidak dapat diukur
7	555401	9242832	312	Mataair Nglencong	Nglencong	Tahunan	Tidak dapat diukur
8	555345	9242908	316	Mataair Nglencong 2	Nglencong	Tahunan	Tidak dapat diukur
9	555155	9242414	307	Nglencong	Nglencong	Tahunan	Tidak dapat diukur
10	553028	9242218	223	Mataair Brubulan	Pasucen	Tahunan	20,00
11	553501	9242568	247	Mataair Pasucen	Pasucen	Musiman	3,00
12	553691	9242556	254	Sambong Pasucen	Pasucen	Tahunan	Tidak dapat diukur
13	553682	9242424	261	Mataair Pasucen 3	Pasucen	Tahunan	5,00
14	553848	9242204	265	Belik Celempung	Pasucen	Musiman	0,05
15	553861	9242004	286	Sendang Wali	Timbrangan	Tahunan	6,00
16	553822	9241998	287	Sendang Lanang	Timbrangan	Tahunan	0,10
17	554156	9241764	288	Belik Waru	Timbrangan	Musiman	0,10
18	554190	9241618	293	Mataair Timbrangan	Timbrangan	Tahunan	0,01
19	554370	9241554	292	Belik Watu	Timbrangan	Musiman	0,02
20	553557	9241376	293	Belik Kidul	Timbrangan	Musiman	0,20
21	553484	9239492	245	Mataair Kajar	Kajar	Tahunan	10,00
22	554006	9238938	297	Mataair Sumberan	Kajar	Tahunan	6,00
23	553795	9239192	273	Mataair Sumberan 2	Kajar	Tahunan	0,80
24	554372	9238438	313	Sendang Kaputren	Waru	Tahunan	2,00
25	552039	9240178	150	Sendang Jatimalang 2	Jatimalang	Musiman	0,20

Tabel 1.2. Peranan Sungai Bawah Tanah dalam Pemenuhan Kebutuhan Air di Gunungkidul

Sistem	Daerah Pelayanan	Jumlah Sambungan Hidran Umum	Jumlah Sambungan Saluran Rumah Tangga	Jumlah Dusun dan Desa Yang Terlayani
Bribin 1 dan 2	Kecamatan Semanu, Tepus, Rongkop, dan Girisubo	510	7.387	134 dusun; 21 desa
Seropan	Kecamatan Semanu, Ponjong, Karangmojo, dan Wonosari	115	7.292	134 dusun; 21 desa
Baron	Kecamatan Tanjungsari	57	874	32 dusun; 4 desa
Ngobaran	Kecamatan Saptosari, Purwosari dan Panggang	180	6.811	152 dusun; 40 desa

Sumber: Suryono (2006)

Tantangan di Masa Mendatang

Kawasan karst yang didominasi oleh lorong-lorong pelarutan menyebabkan wilayah ini memiliki kerentanan airtanah terhadap pencemaran yang tinggi. Kondisi demikian disebabkan karena air yang masuk ke dalam akuifer masuk melalui lorong pelarutan (*Conduit*) yang tidak memungkinkan terjadinya penyaringan oleh tanah. Hal ini menyebabkan polutan akan dengan mudah mencemari airtanah di kawasan karst. Oleh karena itu, maka perlindungan airtanah di kawasan karst sangat terkait dengan pola pemanfaatan dan perlindungan kawasan karst di bagian permukaan.

Tabel 1.3. Peranan Mataair Karst di Pulau Peling, Kabupaten Banggai Kepulauan, Sulawesi Tengah

No	Nama Kecamatan	Sumber Air Minum				
		Mataair	PDAM	Sumur	Air Hujan	Sungai, Danau
1	Labobo	5	3	-	-	-
2	Bokan Kepulauan	10	-	6	-	-
3	Bangkurung	7	-	1	-	4
4	Banggai	5	4	-	-	-
5	Banggai Utara	6	-	-	-	-
6	Banggai Tengah	3	5	-	-	-
7	Banggai Selatan	6	-	-	-	-
8	Totikum	9	2	-	-	-
9	Totikum Selatan	8	-	-	-	-
10	Tinangkung	2	-	7	-	2
11	Tinangkung Selatan	9	-	-	-	-
12	Tinangkung Utara	5	-	-	-	1
13	Liang	13	3	-	-	-
14	Peling Tengah	11	-	-	-	-
15	Bulagi	2	7	-	6	-
16	Bulagi Selatan	7	-	1	12	-
17	Bulagi Utara	1	2	7	-	-
18	Buko	13	-	-	-	-
19	Buko Selatan	10	1	-	-	-
Jumlah Desa		132	27	22	18	7

Sumber: BLH Kab. Banggai Kepulauan dan MPL UGM, 2013

Tantangan yang lain terkait dengan sumberdaya air di kawasan karst adalah banyaknya aktivitas penambangan di kawasan karst. Kondisi demikian akan menyebabkan rusaknya lapisan epikarst di bagian atas perbukitan karst yang kemudian menyebabkan jumlah air yang tersimpan akan semakin sedikit. Selain itu, air hujan akan sulit untuk meresap sehingga lebih banyak

hilang melalui proses penguapan sehingga tidak dapat dimanfaatkan. Hal ini kemudian akan menyebabkan jumlah imbuhan airtanah menjadi semakin sedikit.

Daftar Pustaka

- Cahyadi, A. 2010. Pengelolaan Kawasan Karst dan Peranannya dalam Siklus Karbon di Indonesia. *Proseeding Seminar Nasional Perubahan Iklim di Indonesia*. Sekolah Pasca Sarjana UGM Yogyakarta.
- Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Banggai Kepulauan dan Magister Pengelolaan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana UGM. 2013. Kajian Potensi Mataair Sebagai Sumber Air Bersih di Pulau Peling dan Penyusunan Raperda Perlindungan Mataair, Kabupaten Banggai Kepulauan, Provinsi Sulawesi Tengah. *Laporan Penelitian*.
- Domenico, P.A. dan Schwartz, F.W. 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. Edisi Kedua. New York: John Wiley & Sons.
- Ford, D. dan Williams, P. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Ford, D. dan Williams, P. 2007. *Karst Geomorphology and Hydrology*. West Sussex: John Wiley and sons, inc.
- Thornbury, W. D. 1958. *Principles of Geomorphology*. New York: John Wilay and Sons, Inc.
- Haryono, E. dan Adji,T.N. 2004. *Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM.
- Rosaji, F.S.C. dan Cahyadi, A. 2012. Deteksi Telaga Potensial untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Musim Kemarau di Kawasan Karst Menggunakan Data Penginderaan Jauh Multitemporal. *Makalah dalam Simposium Nasional Sains Informasi Geografis*. Fakultas Geografi UGM Yogyakarta.
- Suryono, T. 2006. Pengelolaan Sumber Air Bawah Tanah Sungai Bribin. *Gunung Sewu Indonesian Cave and Karst Journal*. Vol. 2(1). Hal: 37-52.
- 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 1-13**.