ASPEK-ASPEK FISIK DALAM PENGELOLAAN KAWASAN KARST: SEBUAH USULAN

Ahmad Cahyadi
Kelompok Studi Karst
Departemen Geografi Lingkungan
Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

Sabtu, 25 November 2017

Diselenggarakan oleh:
Biospeleology Studien Gruppen
Himpunan Mahasiswa Jurusan Pendidikan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
2017

1.

Menelisik Arti “Karst”

1.1. Latar Belakang

- ❖ Perkembangan keilmuan karstologi dan speleology di sekitar 30-40 tahun terakhir terbilang sangat pesat;
- ❖ Banyak teori dan definisi yang berubah dengan diketemukannya hasil-hasil penelitian terbaru
- ❖ Definisi terkait karst-pun turut berubah, termasuk persyaratan morfologi yang selalu digunakan sebagai syarat utama penyebutan bentanglahan karst
- ❖ Penelitian mendalam tentang “hypogene cave” telah mengubah banyak sudut pandang yang digunakan untuk mempelajari kawasan karst terutama terkait dengan aspek fisik

1.

Menelusik Arti “Karst”

1.1. Definisi Karst

Terminologi Karst

Pengertian Karst

Sumber: Klimchouk (2015)

1.

Menelisik Arti “Karst”

1.2 Karst sebagai wilayah dengan batuan gamping atau dolomit?

- ❖ Pada kenyataanya karst dapat berkembang pada batuan yang lain, meskipun singkapan selain gamping dan dolomit lebih sedikit di dunia;
- ❖ Pada kenyataanya wilayah dengan batuan gamping dan dolomit tidak memiliki karakteristik kawasan karst, sehingga secara hidrologi masih didominasi oleh aliran airtanah pada ruang antar butir batuan;
- ❖ Pada kenyataannya wilayah dengan batuan gamping dan dolomit membentuk kondisi wilayah yang berbeda-beda

1.

Menelisik Arti “Karst”

1.3. Kawasan Karst Indonesia sudah terpetakan?

1.

Menelisik Arti “Karst”

1.3. Kawasan Karst Indonesia sudah terpetakan?

Sumber: Haryono (2011)

1.

Menelisik Arti “Karst”

1.4. Pembentukan Kawasan Karst

Bentanglahan Karst dan Pseudokarst Serta Proses yang Membentuknya

Tipe Batuan	Proses yang Membentuk
KAWASAN KARST	
Batuan Karbonat misalnya gamping dan dolomit	Pelarutan Bikarbonat
Batuan Evaporit misalnya gypsum, halite dan anhydrite	Pelarutan
KAWASAN PSEUDOKARST	
Basalt	Perpindahan batuan cair serta pada beberapa tempat terjadi pelarutan kalsium plagioklas
Tanah khususnya yang memiliki “duplex profiles”. Duplex profiles adalah profil tanah dengan karakteristik tekstur yang sangat kontras antara dua atau lebih horizon tanah. Istilah lain yang sering digunakan adalah “texture contrast soils”.	Hilangnya salah satu horizon pada tanah
Batuan karakteristik berlapis dan atau berfoliasi	Pemetikan Hidraulik (<i>hydraulic plucking and exsudation</i>)
Batuan (hampir semua jenis batuan)	Gerakan/Gaya Tektonik
Batu Pasir, kuarsa, kuarsit dan batuan lain dengan litologi granular	Disintegrasi butir batuan dan erosi oleh angin
ES	Perpindahan masa akibat mencairnya sebagian massanya
Batuan dengan kandungan silikat tinggi misalnya batu pasir, basalt, granit dan laterit	Pelarutan Silika
Formasi Besi (di Brazil terdapat suatu wilayah yang tersusun atas batuan dengan kandungan besi yang tinggi, atau disebut sebagai “iron formation”	Pelarutan

1.

Menelisik Arti “Karst”

1.5.

Tingkat
Perkembangan
Kawasan Karst

	Tahapan Perkembangan Karst		
	Awal	Muda	Dewasa
Jenis Basin	Terbuka	Terbuka	Tertutup
Bentuk Lembah	U	V	W
Pola Aliran			
Bentuk Basin			
Sebaran Ponor	Nihil	Mengelompok	Acak
Blok Diagram			
Luas Basin (Km ²)	MORFOMETRI		
Panjang Total Lembah (Km)	MORFOMETRI		
Kepadatan Lembah (km/km ²)	MORFOMETRI		
Gradien Lembah	MORFOMETRI		
	1 2 3	4 3	2 1 0
	Orde Lembah		

Sumber: Haryono (2009)

1.

Menelisik Arti “Karst”

1.5.

Tingkat
Perkembangan
Kawasan Karst

Tingkat Karstifikasi	Karakteristik Rumus Kurva Resesi	Parameter Koefisien resesi
0.5 – 2.3	$Q_t = Q_{01} e^{-\alpha_1 t}$	$\alpha_1 < 0.001$ $\alpha_1 = 0.001-0.0025$ $\alpha_1 = 0.0025-0.007$ $\alpha_1 > 0.007$
2.5 – 4.0	$Q_t = Q_{01} e^{-\alpha_1 t} + Q_{02} e^{-\alpha_2 t}$	$\alpha_1 < 0.0024$ dan $\alpha_2 < 0.033$ $\alpha_1 > 0.0043$; dan $\alpha_2 < 0.060$
4.3 – 5.0	$Q_t = Q_{01} e^{-\alpha_1 t} + Q_{04} (1 - \beta_1 t)$	$\alpha_1 > 0.018$ atau $\alpha_2 > 0.16$ $\alpha_1 > 0.018$ dan $\alpha_2 > 0.16$ Nilai β dan α rendah
5.5	$Q_t = Q_{01} e^{-\alpha_1 t} + Q_{02} e^{-\alpha_2 t} + Q_{04} (1 - \beta_1 t)$	$\alpha_1 > 0$ dan $\alpha_2 > 0$; $\beta_1 > 0$
6.0	$Q_t = Q_{01} e^{-\alpha_1 t} + Q_{02} e^{-\alpha_2 t} + Q_{04} (1 - \beta_1 t) + Q_{05} (1 - \beta_2 t)$	Nilai β_2 , β_1 dan α_1 , α_2 tinggi
7.0	$Q_t = Q_{01} e^{-\alpha_1 t} + Q_{04} (1 - \beta_1 t) + Q_{05} (1 - \beta_2 t) + Q_{06} (1 - \beta_3 t)$	Nilai β_3 , β_2 , β_1 dan α tinggi, $\beta_1 > \beta_2$
8.5	$Q_t = Q_{04} (1 - \beta_1 t)$	α_1 , $\alpha_2 = 0$ dan $\beta_1 > 0$
9	$Q_t = Q_{04} (1 - \beta_1 t) + Q_{05} (1 - \beta_2 t)$	Nilai β_1 dan β_2 rendah
10.0	$Q_t = Q_{04} (1 - \beta_1 t) + Q_{05} (1 - \beta_2 t) + Q_{06} (1 - \beta_3 t)$	Nilai β_1 , β_2 , dan β_3 tinggi

Sumber : Malik and Votjkova (2012)

1.

Menelisik Arti “Karst”

1.6. Diagenesis dan Regime Aliran Airtanah

Sumber: Klimchouk (2015)

1.

Menelisik Arti “Karst”

1.7. Zonasi Vertikal Kawasan Karst

Sumber: Klimchouk (2015)

2.

Menelisik Arti “Karbonat”

Definition and Classification of Limestone

Prepared by Missouri Department of Natural Resources, Division of Geology and Land Survey, 2011

Academic, Geological Definition of Limestone (stipple pattern)

Sources for Nomenclature

American Society for Testing and Materials, 1966, ASTM C119-50 in Book of Standards, for definition of **calcite limestone** (pp.103-105)

Neendorf, K.K.E., Mehl, James P., Jr., and Jackson, Julia, 2005, Glossary of geology, 5th ed. American Geological Institute, Alexandria, Virginia, 779p., for **geological and commercial definitions of limestone** (p.371) and for definitions of **dolomitic limestone** (p.189), **calcitic dolomite** (p.92), **dolomite** (p.189) and **magnesian dolomite** (p.388)

Pettijohn, F.J., 1957, Sedimentary rocks, 2nd ed., Harper, New York, 718p., for definitions of **high-calcium limestone**, **magnesian limestone**, **dolomitic limestone**, **calcitic dolomite** and **dolomite** (p.417-18)

100% Other Rock Materials (Chert, Quartz Sand & Silt, Clay, etc.)

Practical, Commercial Definition of Limestone (yellow color)

Sources for Nomenclature (continued)

Stanley, J.L., 1983, Industrial minerals and rocks, 5th ed., Society of Mining Engineers, 1446p., for **triangle classification diagram** (p.836) that has been adopted with modification for use herein.

Thrush, Paul W. and Staff of Bureau of Mines, 1968, A dictionary of mining, mineral, and related terms, U.S. Bureau of Mines, 1269p., for **broad definition of limestone** (p.643) and for definitions of **calcite limestone** and **calcitic dolomite** (p.163)

Tweney, C.F., and Hughes, L.E.C., 1958, Chamber's technical dictionary, 3rd ed., MacMillan Co., New York, 1028p., for **broad definition of limestone** (supplement, pp.952-1028)

2.

Menelisik Arti “Karbonat”

Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline
Less than 10% grains	More than 10% grains	Grain-supported	Lacks mud and is grain-supported	Original components were bound together	Depositional texture not recognizable
Mud-supported					
Contains mud, clay and fine silt-size carbonate					
Original components not bound together during deposition					
Depositional texture recognizable					

Allochthonous		Autochthonous		
Original components not bound organically at deposition		Original components bound organically at deposition		
>10% grains > 2mm				
Matrix supported	Supported by >2mm component	By organisms that act as baffles	By organisms that encrust and bind	By organisms that build a rigid framework
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone

Folk's Textural Classification of Carbonate Sediments

Percent Allochems	Over 2/3 Micrite Matrix				Subequal Spar & Micrite	Over 2/3 Spar Cement		
	0-1%	1-10%	10-50%	Over 50%		Sorting Poor	Sorting Good	Rounded & Abraded
Quiet Water Deposition ←──								

C.G.St.C. Kendall, 2005 (after Folk 1959)

Textural classification of reef limestones after Embry & Klovan (1971) and James (1984)

3.

Menelusik Arti “Gua”

3.1. Definisi Gua

Adopsi
Airtanah

Ahmad Cahyadi Adopsi Airtanah

Ahmad Cahyadi Adopsi Airtanah

**Gua
(Perspektif Hidrologi Karst)**

Definisi Sainifik:

Goa adalah lorong alami yang terbentuk pada batuan yang berfungsi sebagai konduit untuk mengalirkan air dari suatu titik *input* sampai pada suatu titik *output* mataair. Goa berperan sebagai sistem aliran sekaligus pengatus dalam hidrologi karst. Diameter yang disyaratkan adalah > 5 mm, dan sebagian yang lain mensyaratkan > 15 mm. Meskipun demikian, ukurannya bisa saja sampai pada ukuran beberapa puluh meter. Saluran serupa dengan ukuran diameter < 5 mm biasanya disebut sebagai *protocave*.

Ahmad Cahyadi Adopsi Airtanah

Ahmad Cahyadi Adopsi Airtanah

Definisi non-Sainifik:

Goa adalah lorong alami yang terbentuk pada batuan dengan ukuran yang cukup untuk dimasuki manusia. Ukuran ini umumnya didefinisikan dengan batasan minimum diameter sebesar 30 cm. Definisi ini lebih menekankan pada kemungkinan dilakukannya eksplorasi, pemetaan dan studi secara langsung di dalamnya.

Ahmad Cahyadi Adopsi Airtanah

Ahmad Cahyadi Adopsi Airtanah

3.

Menelusik Arti “Gua”

3.2 Klasifikasi Gua

3.

Menelisik Arti “Gua”

3.3. Teori Pembentukan Gua

<http://www.speleogenesis.info/community/blog/post/?id=Perspectives-on-the-Four-State-Model-of-cave-genesis>

3.

Menelisik Arti “Gua”

3.4. Evolusi Karst dan Pembentukan Gua

Fig. 4: Evolutionary types of karst and speleogenetic environments (modified from Klimchouk & Ford 2000). Background colors indicate the domains of hypogene and epigene speleogenesis.

Sumber: Klimchouk (2015)

4.

Menelisik Arti “Speleologi”

4.1. Speleologi Ilmu tentang Gua

- ❖ Speleologi adalah ilmu tentang gua
- ❖ Keberadaannya sangat terkait dengan banyak disiplin ilmu, dan umumnya masing-masing disiplin ilmu memiliki ciri khas yang unik terkait dengan tema penelitian yang dilakukan
- ❖ Speleologi sebenarnya menjadi ilmu yang menyatukan banyak disiplin ilmu dengan tujuan yang sama, yakni “mengkonservasi gua”

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.1. Karakterisasi Kawasan Karst I (Pemetaan Gua)

- ❖ Pemetaan gua memiliki peranan yang sangat penting dalam analisis sistem hidrologi kawasan karst;
- ❖ Pemetaan gua yang dimaksud tidak hanya berkaitan dengan lokasi mulut gua saja, tetapi juga pemetaan bentuk dan aspek keruangan dari lorong gua
- ❖ Pemetaan gua juga akan sangat membantu dalam analisis proses geologi dan geomorfologi yang terjadi dalam waktu lampau

Pemetaan Gua dan Mataair

Sebaran Mataair (Warna Biru) dan Gua (warna Merah) di Kawasan Goa Pindul.

No	Nama Mulut Gua	Kondisi Mulut Gua						Keadaan Lorong Gua			
		Koordinat	Elevasi	Vegetasi	Kondisi	Bentuk	Dimensi	Kondisi air	Speleothem	Speleogen	Fauna
1	Gua Asri	49M 462532 9123072	170	ada	Horizontal	setengah lingkaran	4,3 m x 9 m	Saluran irigasi dari permukaan	Ada	ada	ada
2	Gua Greeng	49M 462439 9123011	172	ada	Horizontal	setengah lingkaran	6,4 m x 1,6 m	Kering	Ada	ada	ada
3	Gua Emas	49M 462444 9123031	173	ada	Vertikal	melingkar	3,3 m x 2,4 m	Kering	Ada	ada	ada
4	Gua Candi 5	49M 462278 9122949	178	ada	Horizontal	persegi panjang	4,3 m x 1,2 m	keluar ke permukaan	Ada	ada	tidak ada
5	Gua Candi 2	49M 461998 9122828	179	ada	Horizontal	setengah lingkaran	4,1 m x 1,8 m	aliran masuk ke dalam gua	Ada	ada	tidak ada
6	Gua Candi 3	49M 461955 9122764	178	ada	Vertikal	melingkar	1,3 m x 0,8 m	Kering	Ada	ada	ada
7	Gua Candi 4	49M 461917 9122775	178	ada	Horizontal	setengah lingkaran	6,2 m x 3,6 m	aliran keluar dari mulut gua	Ada	ada	ada
8	Gua Candi 1	49M 462154 9122901	178	ada	Horizontal	setengah lingkaran	6,3 m x 2,5 m	aliran masuk ke gua	Ada	ada	ada
9	Gua Suruh	49M 461621 9122745	179	ada	Horizontal	setengah lingkaran	8,8 m x 2,1 m	terdapat aliran di mulut gua	Ada	ada	ada
10	Gua Suruh 1	49M 461579 9122801	179	ada	Horizontal	setengah lingkaran	14,4 m x 3,9m	Aliran air keluar dari mulut gua	Ada	ada	ada
11	Gua Siyoyot	49M 461578 9122977	176	ada	Horizontal	Persegi	1,5 m x 1,5 m	Kering	Ada	ada	ada
12	Gua Siyoyot 1	49M 461920 9123106	174	ada	Horizontal	setengah lingkaran	7,4 m x 3,1 m	Kering	Ada	ada	ada

Analisis Sistem SBT

Pemetaan Lorong Gua

Pemetaan Lorong Gua Pindul

Analisis Keterkaitan Lorong Gua di Sistem Pindul

Diperkirakan terdapat 3 sistem Gua di kawasan Gua Pindul, yaitu: 1. Sistem Perguaan Asri-Emas-Greng, 2. Sistem Perguaan Candi-Suruh, dan 3. Sistem Perguaan Suruh-Sioyot (Agni, 2016)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.2. Karakterisasi Kawasan Karst II (Analisis Konektivitas)

- ❖ Analisis konektivitas seringkali tidak bias dilakukan hanya dengan pemetaan gua.
- ❖ Banyak kendala seperti lorong yang sempit, lorong penuh air dan medan yang sulit
- ❖ Metode yang dapat ditempuh di antaranya adalah tracing test atau uji peruntan dengan artificial tracing (zat atau larutan pelacak)

No	Tracer	Jenis	Batas Deteksi (µg/L)	Natural Background	Toksikologi	Permasalahan	
1	Uranin	Fluorescent dyes	10 ⁻¹	Tidak Ada	Aman	Mudah Terlarut pada pH rendah dan Sensitif Terhadap Cahaya	
2	Eosin	Fluorescent dyes	10 ⁻²				
3	Sulforhodamine B	Fluorescent dyes			Ecotox, Tidak Aman		
4	Amidorhodamine G	Fluorescent dyes			Aman		
5	Rhodamine WT	Fluorescent dyes			Genotoxic		
6	Pyranine	Fluorescent dyes			Aman	Not Reliable (Mengalami Degradasi)	
7	Napthionate	Fluorescent dyes	10 ⁻¹				
8	Tinopal	Fluorescent dyes				Mudah Larut	
9	Sodium	Garam			Tergantung Metode, biasanya sekitar 0,1 µg/L sampai dengan 1mg/L	Tinggi	
10	Potasium	Garam	Sedang				
11	Lithium	Garam	Sangat Rendah			Aman pada Batas Tertentu	Mudah Larut
12	Strontium	Garam	Sedang				
13	Klorida	Garam	Tinggi				
14	Bromida	Garam	Rendah				
15	Iodida	Garam	Sangat Rendah		Belum Dievaluasi	Tidak Stabil	
16	Spora	Partikel	Terdeteksi sebagai Partikel Tunggal	Tidak Ada	Aman	Sulit Dilakukan Analisis Kuantitatif	
17	Microspheres	Partikel			Aman	Analisis Membutuhkan Waktu yang Lama	
18	Spesific Bacteria	Partikel			Belum Dievaluasi		
19	Bacteriophages	Partikel					

Uji Perunutan

Sumber:
Goldscheider et al.
(2008)

Uji Perunutan

Banyaknya Zat yang Digunakan

$$M = L \cdot k \cdot B \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

M = Kuantitas zat Pelacak yang diperlukan (Kg),

k = koefisien zat pelacak yang digunakan (nilai k untuk unranine adalah 1) dan

B = faktor kondisi hidrogeologi (biasanya bernilai 0,1 – 0,9).

Tracer	k	Framework conditions	B
Water soluble tracers: mass [kg]		Surface streams	0.1–0.9
Uranine	1	Karst aquifers (conduits)	
Eosin	5.5	Pure sand/gravel aquifers	
Sulforhodamine B	4	Highly fissured aquifers	
Amidorhodamine G	2	Impure sand/gravel aquifers	2–4
Pyranine	5.5	Injection into groundwater	
Naphthionate	15	through unsaturated zone	
Tinopal	3	Karst aquifers (matrix),	
NaCl	20000	Poorly fissured aquifers	
LiCl	1000	River bank filtration	
KCl	10000	Turbid sampling water or	
Particle tracers: number of particles		tracer background level > 0	
Microspheres	1E+12	Injection through thick or	5–10
Bacteriophages	1E+13	loamy unsaturated zone	
Bacteria (<i>Serratia marcescens</i>)	1E+13	High clay/silt contents	

Sumber: Goldscheider et al. (2008)

Utara

Sistem Hidrologi DTA Pindul

Berdasarkan delineasi daerah tangkapan permukaan Sistem Pindul dengan pendekatan topografi, dapat dibedakan menjadi 2 zona akuifer, yakni **zona akuifer conduit** (didominasi pelorongan/goa) di sebelah utara yang ditunjukkan dengan ditemukannya jaringan sistem perguaan dan **zona akuifer diffuse** (didominasi oleh aliran airtanah antar butir) di sebelah selatan yang dicirikan dengan belum berkembangnya jaringan sistem perguaan.

Daerah tangkapan permukaan Sistem Pindul dengan pendekatan topografi seluas 15,44 km², zona akuifer *conduit* seluas 1,75 km², dan zona akuifer *diffuse* seluas 13,69 km².

Sumber: Cahyadi dan Agniy (2016)

Hasil Dye Tracer menunjukkan cairan uranin keluar pada Sungai Bawah Tanah Pindul (a) setelah sebelumnya keluar pula di Mataair Ngancar (b)

Sumber: Cahyadi dan Agniy (2016)

Analisis Konektivitas Sistem SBT

Sumber: Cahyadi dan Agniy (2016)

BREAKTHROUGH CURVE

Sumber: Cahyadi dan Agniy (2016)

BREAKTHROUGH CURVE

BREAKTHROUGH CURVE

BREAKTHROUGH CURVE

Sumber: Cahyadi dan Agniy (2016)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.3. Karakterisasi Kawasan Karst III (Karakterisasi Hidrologi)

Sumber: Rehrl dan Birk (2010)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.3. Karakterisasi Kawasan Karst III (Karakterisasi Hidrologi)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.3. Karakterisasi Kawasan Karst III (Karakterisasi Hidrologi)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.3. Karakterisasi Kawasan Karst III (Karakterisasi Hidrologi)

Stasiun	Eksisting	Tahun 2020an	Perubahan (%)	Tahun 2050an	Perubahan (%)	Tahun 2080an	Perubahan (%)
Babadan	2.982	2.803	-6,00	3.164	12,88	4.308	36,16
Borobudur	2.311	2.272	-1,69	2.685	18,18	4.215	56,98
Dukun	2.250	2.247	-0,13	2.608	16,07	3.635	39,38
Jumprit	2.573	2.577	0,16	2.648	2,76	3.390	28,02
Kaliangkrik	3.650	3.468	-4,99	3.847	10,93	4.389	14,09
Kintelan	3.140	3.246	3,38	3.061	-5,70	2.812	-8,13
Magelang	2.967	3.298	11,16	3.152	-4,43	3.633	15,26
Parakan	1.955	2.093	7,06	1.904	-9,03	1.813	-4,78
Cebongan	2.579	2.842	10,20	2.617	-7,92	2.559	-2,22
Kalijoho	1.857	1.812	-2,42	1.761	-2,81	1.818	3,24
Bronggang	2.365	2.499	5,67	2.509	0,40	2.362	-5,86
Dolo	2.004	1.916	-4,39	1.987	3,71	1.984	-0,15
Gandok	2.083	1.938	-6,96	1.982	2,27	2.048	3,33
Jangkang	1.938	2.007	3,56	2.277	13,45	2.546	11,81
Pakem	2.353	2.637	12,07	2.465	-6,52	2.440	-1,01
Pundong	1.847	1.680	-9,04	1.752	4,29	2.097	19,69

Sumber: Cahyadi dkk. (2016)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.3. Karakterisasi Kawasan Karst III (Karakterisasi Hidrologi)

Sumber: Cahyadi dkk. (2016)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.3. Karakterisasi Kawasan Karst III (Karakterisasi Hidrologi)

Sumber: Cahyadi dkk. (2016)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.3. Karakterisasi Kawasan Karst III (Karakterisasi Hidrologi)

Klasifikasi Derajat Karstifikasi Akuifer Karst (Dk)

Dk	Klasifikasi Akuifer
<10	Akuifer yang sistemnya didominasi aliran diffue (Darcian Aquifer)
10-20	Akuifer yang telah terkarstifikasi sebagian (Partially Karstified Aquifer)
20-60	Akuifer yang telah terkarstifikasi (Karstified Akuifer)
>60	Akuifer yang telah terkarstifikasi lanjut (Highly Karstified Aquifer)

Sumber: Rashed (2012)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.3. Karakterisasi Kawasan Karst III (Karakterisasi Hidrologi)

No.	Month	Average diffuse flow proportion (%)
1	December 2012	81.78
2	January 2013	81.60
3	February 2013	80.64
4	March 2013	80.25
5	April 2013	79.84
6	May 2013	80.19
7	June 2013	80.33
8	July 2013	80.48

Sumber: Adji *et.al.*, (2016)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.4. Karakterisasi Kawasan Karst IV (Karakterisasi Hidrogeokimia)

Sumber: Eiche et al. (2016)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.4. Karakterisasi Kawasan Karst IV (Karakterisasi Hidrogeokimia)

Sumber: Adji *et.al.*, (2016)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.5. Karakterisasi Kawasan Karst V (Karakterisasi Gua)

Bentuk lorong gua yang dikontrol aktivitas hidrolik

Sumber: White (1988)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.5. Karakterisasi Kawasan Karst V (Karakterisasi Gua)

Bentuk lorong
gua yang
dikontrol
Struktur

Sumber: White (1988)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.5. Karakterisasi Kawasan Karst V (Karakterisasi Gua)

Jejak gempabumi di dalam gua

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.6. Karakterisasi Kawasan Karst V (Karakterisasi Gua)

Gambar 6.6. Kenampakan *Speleogen* a) *Pendant* b) *Potholes* c) *Scallops* d) *Solutions Pocket* e) *Cupola* f) *Meandering* g) *Solutions Notch* h dan i berupa *Flutes* dan *Cups/pits* di Ambil dari Slabe dan Prellovsek, 2013.

Sumber: Haryono dan Labib (2016)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.6. Karakterisasi Kawasan Karst V (Karakterisasi Gua)

Sumber: Prabawa (2017)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

Apakah stalagtit yang meneteskan air berarti gua masih hidup?

Tidak. Hal ini karena proses pelarutan dan pengendapan akan sangat tergantung pada agresivitas dari aliran air pada stalagtit. Dalam kondisi jenuh, air akan bersifat tidak agresif dan lebih banyak mengendapkan, sedangkan pada kondisi agresif air akan cenderung melarutkan batuan. Kondisi demikian dapat bersifat permanen ataupun berubah musiman.

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.6. Karakterisasi Kawasan Karst VI (Karakterisasi Geomorfologi)

- ❖ Karakteristik geomorfologi adalah karakteristik permukaan dari kawasan karst
- ❖ Bentuk-bentuk yang khas dan unik adalah potensi yang sangat besar dalam penentuan lokasi geosite
- ❖ Bentuk yang memerlukan perlindungan karena keunikannya misalnya sinking stream, logva, gua, menara karst, pinnacle karst, natural bridge dan lain-lain

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.6. Karakterisasi Kawasan Karst VI (Karakterisasi Geomorfologi)

Lithology	Morphology		Morphogenesis		
	Morphographic	Morphometric	Active morphostructure (geologic structures)	Passive morphostructure (physical properties)	Morphodynamic (exogenic processes)
Reef limestone, boundstone, bedded limestone, grainstone, packstone	 Cave	-Various height, reaching 30 m -Various width, reaching 50 m	-Joint -Massive or bedded -Incline to horizontal bedding plane	Hard, cavernous, lapies, $\phi = 32-50$	Karstification
Bedded limestone packstone, wackestone	 Shaft	-Diameter of the hole: 10 m-50 m -Depth: 20 m-60 m	-Joint -Bedded -Gently incline to horizontal bedded plane : $< 5^\circ$	Hard, cavernous, lapies, $\phi = 32-50$	Karstification
Reef limestone, bedded limestone, packstone, wackestone	 Dolina (doline), uvala	-Steep slope -Slope: $30^\circ-40^\circ$ -Depth: 20 m-50 m	-Massive of bedded -Incline bedding plane: $> 5^\circ$	Hard, cavernous, lapies, $\phi = 32-50$	Karstification
Bedded limestone, caliche limestone	 Polje	-Moderately inclined to steep slope -Slope: $20^\circ-30^\circ$ -Base plane -Maximum depth: 10 m -Area: $500 \text{ m}^2-1500 \text{ m}^2$	-Bedded -Relatively horizontal bedding plane: $< 5^\circ$	Hard, cavernous, lapies, $\phi = 32-50$ Weak, chalky, uncavernous $\phi = 17-31$	Karstification Calichification

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.7. Karakterisasi Kawasan Karst VII (Analisis Isotop)

- ❖ Analisis Isotop dapat digunakan untuk analisis iklim masa lampau, penggunaan lahan masa lampau, dan rekonstruksi lingkungan masa lampau, sehingga dapat pula digunakan untuk rekonstruksi perkembangan gua dan atau kawasan karst di mana gua tersebut berada

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.8. Karakterisasi Kawasan Karst VIII (Analisis Serapan dan Simpanan Karbon)

- ❖ Analisis simpanan karbon di dalam kawasan karst sangat penting
- ❖ Perusakan kawasan ini berarti pelepasan karbon ke sistem yang lain
- ❖ Simpanan karbon kawasan karst berada dalam batuan, tanah dan vegetasi
- ❖ Penyerapan karbondioksida atmosfer juga menjadi sangat penting
- ❖ Proses penyerapan terjadi dalam proses pelarutan, di mana pelarutan 1.000 kg gamping akan diikuti dengan penyerapan karbondioksida atmosfer sebanyak 200 kg

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.9. Karakterisasi Kawasan Karst IX (Karakterisasi Kerentanan Airtanah)

Adopsi
Airtanah

Sistem Akuifer Karst

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.9. Karakterisasi Kawasan Karst IX (Karakterisasi Kerentanan Airtanah)

Adopsi Airtanah

Sensitivitas Akuifer Kawasan Karst

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.10. Karakterisasi Kawasan Karst X (Karakterisasi Imbuhan Airtanah)

Empat Komponen Utama Imbuhan Akuifer Karst

1. **Allogenic Recharge:** Yaitu aliran permukaan berupa sungai permukaan dari luar kawasan karst yang masuk ke dalam akuifer karst melalui ponor dan atau sinkhole;
2. **Internal Runoff:** yaitu aliran permukaan dan hujan yang jatuh pada suatu cekungan tertutup (doline) di kawasan karst dan kemudian masuk ke dalam sistem akuifer karst melalui ponor;
3. **Diffuse Infiltration:** yaitu air hujan yang jatuh ke dalam tanah kemudian terinfiltrasi secara perlahan melalui pori pori tanah yang disimpan dalam kurun waktu mingguan sampai bulanan pada zona epikarst sebelum masuk ke sistem akuifer karst melalui rekahan batuan dan atau matriks batuan (ruang antar butir batuan);
4. **Imbuhan akuifer dari akuifer bertengger atau menggantung (perched aquifer),** yaitu imbuhan yang berasal dari akuifer lokal yang secara geologi terbentuk di atas akuifer karst dan kemudian memasok air ke akuifer karst melalui ruang antar butir atau rekahan yang terbentuk

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.10. Karakterisasi Kawasan Karst X (Karakterisasi Imbuhan Airtanah)

5.

Peranan Hidrologi dan Speleologi

5.10. Karakterisasi Kawasan Karst X (Karakterisasi Imbuhan Airtanah)

Sumber: Cahyadi dan Hartoyo (2011)

6.

Pengelolaan Kawasan Karst

6.1. Pengelolaan Kawasan Karst

- ❖ Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pengelolaan kawasan karst adalah:
  1. Perlunya disusun ulang pengertian kawasan karst di Indonesia, sekaligus cara penilaiannya;
  2. Karakterisasi kawasan karst membutuhkan data yang detail, sehingga mendesak untuk dilakukan penyediaan data dasar untuk mendukungnya;
  3. Karakterisasi kawasan karst membutuhkan kajian multidisiplin, sehingga perlu melibatkan banyak instansi dan lembaga;
  4. Karakterisasi kawasan karst membutuhkan kajian yang lama (misalnya satu tahun untuk hidrologi), sehingga tidak dapat dilakukan hanya dalam waktu yang singkat atau insidentil;
  5. Keterlibatan banyak pihak menjadi sangat penting karena mendesaknya penyediaan terkait dengan karakterisasi kawasan karst di Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T.N.A. dan Cahyadi, A. 2016. Pentingnya Monitoring Parameter-Parameter Hidrograf Dalam Pengelolaan Airtanah di Daerah Karst. Seminar Ekohidrolika. Yogyakarta: APCE-UNESCO, LIPI dan UGM.
- Adji, T.N.; Haryono, E.; Fatchurohman, H. and Oktama, R. 2016. Diffuse Flow Characteristics and Their Relation to Hydrochemistry Conditions in The Petoyan Spring, Gunungsewu Karst, Java, Indonesia. *Geosciences Journal*, 20(3): 381-390.
- Agniy, R.F. dan Cahyadi, A. 2015. Analisis Evolusi Hidrogeokimia Airtanah di Sebagian Mataair Karst Kabupaten Rembang Bagian Selatan. Prosiding Seminar Nasional Innovation in Environmental Management. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Agniy, R.F. 2016. Hidrogeologi Sistem Gua Pindul, Kabupaten Gunungkidul. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Agniy, R.F.; Haryono, E. dan Cahyadi, A. 2016. Karakteristik dan Pemanfaatan Mataair di Daerah Tangkapan Sistem Goa Pindul, Karangmojo, Gunungkidul. Dalam Suprayogi, S.; Purnama, S.; Cahyadi, A. dan Fatchurohman, H. 2016. Hidrologi dan Kepariwisata Kawasan Karst Goa Pindul, Kabupaten Gunungkidul. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- Agniy, R.F.; Cahyadi, A. dan Nurkholis, A. 2017. Analisis Karakteristik Akuifer Karst dengan Uji Perunutan dan Pemetaan Gua. Pertemuan Ilmiah Tahunan Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia ke-2. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Goldscheider, N., Meiman, J., Pronk, M dan Smart, C. 2008. Tracer Tests in Karst Hydrogeology and Speleology. *International Journal of Speleology*, 37 (1): 27-40.
- Bahtiar, I.Y. dan Cahyadi, A. 2014. Analisis Karakteristik Hidrologi Aliran Sungai Bawah Tanah di Kawasan Karst untuk Mendukung Pengembangan Geowisata. dalam Cahyadi, A.; Prabawa, B.A.; Tivianton, T.A. dan Nugraha, H. 2014. *Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Mejaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia*, Edisi 2. Yogyakarta: Deepublish. Hal: 13 – 22.
- Cahyadi, A. 2010. Pengelolaan Kawasan Karst dan Peranannya dalam Siklus Karbon di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Perubahan Iklim di Indonesia. Yogyakarta: Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.
- Cahyadi, A. dan Hartoyo, F.A. 2011. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Sig) Untuk Pemetaan Imbuhan Airtanah dan Kerentanan Airtanah di Kawasan Karst (Studi Kasus di Kecamatan Paliyan Dan Kecamatan Saptosari, Kabupaten Gunungkidul). *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Cahyadi, A. dan Priadmodjo, A. 2012. Pengaruh Penambangan Gamping terhadap Fungsi Penyerapan Karbondioksida (CO₂) Atmosfer di Kawasan Karst Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul. Makalah dalam Seminar Nasional Geospatial Day. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Cahyadi, A.; Nucifera, F.; Marfai, M.A. dan Rahmadana, A.D.W. 2012. Perencanaan Penggunaan Lahan di Kawasan Karst Berbasis Analisis kemampuan Lahan dan Pemetaan Kawasan Lindung Sumberdaya Air (Studi Kasus di Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta). *Prosiding Seminar Nasional Science, Engineering and Technology*, 23-24 Februari 2012. Program Magister dan Doktor Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Cahyadi, A. 2013. Tingkat Pengetahuan Masyarakat Terhadap Keberadaan dan Penyebab Kerusakan Sumberdaya Air Sungai Bawah Tanah di Kawasan Karst Gunungsewu. *Geomedia*, 11(2): 253-260.
- Cahyadi, A.; Prabawa, B.A. dan Putranto, S.A. 2013a. Pengelolaan Kawasan Karst Gunungsewu Sebagai Upaya Melestarikan Fungsi Penyerapan Karbondioksida. Marfai, M.A. dan Widyastuti, M. 2013. *Pengelolaan Lingkungan Zamrud Khatulistiwa*. Yogyakarta: Buku Pintal.
- Cahyadi, A., Pratiwi, E.S. dan Fatchurohman, H. 2013b. Metode-metode Identifikasi Karakteristik Daerah Tangkapan Air Sungai Bawah Tanah dan Mataair Kawasan Karst: Suatu Tinjauan. dalam Marfai, M.A. dan Widyastuti, M. 2013. *Pengelolaan Lingkungan Zamrud Khatulistiwa*. Yogyakarta: Pintal.
- Cahyadi, A.; Ayuningtyas, E.A. dan Prabawa, B.A. 2013c. Urgensi Pengelolaan Sanitasi dalam Upaya Konservasi Sumberdaya Air di Kawasan Karst Gunungsewu Kabupaten Gunungkidul. *Indonesian Journal of Conservation*, 2(1): 23-32.
- Cahyadi, A. 2014a. Keunikan Hidrologi Kawasan Karst: Suatu Tinjauan. dalam Cahyadi, A.; Prabawa, B.A.; Tivianton, T.A. dan Nugraha, H. 2014. *Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Mejaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia*, Edisi 2. Yogyakarta: Deepublish. Hal: 1 – 13.

- Cahyadi, A. 2014b. Sumberdaya Lahan Kawasan Karst Gunungsewu. dalam Cahyadi, A.; Prabawa, B.A.; Tivianton, T.A. dan Nugraha, H. 2014. *Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Mejaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia*, Edisi 2. Yogyakarta: Deepublish. Hal: 102 – 113.
- Cahyadi, A. 2016a. Isu-isu Riset Ilmu Kebumiharian Terkini di Kawasan Karst. Dalam Suprayogi, S.; Purnama, S.; Cahyadi, A. dan Fatchurohman, H. 2016. Hidrologi dan Kepariwisata Kawasan Karst Goa Pindul, Kabupaten Gunungkidul. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- Cahyadi, A. 2016b. Peran Telaga dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Kawasan Karst Gunungsewu Pasca Pembangunan Jaringan Air Bersih. *Geomedia*, 14(2): 23-33.
- Cahyadi, A. dan Agniy, R.F. 2016. Analisis Breakthrough Curve untuk Karakterisasi Pelorongan di Sistem Sungai Bawah Tanah Pindul Kabupaten Gunungkidul. Prosiding Pekan Ilmiah Tahunan Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia ke 1. Bandung: ITB Press.
- Cahyadi, A.; Riyanto, I.A. dan Nurrohman, H. 2016. Estimasi Dampak Perubahan Iklim Terhadap Imbuhan Airtanah di Daerah Aliran Sungai Progo. Laporan Penelitian. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Eiche, E.; Hochschild, M.; Haryono, E. and Neumann, T. 2016. Characterization of Recharge and Low Behaviour of different water sources in Gunung Kidul and its impact on Water Quality Based on Hydrochemical and Physico-Chemical Monitoring. *Applied Water Science*, 10.1007/s13201-016-0426-z.
- Fatchurohman, H.; Cahyadi, A. dan Suprayogi, S. 2016. Hydrograph Analysis for Sustainable Karst Aquifer Protection and Management. *Geomedia* 14(1), 43-53.
- Gellieson, D. 1996. Caves: Processes, Development, and Management. British: Blacwell Publishers.
- Haryono, E. 2009. Model Perkembangan Karst Berdasarkan Morfometri Jaringan Lembah di Karang Bolong, Gunung Sewu, Blambangan dan Rengel. Disertasi. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, E. 2011. *Introduction to Gunungsewu Karst*. Field Guide of Asian Trans-Disciplinary Karst Conference. Yogyakarta: Karst Research Group, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, E. dan Labib, M.A. 2016. Identifikasi Morfologi Lorong Gua di Kawasan Karst. Dalam Haryono, E. 2016. Pedoman Praktis Survei Terintegrasi Kawasan Karst. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, E.; Bariadi, D.H. dan Cahyadi, A. 2017. hidrogeologi Kawasan Karst Gunungsewu: Panduan Lapangan Fieldtrip PAAI 2017. Yogyakarta: Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia, Groundwater Working Group UGM dan Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Hidayat, A.; Suprayogi, S. dan Cahyadi, A. 2016. Analisis Kesesuaian Kualitas air untuk Irigasi pada Beberapa Mataair di Kawasan Karst Sistem Goa Pindul. Dalam Suprayogi, S.; Purnama, S.; Cahyadi, A. dan Fatchurohman, H. 2016. Hidrologi dan Kepariwisata Kawasan Karst Goa Pindul, Kabupaten Gunungkidul. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- Jurnawan, N.Y.; Putnama, S. dan Cahyadi, A. 2016. Analisis Potensi Sungai Bawah Tanah Ngancar untuk Pemanfaatan Sebagai Sumber Air Minum. Dalam Suprayogi, S.; Purnama, S.; Cahyadi, A. dan Fatchurohman, H. 2016. Hidrologi dan Kepariwisata Kawasan Karst Goa Pindul, Kabupaten Gunungkidul. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- Klimchouk, A. 2015. The Karst Paradigm: Changes, Trends and Perspectives. *Acta Cartologica*, 44(3): 289-313.
- Kusumayudha, S.B.; Setiawan, J.; Ciptahening, A.N. and Septianta, P.D.. 2015. Geomorphologic Model of Gunungsewu Karst, Gunung Kidul Regency, Yogyakarta Special Territory, Indonesia: The Role of Lithologic Variation and Geologic Structure. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 1: 1-7.
- Lestariningsih, S.P.; Cahyadi, A.; Rahmat, P.N. dan Zein, A.G.I. 2013. Tekanan Penduduk Terhadap Lahan di Kawasan Karst (Studi Kasus di Desa Songbanyu, Kecamatan Girisubo dan Desa Jeruk Wudel Kecamatan Rongkop, Gunungkidul). dalam Sudarmadji; E. Haryono; Adji, T.N.; Widyastuti, M.; Harini, R.; Nurjani, E.; Cahyadi, A. dan Nugraha, H. (editor). *Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia*. Deepublish. Yogyakarta.
- Malik, P. and Vojtkova, S., 2012, Use of recession-curve analysis for estimation of karstification degree and its application in assessing overflow/underflow conditions in closely spaced karstic springs, *Environmental Earth Sciences Journal*, 65(8): 2245-2257.
- Marfai, M.A.; Sekaranom, A.B. and Cahyadi, A. 2015. Profiles of marine notches in the Baron coastal area—Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(1): 307-314.

- Nurkholis, A.; Cahyadi, A. dan Purnama, S. 2016. Evolusi Hidrogeokimia pada Mataair di Sistem Goa Pindul, Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul. Dalam Suprayogi, S.; Purnama, S.; Cahyadi, A. dan Fatchurohman, H. 2016. Hidrologi dan Kepariwisata Kawasan Karst Goa Pindul, Kabupaten Gunungkidul. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- Prabawa, B.A. 2017. Karakteristik Iklim Mikro Gua Kalisuci dan Banjir Sub DAS Jirak untuk Pengelolaan Wisata Berbasis Daya Dukung Gua. Tesis. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Rashed, K.A., 2012, Assessing Degree of Karstification: A New Method Of Classifying Karst Aquifers, *Sixteenth International Water Technology Conference, IWTC 16 2012*, Istanbul, Turkey.
- Riehl, C. dan Birk, S. 2010. Hydrogeological Characterisation and Modelling of Spring Chatchments in a Changing Environment. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 103 (2), 106-117.
- 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. Simposium Nasional Sains Informasi Geografis. Yogyakarta: PUSPICS UGM.
- Sudarmadji; Marfai, M.A.; Cahyadi, A. dan Tivianton, T.A. 2015. Inisiasi Emergency Response System di Lokasi Wisata Minat Khusus Kalisuci, Gunungkidul. *Jurnal Geografi dan Pendidikannya*, 13(1):14-25.
- Suprayogi, S.; Purnama, S.; Agniy, R.F. dan cahyadi, A. 2016. Potensi Airtanah Statis di Daerah Tangkapan Air Goa Pindul Kabupaten Gunungkidul. Seminar Nasional Geografi Lingkungan I. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Suprayogi, S.; Agniy, R.F. dan Cahyadi, A. 2016. Urgensi Pengelolaan Kawasan Karst Goa Pindul, Kecamatan Karangmojo, Gunungkidul. Dalam Suprayogi, S.; Purnama, S.; Cahyadi, A. dan Fatchurohman, H. 2016. Hidrologi dan Kepariwisata Kawasan Karst Goa Pindul, Kabupaten Gunungkidul. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- White, B, W.1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. New York. Oxford University Press.
- Widyastuti, M.; Cahyadi, A. dan Sasongko, M.H.D. 2016. Hidrologi dan Hidrogeologi Karst. Dalam Haryono, E. 2016. Pedoman Praktis Survei Terintegrasi Kawasan Karst. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

ahmadcahyadi@geo.ugm.ac.id

Terima Kasih