PETUNJUK KEGIATAN LAPANGAN

HIDROGEOLOGI KAWASAN KARST GUNUNGSEWU

Pekan Ilmiah Tahunan Perhimpunan Ahli Airtanah Indoensia (PIT PAAI) 2017
Yogyakarta, 15 September 2017

Disusun Oleh:
Eko Haryono, Didit Hadi Barianto, Ahmad Cahyadi

Kelompok Studi Karst
Fakultas Geografi UGM

PANDUAN KEGIATAN LAPANGAN HIDROGEOLOGI KAWASAN KARST GUNUNGSEWU

Eko Haryono, Didit Hadi Barianto, Ahmad Cahyadi
Universitas Gadjah Mada

I. Pendahuluan

Gunungsewu terletak di bagian tengah Pulau Jawa bagian selatan. Secara administratif Kawasan Karst Gunungsewu terletak pada empat kabupaten, yakni Kabupaten Bantul dan Kabupaten Gunungkidul (Daerah Istimewa Yogyakarta), Kabupaten Wonogiri (Provinsi Jawa Tengah), serta Kabupaten Pacitan (Jawa Timur). Kawasan Karst Gunungsewu memiliki luas sekitar 1.300 km², membentang sejauh 85 km (barat ke timur) dengan lebar antara 10 km sampai dengan 29 km (arah utara-selatan). Elevasi wilayah mulai dari 0 mdpal pada wilayah pantai selatan Jawa, sampai dengan sekitar 512,5 mdpal.

Gambar 1. Citra Kawasan Karst Gunungsewu (Haryono, 2011)

II. Geologi Kawasan Karst Gunungsewu

a. Fisiografi

Van Bemmelen (1949) menyebutkan bahwa kawasan Karst Gunungsewu merupakan bagian dari Pegunungan Selatan Pulau Jawa (Gambar 2), dan secara regional Pannekoek (1949) menyebut Kawasan Karst Gunungsewu sebagai bagian dari plato selatan Pulau Jawa. Kawasan karst Gunungsewu di hasilkan oleh pengangkatan yang dimulai pada Pleiosen Akhir. Bagian utara kawasan karst Gunungsewu dibatasi oleh cekungan (basin) Wonosari dan Baturetno (Gambar 3) yang tersusun atas material gamping, namun memiliki tingkat karstifikasi yang tidak intensif. Kedua cekungan ini memisahkan kawasan Karst Gunungsewu dengan pegunungan berbatuan sedimen vulkano-klastik yang lebih dikenal dengan Pegunungan Baturagung.

Gambar 2. Sketsa Fisografi Pulau Jawa Bagian Timur
(diadopsi dari van Bemmelen, 1949 dalam Toha dan Barianto, 2015)

Gambar 3. Sketsa Morfologi Gunungsewu dan Sekitarnya (Haryono, 2011)

Pengangkatan kawasan karst Gunungsewu telah menghasilkan beberapa teras laut yang terangkat di daratan dan lembah yang ditinggalkan di Sungai Bengawan Solo Purba. Rekonstruksi terhadap keberadaan teras laut tersebut pernah dilakukan oleh Urushibara (1997), Brahmantyo dkk. (1998). Keberadaan tiga teras laut utama yang terbentuk akibat pengangkatan

kawasan Karst Gunungsewu mudah dikenali melalui citra satelit ataupun peta topografi. Identifikasi yang dilakukan oleh penulis melalui *Digital Elevation Model* (DEM) yang dihasilkan dari informasi topografi pada Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1: 25.000 terbitan Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan nasional/ BAKOSURTANAL (sekarang bernama Badan Informasi Geospasial/ BIG) menunjukkan bahwa teras laut terendah diperkirakan berada pada ketinggian 112,5 mdpal ($\pm 12,5$ m) di atas permukaan laut rata-rata sekarang, teras tengah sekitar 137,5 mdpal ($\pm 12,5$ m), sedangkan yang tertinggi adalah sekitar 200 mdpal ($\pm 12,5$ m). Selain itu, teras kecil di kawasan karst Gunungsewu juga diidentifikasi oleh Urushibara (1997) dengan perkiraan ketinggian 50 mdpal, menunjukkan kerucut dan dolin dengan bentuk yang baik, dan pada ketinggian sekitar 20 mdpal dengan kenampakan berupa kerucut karst berukuran sangat kecil dan hanya permukaan depresi yang dangkal. Teras pantai juga terkonfirmasi oleh keberadaan goa dengan beberapa level ketinggian serta keberadaan teras sungai di lembah kering Sadeng (perbatasan Gunungkidul dan Wonogiri) (Urushibara, 1997) dan Sungai Baksoka (Kabupaten Pacitan) (Bastra, 1976).

Lebah kering bekas sungai Bengawan Solo Purba menjadi salah satu bentukan yang sangat khas di Kawasan karst Gunungsewu. Saat ini, Sungai Bengawan Solo mengalir ke utara sampai Laut Jawa. Dahulu diperkirakan aliran Sungai Bengawan Solo yang berhulu di Kabupaten Wonogiri mengalir ke arah selatan menuju Samudera Hindia yang memahat lembah yang ditinggalkan ini (Pannekoek, 1949; Bemmelen, 1949; Urushibara, 1997; Marwanto dkk., 1999). Keringnya lembah itu dikaitkan dengan pengangkatan bagian selatan Gunung Selatan. Pengangkatan ini menyebabkan terbentuknya cekungan Baturetno yang telah disebutkan sebelumnya dan menyebabkan alur Sungai Bengawan Solo berubah mencari jalan ke arah utara. Bukti morfologis selain nampak dari DEM juga dapat ditelusuri melalui keterdapatan lembah menggantung di sekitar Cekungan Baturetno (Marwanto dkk., 1999). Urushibara (1997) mengemukakan bahwa pembentukan lembah kering di Gunung Sewu juga dikondisikan dengan menurunkan permukaan laut, dan pembentukan iklim yang sejuk dan sangat kering, serta perkembangan karst yang menyebabkan terbentuknya lorong-lorong pelarutan. Kedalaman lembah kering Sungai Bengawan Solo Purba bervariasi antara 150 m sampai dengan 250 m dengan lebar sekitar 40 m sampai dengan 50 m.

b. Stratigrafi Gunungsewu dan Sekitarnya

Karst Gunungsewu terdiri dari batu gamping Neogen (Miosen Tengah dan Pliosen Atas) yang disebut Formasi Wonosari-Punung (Tmwp). Gamping di wilayah tersebut terdiri dari gamping terumbu di bagian selatan dan gamping berlapis di bagian utara (Bemmelen 1949; Balazs 1968; Waltham *et al.*, 1983; Surono *et al.*, 1992; Rahadjo *et al.*, 1995). Total ketebalan gamping di kawasan Karst Gunungsewu diperkirakan melebihi 650 m. Gamping terumbu secara litologis sangat bervariasi, namun didominasi oleh *rudstones*, *packstones*, dan *framestones*.

Selain itu, struktur biohermal dapat diidentifikasi dan terdapat perselingan lensa abu vulkanik di antara batuan karbonat (Waltham *et al.*, 1983). Gamping berlapis banyak terdapat di utara dan timur laut, serta mendominasi cekungan Wonosari.

Batuan dasar Formasi Wonosari-Punung sebagian besar adalah batuan sedimen vulkano klastik berumur Miosen (Formasi Wuni, Formasi Sambipitu, Formasi Semilir, Formasi Nglanggran dan Formasi Nampol). Formasi-formasi ini ditemukan di beberapa daerah menjadi batuan dasar kawasan Karst Gunungsewu. Formasi Wuni terdiri dari aglomerat dengan batu pasir tufan dan lensa batupasir kasar. Formasi Sambipitu terdiri dari batupasir dan batulempung. Formasi Semilir terbuat dari tuff, breksi batu apung, tuff batu pasir, dan batulempung. Formasi Nglanggran terdiri dari batuan vulkanik, aglomerat, tuff dan lava andesitik-basaltik. Formasi Nampol terdiri dari konglomerat, batupasir konglomerat, aglomerat, batupasir, serpih, batulempung dan tuff. Batuan dasar lainnya adalah batuan sedimen non vulkanik Formasi Oyo yang terdiri dari tuff, tuff andesitik, konglomerat, dan gamping (Suroño *et al.*, 1992 dan Rahadjo, 1995). Peta geologi wilayah Gunungsewu Karst dan daerah sekitarnya disajikan pada Gambar 4.

Gambar 3. Peta Geologi Kawasan Karst Gunungsewu dan Sekitarnya
(van Bemmelen, 1949 dan Badan Geologi dan dikompilasi oleh Haryono, 2011)

Formasi Wonosari-Punung terangkat pada akhir Pliosen dan/ atau awal Pleistosen dan semakin menurun ke arah selatan dengan kemiringan yang kecil, yakni dengan kemiringan sekitar 2%. Hal ini nampak dari kenampakan pada dinding cliff dengan ketinggian 25 m sampai dengan 100 m di sepanjang pantai Selatan yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia (Balazs 1968; van Bemmelen 1949 ; Suroño *et al.*, 1992; Sutoyo, 1994). Kompresi utara-selatan

yang terkait dengan lempeng tektonik menghasilkan deformasi termasuk kekar dan patahan berarah barat laut dan tenggara, serta barat laut-barat daya (van Bemmelen 1949; Balazs 1968; Surono *et al.*, 1992; Sutoyo, 1994; Haryono, *et al.*, 2005). Strukturnya paling rumit berada di sepanjang batas utara.

III. Geomorfologi Kawasan Karst Gunungsewu

Karst Gunungsewu telah mengalami karstifikasi lanjut yang membentuk morfologi karst tropis, yang disebut karst tipe *conel* kerucut atau kegel karst. Jenis bentuk lahan yang khas ini pertama kali dilaporkan oleh Lehmann (1936) dan dinamai sebagai karst tipe Gunungsewu. Namun demikian, Flathe dan Pfeiffer (1965), lebih suka menggunakan istilah sinoid dibandingkan dengan kerucut karst (conical karst) untuk mendeskripsikan kekhasan bentuk dari kawasan Karst Gunungsewu. Haryono and Day (2004) pada penelitian yang relatif lebih baru menyebutkan tiga variasi dari Gunungsewu Kegelkarst yang mereka bagi menjadi *labyrinth-cone karst*, *residual-cone karst*, dan *polygonal-cone karst*. Tjia (2013) menambahkan bentukan morfologi karst Gunungsewu berupa bentukan circular karst dan multi-ring karst. Sementara itu, Kusumayudha *et al.* (2015) menyebutkan bahwa perbedaan morfologi yang terbentuk di kawasan karst Gunungsewu terbentuk karena perbedaan litologi dan struktur geologi. Hal tersebut seperti nampak pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Pengaruh Litologi dan Struktur Geologi pada Morfologi Positif di Kawasan Karst Gunungsewu

Lithology	Morphology		Morphogenesis		
	Morphographic	Morphometric	Active morphostructure (geologic structures)	Passive morphostructure (physical properties)	Morphodynamic (exogenic processes)
Dominated by bedded limestone, grainstone and packstone	Cone	-Steep slope -Slope: 30°-45° -Relatively top sharp -Height: 30-90 m	-Joint -Thin bedded: < 1 m -Bedding plane inclination: > 5°	hard, cavernous, lapies, $\phi = 32-50$	Karstification
Dominated by reef limestone, boundstone	Convex-cone	-Steep slope -Slope: 35°-45° -Top convex -Height: 30-70 m	-Joint -Massive, or thick bedded: > 1m -Bedding plane inclination > 5°	hard, cavernous, lapies, $\phi = 32-50$	Karstification
Caliche limestone, wackestone	Dome (Sigmoid, Mogote)	-Steep slope -Slope: 30°-45° -Height: 20-50 m	-Joint -Massive or bedded -Relatively horizontal bedding plane: < 5°	hard, cavernous, lapies, $\phi = 32-50$	Karstification Calichification
Caliche limestone, wackestone	Convex	-Gentle slope -Slope: 12°-20° -Height: 10-30 m	-Joint -With or without bedding plane -Relatively horizontal bedding plane: < 5°	weak, chalky, uncavernous $\phi = 17-31$	Calichification
Bedded limestone, caliche limestone	Ridge	-Moderately inclined -To steep slope -Slope: 20°-35° -Top plane -Height: 10-30 m	-Joint -Thin bedded: < 1 m -Relatively horizontal: < 5°	hard, cavernous, lapies, $\phi = 32-50$ Weak, chalky, uncavernous $\phi = 17-31$	Karstification Calichification

Sumber: Kusumatudha et al. (2015)

Tabel 2. Pengaruh Litologi dan Struktur Geologi pada Morfologi Negatif di Kawasan Karst Gunungsewu

Lithology	Morphology		Morphogenesis		
	Morphographic	Morphometric	Active morphostructure (geologic structures)	Passive morphostructure (physical properties)	Morphodynamic (exogenic processes)
Reef limestone, boundstone, bedded limestone, grainstone, packstone		-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		-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		-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		-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

Sumber: Kusumatudha et al. (2015)

Labyrinth-cone karst di kawasan Karst Gunungsewu ditandai oleh perkembangan lembah-lembah linier yang jelas dan tidak tertutup serta dominan dikontrol oleh patahan atau kekar utama. Wilayah yang berkembang menjadi *labyrinth-cone karst* ditandai dengan linieritas lembah yang dikombinasikan dengan bukit-bukit kerucut yang saling bersinggungan. Lembah-lembah yang terbentuk bersifat kering dalam keadaan normal, berbentuk memanjang, berupa hamparan residu interfluvial dengan tinggi 80-100 m serta membentuk rantai bukit kerucut atau bukit yang panjang dan bergerigi tanpa membentuk depresi yang tertutup. *Polygonal-karst* ditandai oleh depresi yang padat atau menyatu (kokpit) dan jaringan lembah berkelok-kelok yang tidak teratur. Meskipun telah mengalami pelarutan yang relatif lanjut, karst poligonal di kawasan karst Gunungsewu nampaknya sangat dipengaruhi oleh proses fluvial dan faktor kemiringan. Karst residu kerucut (*residual karst cone*) ditandai dengan kerucut terisolasi yang tersebar di dataran korosi. Morfologi karst yang terakhir ini berkembang pada *chalky limestone* di mana batuananya tidak keras dan dapat larut dalam jumlah tinggi.

IV. Sumberdaya Lahan Kawasan Karst Gunungsewu

Seperti di pada kawasan karst umumnya, bagian permukaan di kawasan Karst Gunungsewu umumnya tertutupi oleh tanah dangkal atau bahkan berupa singkapan batuan dasar. Tanah yang tebal secara setempat menempati dasar depresi atau lembah kering. Survei tanah rinci yang pernah dilakukan oleh Pusat Penelitian Tanah dan agroklimat (PUSLITANAK) pada tahun 1994 mengidentifikasi beberapa tanah yang terdiri dari Haplustalf, Haplustoll, dan Eutropept di wilayah tersebut. Haplustalf berkembang di lereng kaki kerucut karst. Tanah atas Haplustalf ditandai dengan warna abu-abu yang sangat gelap, tekstur halus, konsistensi keras (kering) sampai dengan konsistensi sedang yang lengket (basah), sedangkan tanah bagian bawahnya ditandai dengan warna abu-abu yang sangat gelap, tekstur halus, konsistensi keras (kering) sampai dengan konsistensi sedang atau konsentrat lengket (basah), dan sifatnya agak asam (PUSLITANAK, 1994). Kedalaman tanah di kawasan Karst Gunungsewu dangkal sampai dengan sedang (kebanyakan kurang dari 50 cm), sehingga tanah ini digambarkan sebagai Lithic Haplustalfs. Rezim kelembaban tanah di daerah ini kering (ustic) dipengaruhi oleh iklim monsun yang ada. Keterbatasan tanah ini untuk keperluan pertanian adalah pengolahan tanah yang berat, memiliki bahaya kekeringan, dan solum tanah yang dangkal.

Tanah lain di kawasan Karst Gunungsewu adalah Haplustolls. Tanah ini sebagian besar berkembang di lereng bukit kerucut karst. Tanah ini lebih dangkal dibandingkan dengan tanah haplustalfs yang berkembang di lereng kaki kerucut karst. Tanah ini ditandai dengan warna coklat keabu-abuan (baik di tanah bagian atas maupun bagian bawah), tekstur halus dan agak halus, sangat keras saat kering, sangat tegas saat lembab, lengket dan plastis saat tanah basah, sifatnya netral atau agak alkali. Keterbatasan utama tanah ini adalah memiliki kerawanan erosi yang tinggi, sehingga solum tanahnya dangkal. Dalam klasifikasi yang lebih rinci, tanah ini dimasukkan dalam klasifikasi Lithic Haplustolls.

Tanah Eutropept yang diidentifikasi di karst Gunungsewu adalah Fluventic Eutropept dan Typic Eutropept. Tanah Fluventic Eutropept berkembang dari alluvium yang tersimpan di dasar lembah Bengawan Solo Purba. Sedimen tebal di sepanjang lembah ini memungkinkan tanah lebih tebal terbentuk dan berkembang. Bagian atas dan bawah dari tanah Fluventic Eutropept ditandai dengan warna coklat tua kemerahan dengan struktur tanah liat. Typic Eutropept berkembang di daerah dengan karstifikasi sedang dan umumnya memiliki morfologi bergelombang. Tanah ini juga solum yang tebal, ditandai dengan warna coklat tua kemerahan, struktur granular, dan tekstur tanah lempung. Ringkasan sifat tanah dari empat sub kelompok tanah tersebut disajikan pada Tabel 3.

Sebagian besar lahan budidaya di Gunungsewu Karst sedikit sesuai atau tidak cocok baik untuk tanaman musiman maupun tahunan. Hanya sebagian kecil lahan yang sedikit sesuai, khususnya di dasar lembah kering dan hamparan medan karst. Areal seluas 92% dari area tersebut baik permanen atau sementara tidak sesuai untuk tanaman musiman dan atau tahunan (Tabel 4). Kajian analisis kemampuan lahan yang dilakukan Cahyadi dkk (2012) di Kawasan

Karst Ponjong menunjukkan bahwa kemampuan lahan tersebut didominasi oleh kelas III dan VIII (Gambar 4). Dataran-dataran di sekitar perbukitan karst di lokasi yang dikaji menempati kemampuan lahan kelas III sedangkan kerucut karst didominasi oleh kelas kemampuan lahan VIII. Hasil penelitian lain yang misalnya dilakukan oleh Suratman dkk. (1997), di mana bagian dataran di sekitar perbukitan memiliki kemampuan lahan kelas II, sedangkan kerucut karst memiliki kelas kemampuan lahan VII.

Tabel 3. Pengaruh Litologi dan Struktur Geologi pada Morfologi Negatif di Kawasan Karst Gunungsewu

SOIL SUBGROUPS	LITHIC HAPLUSALFS	LITHIC HAPLUSTOLLS	FLUVENTIC EUTROPEPT	TYPIC EUTROPEPT
SOIL SERIES	Temugiring	Gembol	Ngrancah	Mulo
MAJOR OCCURRENCES	Foot slope of karst hills	Slope of conical karst hills	Bottom of Palaeo Bengawan Solo Dry Valley	Undulating karst terrain
Depth	< 50	< 50	> 155	50-100
Drainage	Moderate	Moderate	Moderately slow	Good
Permeability	Moderate	Moderate	Moderately slow	Moderate
Slope	3 – 25	25 – 45	0 - 45	3 – 8
Top Soils				
- Depth	10 – 20	0 – 20	15-25	10-20
- Color	Very dark gray	Dark brown	Reddish dark brown	Reddish dark brown
- Structure	Sub angular blocky	Blocky	Blocky	Granular
- Texture	Clay	Clay	Clay	Clay
- Soil reaction	Moderately acid	Neutral	Moderately acid	Neutral
- C organic (%)	Low	Low	Low	Low
- Nitrogen (%)	Low	Low	Low	Low
- P ₂ O ₅ available	Low	Very low	Low	Very low
- K available	Very low	Very Low	Very low	Low
- Soil erodibility (K)	0,10	0.12	0.12	0.03
- CaCO ₃ Content	0	0.10	0.13	0.13
- Stoniness	-			
Sub Soils				
- Depth	< 30	< 20	> 130	40-80
- Color	Very dark grey-grayish dark brown	Reddish dark brown	Reddish dark brown	Reddish dark brown
- Texture	Clay	Clay	Clay	Clay
- Soils reaction	Neutral	Neutral	Neutral	Moderately acid
- CEC	High	Moderate	High	Low-moderate
- CaCO ₃ content	0	0,1	0.07	0,07
- Stoniness	-	-		
- Workability	Heavy	Heavy	Heavy	Heavy

Sumber: PUSLITANAK (1994)

Tanaman musiman yang bisa biasa di tanam oleh masyarakat di kawasan Karst Gunungkidul antara lain adalah padi lahan basah, padi lahan kering (padi gogo), jagung, kacang tanah, ubi jalar, kedelai dan rumput untuk pakan ternak. Tanaman ini hanya sedikit cocok untuk ditanam di dasar lembah kering dan daerah bergelombang. Sebagian besar wilayah bukit

berbentuk kerucut, tidak sesuai untuk tanaman-tanaman yang disebutkan sebelumnya. Keterbatasan utama yang dihadapi di daerah tersebut adalah ketersediaan air, kondisi perakaran, solum tanah yang tipis, erosi yang tinggi dan ketersediaan hara tanah yang sedikit. Kurangnya air permukaan akibat kondisi hidrologi yang khas di kawasan karst (Cahyadi, 2010) dan iklim monsun merupakan faktor yang mempengaruhi terbatasnya sumberdaya air. Kedalaman tanah dangkal, di sisi lain menghasilkan media perakaran terbatas.

Tabel 4. Pengaruh Litologi dan Struktur Geologi pada Morfologi Negatif di Kawasan Karst Gunungsewu

SOILS MAP UNIT	Temugiring and Outcrops Complex	Outcrops and Gembol Complex	Sadeng and Ngrancah Complex	Mulo And Gembol Complex
Approximate area	52 %	40%	3%	5%
Seasonal crops				
Irrigated rice	N1s	N2s	S3np	S3wm
Rainfed rice	N1s	N2s	S3p	S3fn
Maize	N1s	N2s	S3rp	S3n
Soybean	N1s	N2s	S3rnp	S2trf
Green soybean	N1s	N2s	N1r	S3rn
Ground nut	N1s	N2s	S3rp	S3rn
Sweet potato	N1s	N2s	N1r	S3fn
Grass	N1s	N2s	S3wnp	S3wfn
Perennial crops				
Banana	N1rs	N2s	N2w	N2w
Orange	N1rs	N2s	S3wrp	S3wrt
Mango	N1rs	N2s	N2r	N1r
Coconut	S3ns	N2s	N2w	N2w
Cacao	N2r	N2rs	N2w	N2w
Coffee	N2r	N2rs	N1r	N2w
Clove	N2r	N2rs	N2w	N2w
Sugar cane	S3rns	N2s	N1r	N2w
Timber cops				
Teak	N2r	N2rs	N1r	N2w
Mahogany	N2r	N2rs	N2w	N2w
Albizia	S3rs	N2r	N2w	N2w
Leucaena	N2r	N2rs	N2w	N1r
Acacia	N2r	N2rs	S3rp	N1r
Pine	N2r	N2rs	N2w	N2r

Note:

S2 : Moderately suitable

S3 : Marginally suitable

N1 : Currently not suitable

N2 : Permanently not suitable

w : Water availability

r : Rooting media

n : Nutrient availability

f : Nutrient retention

s: Outcrop and slope

t: Temperature regime

p: Workability

Sumber: PUSLITANAK (1994)

Keterbatasan utama pembudidayaan tanaman tahunan adalah adanya singkapan dan media perakaran yang terbatas oleh solum tanah yang tipis (Cahyadi, 2014). Tanaman kayu juga kurang cocok ditanam di Karst Gunungsewu. Hanya kayu jati yang cukup cocok di kawasan Karst Gunungsewu. Hal inilah yang kemudian menyebabkan banyaknya masyarakat yang

membudidayakan tanaman yang sebenarnya bukan berasal dari wilayah ini. Meskipun demikian, pertanian tetap menjadi mata pencaharian utama masyarakat yang tinggal di kawasan Karst Gunungsewu. Tidak peduli pendapatan yang mereka hasilkan, pertanian adalah satu-satunya kehidupan yang bisa dimiliki kebanyakan orang. Produktivitas tanaman di kawasan Karst Gunungsewu sangat rendah. Produktivitas beberapa tanaman yang ditanam di Gunungsewu karst disajikan pada Tabel 5. Untuk mengatasi situasi ini, masyarakat membudidayakan beberapa jenis tanaman musiman dan beberapa jenis tanaman tahunan secara bersamaan. Hal ini adalah bentuk adaptasi panjang telah membawa jenis pemanfaatan lahan ini.

Gambar 4. Peta Kemampuan Lahan di Kawasan Karst Kecamatan Ponjong, Gunungkidul
(Cahyadi dkk., 2012)

Beberapa tanam di daerah tersebut berupa jagung, ketela pohon atau kacang tanah di tanam secara bersamaan dalam satu lahan pada musim hujan. Jika musim hujan berkepanjangan, kacang tanah, kedelai atau kacang hijau ditanam untuk rotasi kedua. Jenis pemanfaatan lahan ini sebagian besar ditanam di dasar depresi tertutup, lembah kering, dan lereng kaki perbukitan karst. Di sisi lain, kebun campuran ditanam di lereng perbukitan karst atau di tanah dekat permukiman. Tanaman yang tumbuh di kebun campuran sangat beragam, kebanyakan adalah tanaman kayu, tanaman buah atau tanaman industri lainnya.

Tabel 5. Produktivitas Tanaman di Kawasan Karst Gunungsewu

Seasonal Crops	Productivity	Perennial Crops	Productivity
Rain-fed rice	59.4	Coconut	55.0
Maize	144.0	Clove	2.0
Cassava	477.1	Cashew nut	6.23
Ground nut	16.1	<i>Gnetum gnemon</i>	10.9
Soybean	223	Coffee	3.1

Sumber: Dinas Pertanian Kabupaten Wonogiri (2004)

Kedua jenis pemanfaatan lahan tersebut terkait dengan kehidupan petani mandiri. Beberapa tanaman musiman dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, sedangkan beberapa tanaman tahunan berfungsi sebagai tabungan. Tanaman tahunan terutama tanaman kayu dipanen saat para petani membutuhkan pengeluaran ekstra seperti membayar biaya pendidikan anak-anak mereka dan biaya kecelakaan lainnya. Selain tanaman kayu, petani biasanya juga memiliki kastil dari dua atau lebih sapi untuk penghematan yang berbeda.

Keterbatasan produktivitas yang ada, menyebabkan masyarakat di kawasan karst Gunungsewu seringkali memanfaatkan lahan yang kurang sesuai untuk pertanian sebagai lahan pertanian, misalnya pada lereng perbukitan. Masyarakat membuat teras-teras yang dibuat dengan menata batu gamping untuk mencegah terjadinya erosi (Gambar 5). Namun demikian, erosi yang terjadi tetaplah besar. Penelitian yang dilakukan oleh Lestariningsih dkk. (2013) menyebutkan bahwa pola yang demikian telah menyebabkan terlampaunya daya dukung lingkungan di kawasan Karst Gunungsewu. Lebih lanjut, Lestariningsih dkk. (2013) menyebutkan bahwa nilai tekanan penduduk terhadap lahan di kawasan Karst Gunungkidul adalah sebesar 3,51 dan 3,08 (daya dukung lingkungan tidak terlampaui jika nilai tekanan penduduk kurang dari 1,00).

Gambar 5. Teras yang Dibuat pada Lereng Kerucut Karst untuk Mencegah Erosi pada Lahan Pertanian
(Haryono, 2011)

V. Hidrologi dan Sumberdaya Air Kawasan Karst Gunungsewu

Suhu udara di kawasan Karst Kabupaten Gunungkidul berkisar antara 24,4 °C sampai dengan 27,5 °C (Tabel 6). Suhu terendah terjadi pada bulan Juni sampai dengan Agustus, di mana matahari berada di utara khatulistiwa, dan suhu terpanas terjadi pada bulan November dan Desember di mana matahari berada di selatan khatulistiwa. Rata-rata suhu udara tahunan adalah antara 23,1 °C sampai dengan 24,7 °C.

Tabel 6. Produktivitas Tanaman di Kawasan Karst Gunungsewu

No	Kecamatan	Suhu (°C)											Rata-rata
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Okt	Nov	Des	
1	Panggang	25,3	25,3	25,0	25,7	25,8	25,0	24,6	24,5	26,1	25,8	25,4	23,2
2	Saptosari	26,3	26,2	25,4	26,4	26,5	25,7	25,3	25,2	26,7	26,4	26,0	23,8
3	Tepus	26,5	26,5	25,6	27,1	27,5	26,7	26,3	26,2	27,4	27,0	26,7	24,5
4	Paliyan	26,3	26,2	25,9	26,9	26,8	26,0	25,6	25,5	27,2	26,9	26,5	24,2
6	Playen	25,7	25,5	25,2	26,2	26,4	25,6	25,1	25,0	26,6	26,3	25,9	23,6
10	Ponjong	25,3	25,6	24,9	25,8	25,7	24,9	24,5	24,4	26,2	26,0	25,5	23,2
12	Semanu	25,9	25,9	25,6	25,8	25,8	24,9	24,5	24,4	26,9	26,6	26,2	23,5
13	Rongkop	25,4	25,2	25,0	25,7	25,7	24,9	24,5	24,4	26,0	25,7	25,3	23,2
15	Wonosari	26,3	26,3	26,0	26,5	26,1	25,2	24,8	24,7	26,9	26,6	26,2	23,8
16	Purwosari	24,9	24,8	24,5	25,8	25,8	25,0	24,6	24,5	26,1	25,8	25,4	23,1
17	Tanjungsari	26,9	26,8	26,5	27,6	27,5	26,7	26,3	26,2	27,8	27,5	27,1	24,7
18	Girisubo	26,1	25,9	25,3	26,5	26,5	25,7	25,3	25,2	26,8	26,5	26,1	23,8

Sumber: Sudarmadji dkk. (2012)

Suhu udara semakin tinggi pada wilayah-wilayah yang berada di sekitar pantai, misalnya Kecamatan Tanjungsari dan Tepus. Selain itu, suhu di Kabuapten Gunungkidul menurut Sudarmadji dkk. (2012) terus mengalami fluktuasi, tetapi memiliki kecenderungan yang semakin naik (Gambar 6). Kondisi menunjukkan adanya pengaruh yang disebabkan oleh pemanasan secara global, yang pada akhirnya juga akan mempengaruhi kondisi iklim.

Gambar 6. Kecenderungan Suhu Udara Rata-Rata di Kabupaten Gunungkidul Tahun 1976-2005
(Sudarmadji dkk., 2012)

Curah hujan bulanan rata-rata tahunan di Kabupaten Gunungkidul secara umum berkisar antara 1.175 mm/tahun sampai dengan 2.375 mm/tahun (Gambar 7). Curah hujan tertinggi berada di sisi barat laut dan curah hujan terendah berada di sisi timur laut. Curah hujan rata-rata di kawasan karst di Kabupaten Gunungkidul berada pada kisaran 1.625 mm/tahun sampai dengan 2.125 mm/tahun. Secara umum hujan di wilayah barat lebih tinggi karena keberadaan patahan yang menjadi barrier bagi uap air yang bertiup dari arah barat laut saat angin muson barat berhembus.

Gambar 7. Peta Curah Hujan Wilayah di Kabupaten Gunungkidul

VI. Sistem Hidrogeologi Gunungsewu

Kondisi hidrologi kawasan karst Gunungsewu secara umum tidak jauh berbeda dengan kawasan karst umumnya. Sistem aliran air utama adalah melalui saluran yang membentuk jaringan sungai bawah tanah. Sistem utama dan sistem sungai bawah tanah yang dieksplorasi dengan sangat baik adalah sistem Bribin-Baron dan Seropan. Akuifer kawasan karst ditandai oleh porositas sekunder yang diatur oleh pembesaran lorong-lorong hasil proses pelarutan. Namun demikian, variasi secara lokal masih dapat dibedakan berdasarkan pada struktur geologi dan variasi litologi. Haryono (2000) mengemukakan bahwa porositas zona epikarst karst Gunungsewu bervariasi di beberapa wilayah. *Chalky limestone* dan *mudstone* memiliki porositas sekunder yang lebih rendah dibandingkan dengan batu gamping terumbu keras. Distribusi porositas pada lapisan epikarst di kawasan Karst Gunungsewu ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Distribusi Porositas pada Zona Epikarst di tiga kawasan Kawasan Karst Gunungsewu

Sample Area	Characteristics	Porosity		
		Rocks	Solutionally Cavities	Infilled Material
Polygonal karst of Panggang	Coralline limestone, hard and shallow, severe karren and secondary porosity, springs abundant	1.1-14.0	22-52	40.-58.9
Labyrinth karst of Paliyan and Tanjungsari	Deep and hard coralline limestone, well-developed karren and secondary porosity, intensive surface dry valley, few springs are found.	13.-16.6	22-52	36.6-40.2
Residual cone karst of Bedoyo	Bedded limestone, soft and deep, karren dos not develop well, planation is extensive, and springs are rare.	23.1-48.2	< 10	20.6-31.9

Sumber: Haryono (2000)

Imbuhan allogenis dari sungai permukaan yang memiliki daerah tangkapan di luar kawasan karst serta imbuhan secara autogenik melalui ponor juga tersebar luas di kawasan Karst Gunungsewu. Imbuhan berupa titik sebagian besar berasal berupa ponor yang merupakan saluran pengeringan suatu depresi tertutup di kawasan karst yang terjadi selama musim hujan. Biasanya tidak terjadi limpasan permukaan pada musim kemarau pada jenis imbuhan ini. Imbuhan dari ponor dapat diamati melalui sedimen terlarut yang nampak pada aliran mataair dan sungai bawah tanah yang terjadi setelah terjadi hujan. Mataair utama di kawasan Karst Gunungsewu mengandung muatan tersuspensi dalam jumlah yang tinggi, sehingga menyebabkan warna kecoklatan pada aliran air setelah terjadi hujan. Wawancara dengan penduduk setempat menunjukkan bahwa umumnya aliran air akan kembali jernih kembali dalam waktu paling tidak dua hari, kecuali ada hujan deras berturut-turut. Mataair kecil dengan debit kurang dari 5 lt / s biasanya kurang terpengaruh oleh imbuhan yang berasal dari ponor, sehingga mengalirkan air yang jernih sepanjang tahun. Suryanta (2001) menemukan bahwa imbuhan autogenik melalui ponor di Sungai Bawah Tanah (SBT) Bribin merespon dalam waktu sekitar empat jam. Fakta ini menunjukkan bahwa imbuhan autogenik melalui ponor hanya memberi kontribusi persentase kecil pada airtanah di SBT Bribin, sedangkan yang memberikan kontribusi yang besar adalah perkolasi air melalui akuifer difus dan fissure.

Gunungsewu Karst dapat dibagi menjadi lima unit Hidrogeologi (Gambar 8), yaitu (1) Sub sistem Panggang; (2) Sub-sistem Bribin-Baron-Seropan, (3) Sub-sistem Ponjong, (4) Sub Sistem Pracimantoro dan Giritontro dan (5) Sub-Sistem Donorojo-Pringkuku. Sub-sistem Panggang terletak di bagian paling barat kawasan Karst Gunungsewu yang ditandai oleh batuan sedimen vulkano klastik mendatar yang dangkal. Batuan dasar ini bisa diamati di sepanjang tebing di perbatasan barat dan utara kawasan Karst Gunungsewu dengan graben Bantul. Aliran airtanah secara umum di daerah tersebut cenderung ke arah utara-barat, karena sebagian besar mataair muncul di bagian utara dan barat daerah tersebut. Namun demikian, airtanah yang mengalir ke selatan juga diamati dengan jumlah yang lebih sedikit, misalnya pada sungai bawah

tanah yang muncul di Pantai Bekah. Sekitar 20 mataair ditemukan di sepanjang utara dan daerah barat daerah karst dengan debit kecil sampai dengan besar.

Gambar 8. Satuan Hidrogeologi Kawasan Karst Gunungsewu (Haryono, 2011)

Sub-sistem Bribin-Baron-Ngobaran dieksplorasi secara komprehensif pertama kali oleh MacDonald and Partners (1984), dan yang terakhir dipelajari oleh Kusumayuda (2005). Daerah imbuhan sistem ini tidak hanya mencakup daerah karst tetapi juga daerah endapan vulkano klastik di Pegunungan Panggung Masif dan batuan gamping berlapis di Basin Wonosari. Sistem sungai bawah tanah Bribin-Baron mengalir ke arah barat daya dan muncul di Pantai Baron, sedangkan sistem Ngobaran muncul di Pantai Ngobaran. Sejumlah 10 mataair ditemukan di daerah ini, di mana debit tinggi ditemukan di Ngobaran (180 lt / s), Baron (8.200 lt / s), Sili (50 lt / s) dan Sundak (200 lt / s). Aliran dari sistem imbuhan alogenik dalam sub sistem ini disajikan pada Tabel 8. Di antara daerah aliran sungai tersebut, Sungai Tegoan-Sumurup mencakup wilayah terbesar di Basin Wonosari.

Tabel 8. Distribusi Porositas pada Zona Epikarst di tiga kawasan Kawasan Karst Gunungsewu

No	Surface river	Recharge area
1.	Tegoan-Sumurup	Wonosari depression, caprock is bedded limestone of Wonosari Formation the larges
2.	Suci	Wonosari depression, caprock is bedded limestone of Wonosari Formation
3.	Semuluh	Foot slope of karst hills, bedded limestone of Wonosari Formation
4.	Petung	Panggung massive, sediment of volcanic origin (breccias, tuff of Semilir and Nglangran Formation)

Sumber: Haryono (2011)

Sub-sistem Ponjong ditandai oleh mata air sepanjang garis patahan sesar berarah utara-selatan yang memisahkan daerah karst dengan bagian timur Cekungan Wonosari. Pelepasan mataair sangat tinggi, di mana saat ini mataair tersebut digunakan untuk keperluan irigasi. Sawah ditemukan tersebar luas di wilayah ini. Sejumlah 9 mata air ditemui di wilayah ini, di mana lima di antaranya adalah Mataair Beton (100,9 lt / s), Gremeng (1.870 lt / s), Bendungan (326,5 lt / s), Gedaren (27,6 lt / s), dan Ponjong (40,6 lt / s). Aliran airtanah di wilayah ini menuju ke Cekungan Wonosari dengan arah kemunculan barat daya. Sama seperti sub sistem sebelumnya, permukaan freatik di sub-sistem ini tidak diketahui.

Sub sistem Pracimantoro-Giritontro sangat berbeda dibandingkan dengan bagian lain dari Gunungsewu karst, di mana sebagian besar mataair muncul di sisi utara daerah karst yang mengalir ke Baturetno Basin. Fenomena ini kontras dengan Cekungan Wonosari di mana air permukaan cekungan umumnya mengalir ke selatan ke Kawasan Karst Gunungsewu. Observasi lapangan oleh penulis menemukan bahwa keberadaan mataair di subsistem ini dikendalikan oleh kemiringan batu gamping berlapis. Kemiringan dip secara umum di wilayah ini umumnya menuju ke Baturetno Basin. Sejumlah 42 mata air dapat diamati di wilayah ini, antara lain yang memiliki debit lebih dari 10 lt/dtk adalah Mataair Tempur, Banyumetu, Suci, Beji, Karangpulo, Kalisoco, Kedung Maling, Dung Sumber, dan Luweng Sapi.

Sub-sistem Donorojo-Pringkuku menunjukkan aliran airtanah selatan secara keseluruhan, meskipun secara rinci dikendalikan oleh sistem *joint-fault* berarah timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Airtanah secara bertahap semakin dalam ke selatan dan memasuki inti wilayah yang terkarstifikasi. Secara umum batuan dari batuan gamping di sub sistem ini lebih dangkal daripada di bagian tengah kawasan Karst Gunungsewu. Fenomena ini mengakibatkan muka airtanah yang dangkal di mana di beberapa daerah muncul sebagai sumber mataair sungai. Imbuhan allogenic di sub-sistem ini juga bisa dikenali, namun sebagian

besar berupa permukaan sungai. Sungai utama di daerah ini adalah Sungai Kladen (Baksoka) di mana hulu terdiri dari batuan vulkanik.

Analisis kualitas air di Gunungsewu Karst umumnya menunjukkan kualitas yang baik untuk persediaan air (MacDonald and Partner, 1984; Haryono *et al.*, 2000; Sudarmadji *et al.*, 2005). Konduktivitas listrik (EC) dari sebagian besar air menunjukkan kondisi yang sangat baik di bawah baku mutu yang diizinkan dalam air minum berdasarkan pada ketentuan dari WHO. Pengukuran SEC dari 32 mataair dan di bawah sungai tanah Kabupaten Gunungkidul bervariasi antara 197 $\mu\text{S} / \text{cm}$ dan 559 $\mu\text{S}/\text{cm}$. EC yang lebih tinggi hanya ditemui di mataair yang muncul di garis pantai. Sampel air dari Telaga menunjukkan rentang yang luas, di mana nilai EC bervariasi antara 186 $\mu\text{S} / \text{cm}$ dan 988 $\mu\text{S} / \text{cm}$. Nilai tinggi menunjukkan konsentrasi air yang menguapkan saat telaga mengering.

Pengukuran sedimen suspensi menunjukkan rentang yang besar, bergantung pada musim dan jenis akuifer dari wilayah tangkapan air dari mataair. Kandungan sedimen tersuspensi tertinggi ditemui di musim hujan, terutama di mataair dengan sistem konduit. Mataair Baron menjadi mataair dengan sedimen tersuspensi tertinggi di musim hujan. Sedimen tersuspensi yang tinggi disebabkan karena mataair ini memiliki wilayah imbuhan dari sistem allogenis seperti Kali Tegoan, Kali Suci, dan Kali Petung. Selain itu, Haryono (2000) menemukan bahwa sebagian besar mataair karst bersih tanpa sedimen tersuspensi yang signifikan apabila tidak memiliki tangkapan berupa allogenis dan ponor dalam jumlah yang banyak.

Bahan organik di dalam air seperti yang ditunjukkan oleh organic fluorescence di kawasan karst Gunungkidul juga mengisyaratkan kualitas air yang baik. Pengukuran yang dilakukan oleh MacDonald and Partner (1984) menunjukkan bahwa ada sedikit perbedaan di antara sampel air, yang umumnya memiliki kadar organik rendah. Hanya 2 sampel dari 29 yang terkontaminasi bakteri coliform. Lebih dari setengah jumlah sampel ini berkualitas baik, memiliki jumlah coliform total di bawah baku mutu. Analisis kualitas air mataair lainnya di daerah karst Ponjong dilakukan oleh Haryono dkk. (2000) di mana bakteri coliform juga ditemukan pada dua sampel pada 11 sampel. Namun airnya tetap dianggap air yang menguntungkan (kategori B/ bisa diminum setelah direbus). Perbandingan antara analisis yang dilakukan pada tahun 1984 dan analisis terbaru menunjukkan peningkatan konsentrasi bakteri coliform. Sudarmadji dkk. (2005) mengungkapkan bahwa penghitungan bakteri coliform juga bergantung pada musim. Konsentrasi bakteri Coliform yang lebih tinggi selama musim hujan mencapai konsentrasi > 2.400 MPN/100 ml. Karakteristik kimia air di kawasan karst Gunungsewu dari beberapa macam sumber disajikan dalam Gambar 9.

Kondisi berbeda nampak pada air Telaga, di mana hasil kajian menunjukkan kandungan bakteri coliform (fecal coli) yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan kontaminasi oleh feses yang berlebihan dengan hanya 2 dari 10 sampel yang dapat diterima untuk pasokan air bersih. Penelitian Cahyadi (2016) menunjukkan telaga-telaga di Kecamatan Semanu Kabupaten

Gunungkidul tidak dapat diandalkan lagi pada musim kemarau. Selain karena kualitas air telaga semakin buruk, sudah tidak ada lagi telaga di wilayah tersebut yang masih menyimpan air di musim kemarau. Masyarakat sudah menggunakan air dari sistem jaringan air bersih yang disediakan oleh pemerintah. Hal ini berakibat pada pemanfaatan telaga yang lebih banyak digunakan untuk pemenuhan kebutuhan air selain minum, misalnya pertanian, perikanan, mencuci, peternakan termasuk di dalamnya untuk memandikan ternak.

Gambar 9. Karakteristik Hidrokimia Air di Kawasan Karst Gunungsewu yang Disajikan dalam Diagram Piper (Eiche et al., 2016)

VII. Stop Site Field Trip PAAI 2017

a. Mataair Petoyan, Purwosari, Gunungkidul

Mataair Petoyan (Gambar 10) atau sebagian orang mengenalnya dengan Mataair Ngeleng, merupakan mataair karst yang terletak di Kecamatan Purwosari, Kabupaten

Gunungkidul (Gambar 11). Sistem ini merupakan bagian dari sub sistem hidrogeologi Panggang. Berbeda dengan kemunculan mataair pada umumnya pada sub sistmen ini, mataair ini tidak muncul pada batas formasi atau pada patahan Graben Bantul, tetapi muncul di tengah-tengah kawasan Karst Gunungsewu di sub sistem Panggang.

Gambar 10. Mataair Petoyan di Purwosari, Gunungkidul (Foto oleh Igor Yoga Bachtiar)

Gambar 11. Peta Lokasi Mataair Petoan (Adji et al., 2016)

Mataair ini merupakan mataair epikarst yang ditandai dengan debit yang kecil dan besarnya peranan aliran difuse (aliran pada akuifer karst yang melalui media antar butir) pada aliran (Tabel 9). Besaran persentase aliran difuse adalah antara 79,84% sampai dengan 81,78% dari total aliran dari mataair Petoan. Hal ini menunjukkan bahwa peran epikarst sebagai tendon air pada wilayah tangkapan mataair ini sangat penting.

Debit mataair yang meningkat cepat pasca hujan dengan kondisi sedikit keruh menunjukkan adanya imbuhan sistem autogenik yang masuk melalui ponor. Hasil analisis data hidrograf banjir yang terjadi pasca hujan menunjukkan persentasi aliran difuse cenderung berkurang. Rentang persentase aliran difuse pada kondisi banjir adalah antara 15,19% sampai dengan 63,50% dari total aliran saat banjir (Tabel 10).

Tabel 9. Rata-rata Proporsi Aliran Difuse pada Aliran di Mataair Petoyan

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)

Tabel 10. Rata-rata Proporsi Aliran Difuse pada Aliran di Mataair Petoyan

No.	Time	Peak discharge (liter/sec)	Diffuse flow proportion (%)
1	10/12/2012	44.14	15.19
2	21/12/2012	23.14	28.90
3	28/12/2012	24.66	30.20
4	31/12/2012	48.49	26.13
5	7/1/2013	18.03	40.79
6	19/1/2013	15.48	56.11
7	3/2/2013	24.56	35.53
8	12/2/2013	12.08	53.78
9	19/3/2013	12.07	59.84
10	29/3/2013	7.53	63.50
11	18/4/2013	8.10	59.72
12	3/7/2013	14.16	47.30
13	9/7/2013	20.68	39.15
		Average	48.78

Sumber: Adji et al. (2016)

Karakteristik hidrogeokimia air pada mataair petoyan sangat terkait dengan musim, khususnya kejadian hujan. Pemantauan yang dilakukan oleh Adji et al. (2016) menunjukkan bahwa selain mempengaruhi proporsi aliran difuse, kejadian banjir. Saat debit aliran meningkat karena banjir, maka proporsi aliran difuse, daya hantar listrik, kandungan kalsium dan bikarbonat akan menurun. Hal ini terjadi karena terjadi pengenceran oleh air hujan (Gambar 12).

Gambar 12. Karakteristik Hidrokimia Aliran Air di Mataair Petoyan dan Kaitannya dengan Kejadian Banjir (Adji et al., 2016)

Gambar 14. Penampang Hidrogeologi sub Sistem Baron, mulai Cekungan Wonosari di Bagian Utara sampai dengan Pantai Baron di Bagian Selatan karst Gunungsewu (Notosiswoyo dan Kusumayudha, 1998)

Salah satu penyebab mataair Baron menjadi salah satu sungai bawah tanah utama di kawasan Karst Gunungsewu adalah karena batuan dasar di sub sistem mengalami penurunan (Gambar 15), dan membentuk graben. Kondisi ini memungkinkan perkembangan sungai bawah tanah dengan kedalaman yang lebih dari sub sistem yang lain, sehingga sungai bawah tanah di sekitarnya mengalir ke sub sistem hidrogeologi ini.

Gambar 15. Penurunan pada Batuan Dasar di Sub Sitem Baron (Kusumayudha, 2005)

c. Lembah Mulo (Ngingrong), Wonosari, Gunungkidul

Lembah mulo (Gambar 16) merupakan salah satu geosite yang ada di kawasan geopark Karst Gunungsewu. Lokasi ini merupakan *sinking stream* yang menghubungkan antara sungai permukaan dan sungai bawah tanah. Sifat aliran dari sungai permukaan adalah sungai ephemeral, yakni hanya mengalir setelah terjadi hujan. Hal ini menyebabkan debit pada sungai bawah tanah akan naik secara tiba-tiba dan memiliki kekeruhan serta polutan yang tinggi.

Gambar 16. Lembah Mulo (Foto oleh Ahmad Cahyadi)

Dasar lembah dari Lembah Mulo ini memiliki kedalaman sekitar 50 meter. Lembah ini terhubung dengan goa dengan lima level elevasi. Waltham *et al.* (1983) menyebutkan bahwa kolam air yang diperkirakan menjadi level sungai bawah tanah memiliki kedalaman lebih dari 100 meter dari permukaan (Gambar 17). Sistem ini diperkirakan juga memasok air menuju mataair Baron yang merupakan outlet terbesar dari sub Sistem Baron.

Gambar 17. Peta Goa di Lembah Mulo (Waltham et al., 1983)

d. Goa Seropan, Semanu, Gunungkidul

Goa Seropan merupakan salah satu entrance menuju sungai bawah tanah dengan debit yang relatif besar. Goa ini terletak di Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul. Goa Seropan terletak pada bagian tepi dari kawasan karst Gunungsewu yang berbatasan dengan Cekungan Wonosari. Gambar 18 menunjukkan bahwa Goa Seropan memiliki tiga lorong dengan arah yang berbeda. Lorong goa yang digunakan untuk masuk bersifat kering, sedangkan dua lorong yang lain merupakan bagian dari sungai bawah tanah dengan debit rata-rata sekitar 400 liter/detik.

Pelorongan yang terbentuk di Goa Seropan tergolong sudah berkembang. Akuifer yang terbentuk dipengaruhi oleh masukan air dari zona sesar di daerah hulu, dengan perkembangan jaringan saluran kecil (*diffuse-fissure*) yang cukup intensif dan sebagiannya bersifat terbuka dan sudah mempunyai sistem air freatik yang bersifat terbuka (Adji dkk., 2015). Hal ini nampak dari karakteristik hidrograf yang disajikan dalam Gambar 19. Meskipun memiliki lorong yang relatif berkembang, serta hidrograf yang mencerminkan debit banjir yang naik dengan waktu yang cepat, tetapi persentase dari aliran dasar pada aliran di musim penghujan tetaplah tinggi (>70%).

Gambar 18. Lorong Goa Seropan (Gambar Dibuat Oleh ASC)

Gambar 19. Karakteristik Hidrograf Sungai Bawah Tanah di Goa Seropan (Adji dkk., 2015)

Goa Seropan merupakan salah satu sumber air bersih yang digunakan untuk pemenuhan kebutuhan masyarakat, baik di kawasan Karst Gunungsewu ataupun di luar wilayah ini seperti pada Cekungan Wonosari. Tabel 11 menunjukkan bahwa sistem Seropan memiliki

peranan yang terbesar kedua dalam pemenuhan kebutuhan air bersih pada jaringan yang dikelola oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Gunungkidul. Sungai bawah tanah Seropan memasok kebutuhan air bersih untuk masyarakat di 134 dusun atau 21 desa, baik di kawasan karst ataupun di Cekungan Wonosari.

Tabel 11. Sistem Jaringan PDAM di Kabupaten Gunungkidul yang Dipasok dari Sungai Bawah Tanah dan Mataair Kawasan Karst Gunungsewu

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)

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T.N. 2013. Kondisi Daerah Tangkapan Sungai Bawah Tanah Karst Gunungsewu dan Kemungkinan Dampak Lingkungannya Terhadap Sumber daya Air (Hidrologis) Karena Aktivitas Manusia. 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.
- Adji, T.N.; Mujib, M.A.; Fatchurohman, H. dan Bachtiar, I.Y. 2015. Analisis Tingkat Perkembangan Akuifer Karst di Kawasan Karst Gunung Sewu, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Karst Rengel, Tuban, Jawa Timur Berdasarkan Analisis Hidrograf. *Pekan Ilmiah Tahunan Ikatan Geograf Indonesia*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- 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.
- Balazs, D. 1968. *Karst Regions in Indonesia: Karszt-Es Barlangkutatas*, Volume V. Budapest.
- Bastra, G.J. 1976. *Contribution to The Study of The Paleolithic Pacitan Culture, Java Indonesia*, Part I Proefschrift. Leiden: EJ Brill.

- Brahmantyo, B.; Puradimaja, D.J.; Bandonio and Sadisun, I.A. 1998. Interpretasi Kelurusan dari Citra SPOT dan Hubungannya dengan Pola Pengaliran Bawah Tanah pada Perbukitan Karst Gunungsewu, Jawa Tengah Bagian Selatan. *Buletin Geologi*, 28 (1): 37-49.
- Cahyadi, A. 2010. Pengelolaan Kawasan Karst dan Peranannya dalam Siklus Karbon di Indonesia. *Makalah dalam Seminar Nasional Perubahan Iklim di Indonesia*. 13 Oktober 2010. Sekolah Pasca Sarjana UGM Yogyakarta.
- 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.; Ayuningtyas, E.A.; dan Prabawa, B.A. 2013. Urgensi Pengelolaan Sanitasi dalam Upaya Konservasi Sumberdaya Air di Kawasan Karst Gunungsewu Kabupaten Gunungkidul. *Indonesian Journal of Conservation*, 2(1): 23-32.
- Cahyadi, A. 2014. Sumberdaya Lahan Kawasan Karst Gunungsewu. dalam Cahyadi, A.; Prabawa, B.A.; Tivianton, T.A.; Nugraha, H. (eds). 2014. *Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia*, Edisi 2. Yogyakarta: Deepublish.
- Cahyadi, A. 2014. Keunikan Hidrologi Kawasan Karst: Suatu Tinjauan. dalam Cahyadi, A.; Prabawa, B.A.; Tivianton, T.A.; Nugraha, H. (eds). 2014. *Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia*, Edisi 2. Yogyakarta: Deepublish.
- Cahyadi, A. 2016. Peran Telaga dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Kawasan Karst Gunungsewu Pasca Pembangunan Jaringan Air Bersih. *Geomedia*, 14(2): 23-33.
- 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.
- Flathe, H. and Pfeiffer, D. 1965. Grundzuge der morphologie, Geology und Hydrogeologie im Karstgebiet Gunung Sewu (Java, Indonesien). *Geologisches Jahrbuch*, 83: 533–562.
- Kusumayudha, S.B. 2005. *Hidrogeologi Karst dan Geometri Fraktal di Daerah Gunungsewu*. Yogyakarta: Adicita.
- Haryono E, 2000, Some Properties of Epikarst Drainage System in Gunung Kidul Regency, Yogyakarta Special Province, Indonesia. *The Indonesian Journal of Geography*, 32: 75-86.

- Haryono, E. and Day, M. 2004. Landform Differentiation Within The Gunung Kidul Kegelkarst, Java-Indonesia. *Journal of Cave and Karst Studies*, 66 (2): 56-63.
- Haryono, E.; Nurcahyo, A.D.; Gunawan, T.; Purwanto, H.P. 2005. Underground River Networks Modeling from Lineaments and Fracture Traces by Means of Remote Sensing and Geographic Information System, in Stevanovic, Z. and Milanovic, P. *Proceeding of International Conference 'Water Resources and Environmental Problems in Karst'*. Belgrade-Kotor: 569-574.
- 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.
- 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.
- Lehmann, H. 1936. Morphologische Studien auf Java. *Geographische Abhandlungen*, 3 (9): 1–114.
- 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.
- MacDonald and Partners. 1984. *Greater Yogyakarta Groundwater Study*, Volume 3C Cave Survey. Directorate General of Water Resources Development of the Republic of Indonesia.
- Marwanto, H.; Subandrio, A.; Riyanto, A.B.N. and Suharsono. 1999. *Study of The Trace of Ancient Solo River in The Southern Wonogiri, Central Java*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran'.
- Notosiswoyo, S. and Kusumayudha, S.B. 1998. Hydrogeology of The Gunungsewu Karstic Area, Central Java, Indonesia: A Conceptual Model. *Proceeding of Ninth Regional Congress on Geology, Mineral and Energy Resources of South East Asia*. Kuala Lumpur.
- Pannekoek, A.J. 1949. *Outline of The Geomorphology of Java*. Leiden: EJ Brill.
- PUSLITANAK. 1994. *Survei dan Pemetaan Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Pertanian, Rehabilitasi Lahan, dan Konservasi Tanah Daerah Istimewa Yogyakarta Skala 1:50.000*. Bogor: Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan.
- Rahardjo, W.; Sukandarrumidi; Rosidi, H.M.D. 1995. *Geological Map of The Yogyakarta Sheet, Java*. Bandung: Geological Research an Development Centre.

- Sudarmadji; Widyastuti, M. dan Haryono, E. 2005. Pengembangan Metode Konservasi Air Bawah Tanah Di Kawasan Karst Sistem Bribin-Baron, Kabupaten Gunungkidul. *Laporan Penelitian*. Yogyakarta: Univeristas Gadjah Mada.
- Sudarmadji; Suprayogi, S. dan Setiadi. 2012. *Konservasi Mata Air Berbasis Masyarakat di Kabupaten Gunungkidul untuk Mengantisipasi Dampak Perubahan Iklim*. Yogyakarta: Penerbit Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.
- Suratman; Suyono; Risyanto; Adji, T.N. 1997. Kajian Ekosistem Karst di Kabupaten Gunungkidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Laporan Penelitian*. Biro Bina Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Surono, B.T.; Sudarno, I. and Wiryosujono, S. 1992,. *Geology of the Surakarta-Giritontro Quadrangles, Java*, scale 1:100,000. Bandung: Geological Research and Development Center.
- Suryono, T. 2006. Pengelolaan Sumber Air Bawah Tanah Sungai Bribin. *Gunungsewu Indonesian Cave and Karst Journal*, 2(1): 37-52.
- Sutoyo. 1984. Sikuen Stratigrafi Karbonat Gunungsewu, dalam Busono, I.; Syarifudin, N.; Alam H. (eds), *Proceedings pertemuan ilmiah tahunan IAGI ke-23*.
- Tjia. H.D. 2013. Morphostructural Development of Gunungsewu Karst, Jawa Island. *Indonesian Journal of Geology*, 8(2): 75-88.
- Toha, B. and Barianto, D.H. 2015. *Geological Excursion Guide Book*. Field Trip of Petroleum System and Carbonate Reservoir. Yogyakarta: Department of Geological Engineering, Universitas Gadjah Mada.
- Urushibara, Y.K. and Yoshino, M. 1997. Palaeoenvironmental Change in Java Island and Its Surrounding Areas. *Journal of Quaternary Science*, 12(5): 435–442.
- van Bemmelen, R.W. 1970. *The Geology of Indonesia*, Volume 1A, General Geology. The Hague: Martinus Nijhoff.
- Waltham, A.C.; Smart, P.L.; Friederich, H.; Eavis, A.J. and Atkinson, T.C. 1983. The Caves of Gunung Sewu, Java. *Cave Science*, 10(2): 55–96.

Kelompok Studi Karst
Fakultas Geografi UGM