



Dampak Siklon Tropis Savannah pada Karst window Kalinongko, Karst Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul, Indonesia

Indra Agus Riyanto^{*1}, Ahmad Cahyadi², Fajri Ramadhan³, Muhammad Naufal⁴,
 Margaretha Widyastuti⁵, Tjahyo Nugroho Adji⁶

^{1,2,3,4,5,6}Kelompok Studi Karst, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

¹ Magister Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai (MPPDAS), Universitas Gadjah Mada

^{2,3,4,5,6} Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Article Info

Article History

Dikirim 11 Oktober 2020
 Diterima 10 Januari 2020
 Terbit 30 Januari 2020

Keywords:

savannah tropical cyclone;
 groundwater flooding;
 karst gunungsewu

siklon tropis savannah;
 banjir airtanah;
 karst gunungsewu

Abstrak

Siklon Tropis Savannah melewati Daerah Istimewa Yogyakarta pada tanggal 17 Maret 2019. Curah hujan yang disebabkan oleh Siklon Tropis Savannah terekam pada stasiun Geofisika badan meteorologi, klimatologi dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta sebesar 170,6 mm/hari dan terekam pada Stasiun Cuaca Guntur milik Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada sebesar 78,3 mm/hari. Curah hujan menunjukkan bahwa siklon tropis ini menyebabkan terjadinya hujan ekstrim. Siklon Tropis Savannah menyebabkan bencana banjir di beberapa wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta salah satunya terjadi di Karst window Kalinongko, Kawasan Karst Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul. Karst window Kalinongko terdampak banjir dari meluapnya sungai bawah tanah. Proses terjadinya banjir di Karst window Kalinongko disebabkan oleh aliran air yang melebihi kapasitas pengaliran dari lorong konduit pada sungai bawah tanah. Sistem konduit yang penuh kemudian meluap ke permukaan dan menggenang pada bagian dolin di sekitar Karst window Kalinongko. Waktu surut banjir airtanah di Karst window Kalinongko adalah selama 10 hari. Banjir Siklon Tropis Savannah yang menggenang memiliki volume sebesar 4.894.258 m³, luasan area terdampak seluas 13.723 m², dan ketinggian genangan 6 meter. Dampak genangan banjir airtanah yang disebabkan Siklon Tropis Savannah di Karst window Kalinongko merendam lahan sawah seluas 10.586 m² dan perkebunan seluas 3.137 m².

Abstract

Savannah Tropical Cyclone passes through the Special Region of Yogyakarta on March 17, 2019. Rainfall caused by Savannah Tropical Cyclone was recorded at the Geophysics Station of the Meteorological, Climatology and Geophysics (BMKG) Yogyakarta body of 170.6 mm/day and recorded at the Guntur Weather Station belonging to the Yogyakarta Karst Study of the Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada at 78.3 mm/day. Rainfall indicates that this tropical cyclone causes extreme rain. The Savannah Tropical Cyclone caused flooding in several regions of the Special Region of Yogyakarta, one of which occurred in the Kalinongko Karst window, Gunungsewu Karst Area, Gunungkidul Regency. Kalinongko Karst window affected by flooding from the overflow of underground rivers (groundwater flooding). The process of flooding in the Kalinongko Karst window is caused by the flow of water that exceeds the drainage capacity of the conduit tunnel in the underground river. The full conduit system then overflows to the surface and puddles on the doline section around the Kalinongko Karst window. The receding time for groundwater flooding in the Kalinongko Karst window is 10 days. The Savannah Tropical Cyclone flood that inundated had a volume of 4,894,258 m³, an area of the affected area of 13,723 m², and a height of inundation of 6 meters. The impact of groundwater flooding caused by the Savannah Tropical Cyclone in Kalinongko Karst window submerged 10,586 m² of paddy fields and 3,137 m² of plantations.

© 2019 The Authors. Published by UNNES. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* E-mail : indra.agus.r@gmail.com; adji@geo.ugm.ac.id
 Address : Jl. Kaliurang, Skip Utara, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

PENDAHULUAN

Siklon Tropis Savannah yang terjadi pada tanggal 17 Maret 2019 di Provinsi DI Yogyakarta dan Jawa Tengah bagian selatan. Siklon ini menyebabkan terjadinya hujan dengan intensitas tinggi. Siklon ini menyebabkan terjadinya banjir dan tanah longsor di wilayah Propinsi DIY. Banjir paling banyak terjadi di Kabupaten Gunungkidul dan Kabupaten Bantul yang tersebar di 10 kecamatan (Tabel 1). Kejadian longsor paling banyak terjadi di Kabupaten Kulon Progo yang tersebar di 26 lokasi. Dampak Siklon ini juga menimbulkan korban jiwa di Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul sejumlah 5 orang. Siklon ini juga menyebabkan terjadi kerusakan infrastruktur dan fasilitas umum akibat pohon tumbang di wilayah DI Yogyakarta. Siklon Tropis Savannah.

Tabel 1. Dampak Siklon Tropis Savannah di Provinsi DI Yogyakarta

Kabupaten/Kota	Banjir	Longsor	Pohon Tumbang	Korban Jiwa
Kulon Progo	6	26 Lokasi	10 Lokasi	0
Bantul	10 Kecamatan	24 Lokasi	17 Lokasi	5
Sleman	1 Kecamatan	4 Lokasi	2 Lokasi	0
Gunungkidul	10 Kecamatan	1 Lokasi	2 Lokasi	0
Yogyakarta	1 Kecamatan	1 Lokasi	1 Lokasi	0
Total	28 Kecamatan	56 Lokasi	32 Lokasi	5

Sumber: Cahyadi *et al.* (2019).

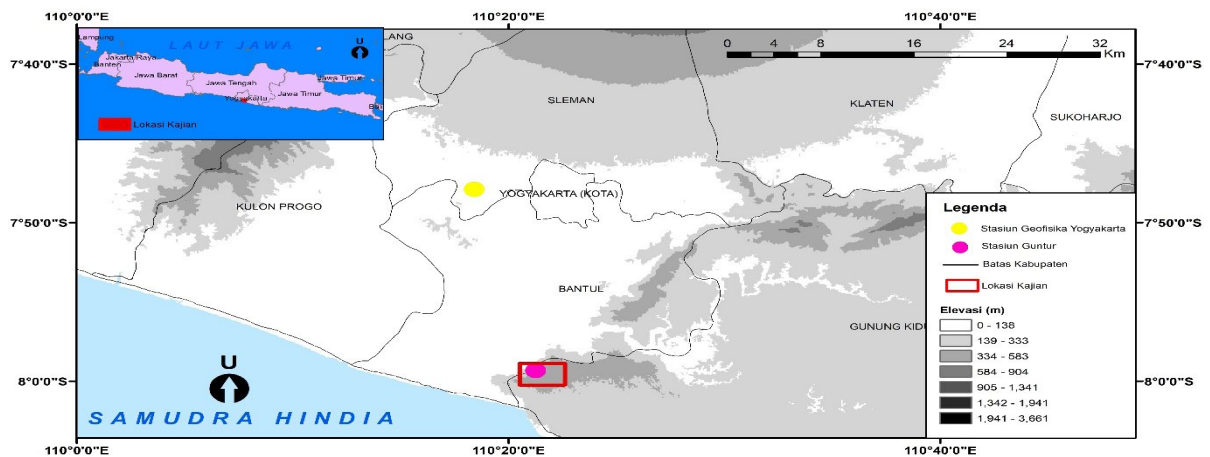
Kabupaten Gunungkidul mengalami bencana banjir pada saat terjadinya Siklon Tropis Savannah tersebar di 10 Kecamatan. Kecamatan Purwosari merupakan salah satu kecamatan yang terdampak banjir saat Siklon. Dampak di Keca-

matan Purwosari salah satunya dapat di jumpai di *Karst window* Kalinongko di Desa Girijati Dusun Dringgo (Gambar 1). Banjir Siklon Tropis Savannah menggenang pada dolin. Dolin adalah bentuk geomorfologi khas kawasan karst yang berupa lembah/cekungan tertutup dengan saluran drainase berupa lubang pelarutan yang menghubungkannya dengan sistem sungai bawah tanah (EPA, 2002).

Tujuan pertama dari penelitian ini adalah mengetahui mekanisme terjadinya banjir di *Karst window* Kalinongko. Tujuan penelitian yang kedua adalah menghitung volum banjir dan ketinggian banjir Siklon Tropis Savannah di *Karst window* Kalinongko. Tujuan ketiga adalah mengetahui luasan area terdampak banjir Siklon Tropis Savannah di *Karst window* Kalinongko.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran dan pengamatan lapangan sebelum siklon, saat siklon, dan pasca siklon. Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa *Drone Phantom 4, Logger Hobo U20L-04 13 feet, Global Positioning System (GPS) Receiver Garmin 64 SEA*, Kamera, *Software Agisoft Version 1.5*, dan *Arc GIS 10.3*. Kegiatan lapangan yang dilakukan sebelum terjadinya siklon adalah foto udara dengan menggunakan drone. Foto udara yang dilakukan untuk memperoleh *orthophoto* penggunaan lahan *existing* dan data *digital elevation model (DEM)* (Gambar 2). Data mentah foto udara diolah menggunakan *Software Agisoft*, sehingga diperoleh mosaik penggunaan lahan dan data *Digital Elevation Model (DEM)* lokasi kajian.

Kegiatan lapangan yang dilakukan saat terjadi siklon adalah dokumentasi kejadian banjir dan dampak kejadian banjir menggunakan kamera. Kegiatan lapangan setelah kejadian siklon adalah *tracking* bekas kejadian banjir menggunakan GPS dan dokumentasi bekas banjir. Pengolahan luasan dan volum banjir akibat siklon dilakukan dengan



Gambar 1. Lokasi *karst window* kalinongko.metode penelitian

software Arc GIS. Tools yang digunakan untuk memperoleh volume dan luasan genangan pada Arc GIS adalah Polygon Volum 3D Analyst.

aliran air pada sistem karst, dan sistem geomorfologi karst lokasin kajian.

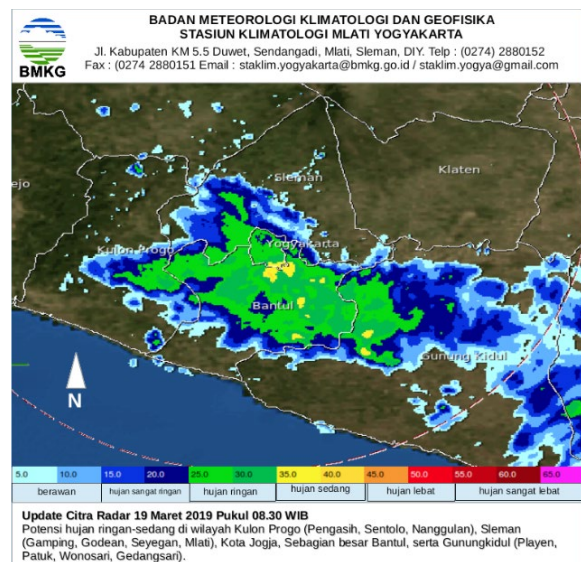
HASIL DAN PEMBAHASAN

Siklon Tropis Savannah terjadi mulai tanggal 16 Maret 2019 dengan puncak kejadian siklon pada tanggal 17 Maret 2019. Siklon Tropis Savannah meliputi keseluruhan wilayah DIY (Gambar 3 Kanan). Hasil pengukuran curah hujan BMKG dari stasiun Geofisika Yogyakarta diperoleh curah hujan pada tanggal 17 Maret 2019 sebesar 170,6 mm/ hari (Gambar 3 kiri). Hasil pengukuran lain di Stasiun Hujan Guntur diperoleh curah hujan sebesar 78,3 mm/hari. Klasifikasi hujan menurut BMKG diatas 100 mm/hari termasuk dalam kategori hujan sangat lebat. Rerata hujan bulanan saat musim penghujan dilokasi kajian berkisar 300 mm/bulan (Widyastuti, et al., 2019). Hujan yang terjadi selama Siklon Tropis Savannah dalam satu hari sama dengan setengah hujan bulanan di lokasi kajian saat musim penghujan.



Gambar 2. Pengambilan Foto Udara Sebelum Siklon Savannah pada tanggal 1 maret 2019.

Penjelasan proses genangan di lokasi kajian dianalisis berdasarkan karakteristik hidrogeologi karst lokasi kajian. Karakteristik hidrogeologi karst diperoleh dari perekaman data loger berupa data tinggi muka air yang dipasang pada mataair Guntur sebagai *resurgence* pada sistem Sungai Bawah Tanah Kalinongko, pengamatan lapangan, dan penelitian sebelumnya. Karakteristik banjir siklon diperoleh dari pengukuran loger berupa respon tinggi muka air dari datang banjir, puncak, dan surut. Pengamatan karakteristik siklon diperoleh dari perbandingan antara foto kenampakan sistem hidrogeologi lokasi kajian saat musim kemarau, penghujan, dan siklon. Karakteristik detail siklon dianalisis dari penelitian sebelumnya berupa tipe aliran karst, keterhubungan sistem karst, waktu tempuh



	ID WMO	: 96855
	Nama Stasiun	: Stasiun Geofisika Yogyakarta
	Lintang	: -7.82000
	Bujur	: 110.30000
	Elevasi	: 153
	Tanggal	RR
	17-03-2019	17.6
	18-03-2019	170.6
	19-03-2019	0
Keterangan :		
8888: data tidak terukur		
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)		
RR: Curah hujan (mm)		

Gambar 3. Curah Hujan Stasiun Geofisika Yogyakarta (Kiri) dan Sebaran Potensi Hujan dari Citra Radar BMKG saat terjadi Siklon Tropis Savannah (Kanan) (BMKG, 2019).



Gambar 4. Kondisi sekitar *Karst window* sebelum Siklon (kiri) dan saat Siklon (Kanan).

Hasil survei lapangan setelah Siklon Tropis Savannah 18 Maret 2019 diperoleh *Karst window* Kalinongko terendam banjir (Gambar 4 dan Gambar 5). Sumber banjir berasal dari Sungai Bawah Tanah Kalinongko yang meluap. Banjir yang terjadi mengikuti pola topografi karst yaitu sesuai dengan bentuklahan dolin. Hasil analisis luasan dan volum banjir diperoleh berdasarkan pengolahan data hasil pemotretan dengan wahana drone sebelum siklon dan data GPS *tracking* lapangan setelah banjir. *Tracking* lapangan yang dilakukan dengan plotting area terdampak banjir berdasarkan bekas banjir dari bekas lumpur dan daun/tanaman yang mati (Gambar 6).



Gambar 5. Kondisi banjir sekitar *Karst window* Arah Selatan (kiri) dan Arah Utara (Kanan).

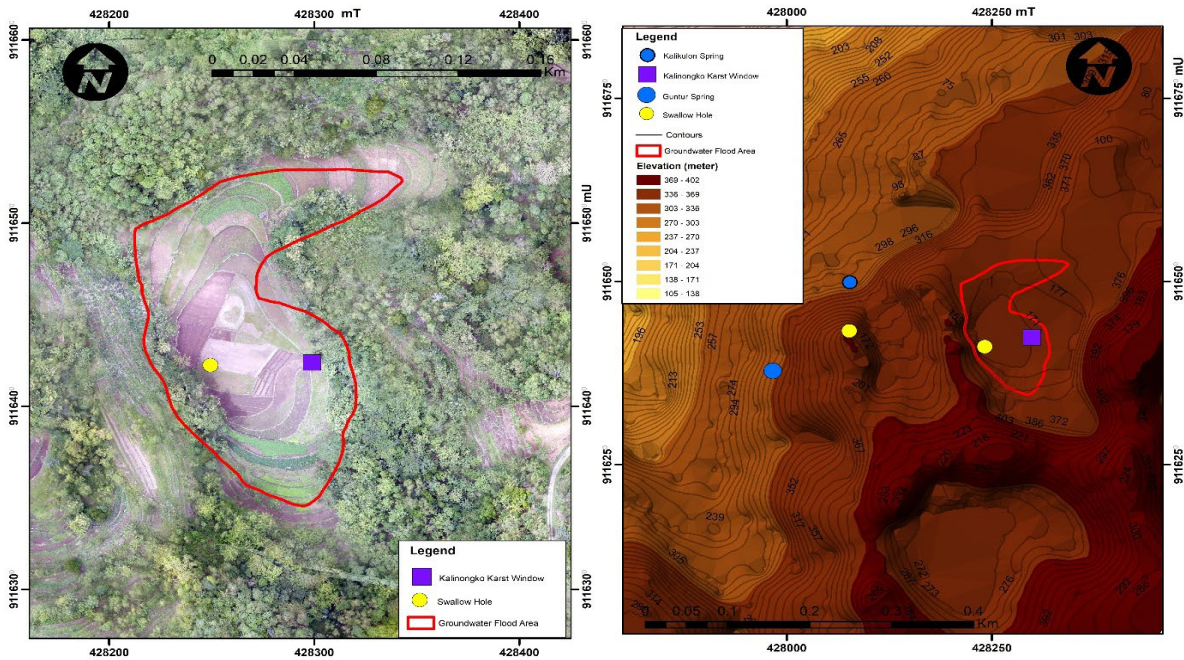
Ketinggian banjir akibat Siklon Tropis Savannah di sekitar *karst window* kalinongko adalah 6 meter. Dengan luasan banjir sebesar 13.723 m² (Gambar 7). Volume banjir hasil perhitungan *Polygon Volume (3D Analyst)* diperoleh nilai sebesar 4.894.258 m³. Penggunaan lahan yang terdampak banjir Siklon Tropis Savannah adalah sawah tadah hujan dan kebun. Luasan sawah tadah hujan yang terdampak seluas 10.586 m² dan luasan lahan kebun yang terdampak sebesar 3.137 m². Waktu yang diperlukan banjir hingga surut adalah 10 hari.



Gambar 6. Bekas Banjir Siklon Arah Barat (Atas) dan Arah Selatan (Bawah).

Pengamatan dampak Siklon Tropis Savannah dapat diamati dari kesatuan sistem hidrogeologi. Sistem Guntur *Catchment* terdiri atas mataair Guntur dan mataair Kalikulon (Widyastuti, *et al.*, 2019; Riyanto, 2019). Kedua mataair tersebut memiliki keterhubungan sistem konduit di Kawasan karst dengan *Underground River* kalinongko (Cahyadi, dkk., 2018a; Riyanto, 2019). Sistem konduit adalah sistem hidrologi airtanah dikawasan karst yang berupa lorong hasil pelarutan dengan ukuran diameter minimal 10 mm (Cahyadi, 2014; Cahyadi dan Agniy, 2016). Dampak dari keterhubungan sistem tersebut adalah terjadi perubahan karakteristik debit dan tinggi muka air mataair Guntur dan Kalikulon saat Siklon Tropis Savannah (Gambar 8). Perubahan kenampakan pemunculan dan aliran mataair Guntur dan Kalikulon terlihat sangat signifikan saat musim kemarau, penghujan, dan Siklon Tropis savannah.

Pengamatan tinggi muka yang terekam log-



Gambar 7. Hasil Foto Udara Berupa Orthofoto Penggunaan Lahan dan DEM.

ger di stasiun pengamatan Mataair Guntur menunjukkan perubahan tinggi muka air yang signifikan (Gambar 9). Perubahan tinggi ditunjukkan oleh grafik warna hijau mulai mengalami kenaikan pada tanggal 16 Maret 2019 dan mencapai puncak tertinggi pada tanggal 17 Maret 2019. Tinggi muka air Mataair Guntur mulai melandai dan surut pada tanggal 27 Maret 2019. Kondisi menurunnya tinggi mukaair Mataair Guntur diikuti dengan surutnya banjir genangan di *Karst window* Kalinongko. Waktu Surut genangan dan banjir Siklon Tropis Savannah di Mataair dan *Karst window* Kalinongko selama 10 hari. Ketinggian muka air dan debit saat Siklon Tropis Savannah merupakan nilai tertinggi dari seluruh pengamatan tinggi muka air dan debit di Mataair Guntur dari periode Desember 2017-Maret 2019 (Rahmawati, 2019; Naufal, *et al.*, 2019; Ramadhan, *dkk.*, 2019). Ketinggian tinggi muka air mataair Guntur saat siklon 57 cm dan pengukuran tertinggi sebelumnya sebesar 30 cm saat musim penghujan.

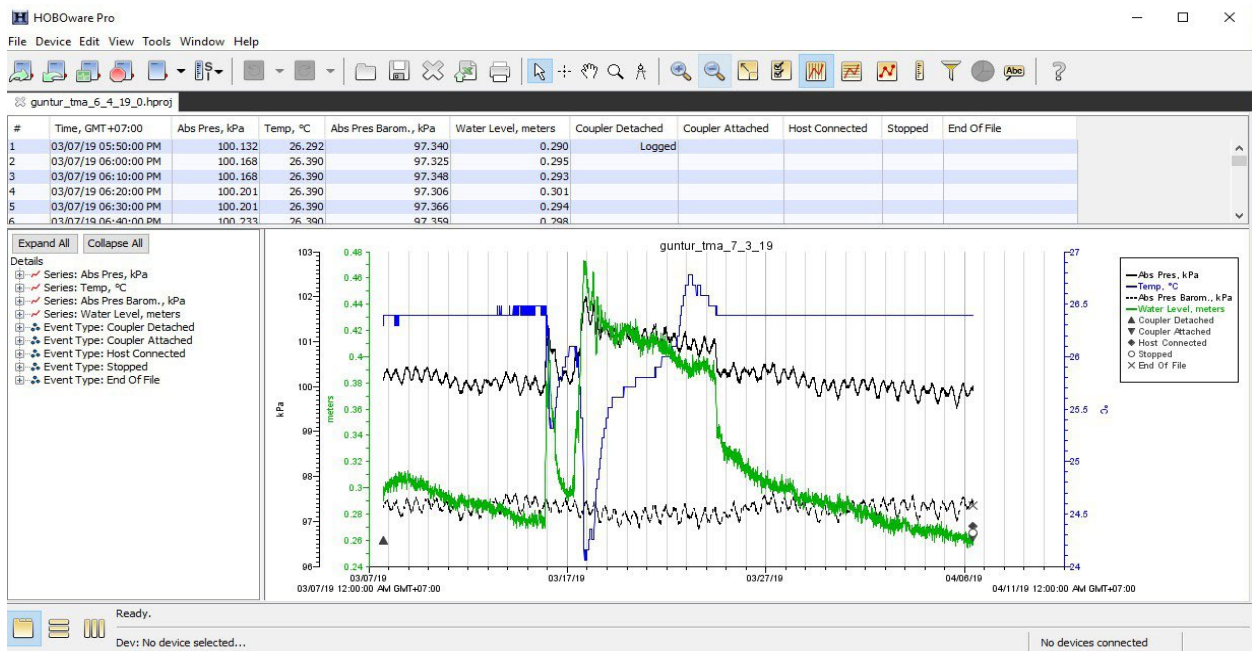
Proses terjadinya banjir Siklon Tropis Savannah di *Karst window* Kalinongko disebabkan oleh penuhnya lorong konduit dari sistem tangkapan Guntur dan diluar tangkapan Guntur (Gambar 10). Aliran airtanah dari luar daerah tangkapan guntur masuk ke sistem tangkapan guntur melalui sungai bawah tanah Kalinongko. Sistem konduit tangkapan Guntur sebelumnya sudah penuh terisi air dari proses *diffuse* bertemu dengan air yang masuk ke SBT Kalinongko sehingga menggenang keluar. Genangan meluas dan meninggi ke luar sungai bawah tanah hingga menuju permukaan. Genangan semakin meninggi di bentuklahan dolin

dan mengikuti pola topografi.



Gambar 8. Perubahan debit mataair Guntur (Atas) dan Kalikulon (Bawah) saat musim A (kemarau), B (penghujan), dan C (Siklon Tropis Savannah).

Air dari sistem conduit DTA Mataair Guntur tidak dapat meresap ke bawah karena terdapat lapisan impermeable berupa gamping endapan terpadatkan (*marly limestone*) (Cahyadi, *dkk.*, 2018a; Riyanto, *et al.*, 2019). Lapisan *impermeable* tersebut mengindikasikan bahwa sistem tersebut termasuk dalam karst yang belum berkembang (Haryono, 2000; Haryono and Day, 2004). Perbedaan banjir



Gambar 9. Hasil Perakaman Logger saat Siklon Tropis Savannah.

siklon yang terjadi pada Ngreneng Cave di tahun 2017 dengan *Karst window* Kalinongko adalah aliran sungai allogenis berpengaruh pada banjir di Ngreneng Cave (Cahyadi, *et al.*, 2018), sedangkan di Guntur tidak terdapat sistem alogenik (Cahyadi dkk., 2018b). Sungai alogenik adalah sistem sungai permukaan dari kawasan non karst yang mengimbuah airtanah di kawasan karst (EPA, 2002).

Proses penurunan genangan banjir Siklon Tropis Savannah di *Karst window* Kalinongko butuh waktu 10 hari karena sistem aliran yang dominan berupa *diffuse*, sedangkan drainase konduit sudah berkembang tetapi belum lanjut (Haryono dkk., 2017; Naufal, *et al.*, 2019; Rahmawati, 2019; Ramadhan, dkk., 2019). Sistem *diffuse* merupakan aliran air melalui rongga antar butir batuan gamping. Hasil perhitungan sistem aliran *diffuse* di Guntur *Catchment* membutuhkan waktu lebih dari 7 hari. Sedangkan sistem konduit pada sistem DTA Mata

air Guntur perlu waktu 5 jam dan 8 jam (Cahyadi, dkk., 2018a; Riyanto, 2019). Kondisi konduit yang penuh menyebabkan aliran air tanah tidak dapat mengalirkan air sesuai dengan kondisi normal 5-8 jam. *Swallow holes* di DTA Mataair Guntur tidak dapat berfungsi mengataskan secara optimal karena sistem konduit dibawahnya penuh.

Dampak Siklon Tropis Savannah merubah morfologi mikro kelerengan *Karst window* Kalinongko (Gambar 11). Perubahan morfologi terjadi akibat endapan sedimen halus hasil transportasi banjir yang menumpuk. Sebaran endapan sedimen dominan berada di mulut *Karst window* Kalinongko karena merupakan zona pengataskan air. Longsor terjadi pada tebing kanan *karst window* Kalinongko akibat gerusan banjir. Dampak lain yang ditimbulkan oleh Siklon Tropis Savannah adalah gagal panen tanaman padi dan singkong yang mati akibat terendam banjir (Gambar 12). Pasca Siklon Tropis



Gambar 10. Proses Terjadinya Banjir di *Karst window* Kalinongko



Gambar 11. Kenampakan Morfologi *Karst window* Kalinongko Sebelum Siklon (A) dan Perubahan Morfologi Pasca Banjir Siklon Tropis Savannah (B).



Gambar 12. Penanaman Tanaman Padi Sebelum Siklon Tropis Savannah (A) dan Penanaman Tanaman Jagung Setelah Siklon Savannah (B).

Savannah di lahan terdampak banjir lakukan penanaman kembali berupa komoditas tanaman jagung (Gambar 12).

KESIMPULAN

Dampak Siklon Tropis Savannah menyebabkan terjadinya banjir genangan airtanah pada *Karst window* Kalinongko selama 10 hari. Luasan area genangan banjir seluas 13.723 m² dan volume genangan 4.894.258 m³, dan tinggi genangan 6 m. Proses penggenangan terjadi akibat Lorong kondukt pada sistem Guntur *catchment* penuh terus disuplai air dari luar area sistem Guntur. Dampak yang ditimbulkan berupa lahan sawah yang terendam seluas 10.586 m² dan kebun seluas 3.137 m².

PENGAKUAN

Penelitian ini dibiayai oleh penelitian hibah payung dengan skema Hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) tahun 2019 Universitas Gadjah Mada. Kami juga mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang terkait dengan berjalannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyadi A, Riyanto I A, Adji T N, Tivianton, T A, Agniy R A., Ramadhan F, Naufal M and Saputro T C. 2018a. Hidrostratigrafi dan Dampaknya pada Kemunculan Mataair di Sub-Sistem Panggang, Kawasan Karst Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul. *Prosiding Seminar Nasional Geografi* Yogyakarta: Himpunan Mahasiswa Pascasarjana Geografi (HMPG), Fakultas Geografi UGM.
- Cahyadi, A. 2014. Keunikan Hidrologi Kawasan Karst: Suatu

- Tinjauan. dalam Cahyadi, A., Prabawa, B.A., Tivianton, T.A., dan Nugraha, H. 2014. *Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia*. Yogyakarta: Deepublish.
- Cahyadi, A. dan Agniy, R.F. 2016. Analisis *Breakthrough Curve* untuk Karakterisasi Pelorongan Di Sistem Sungai Bawah Tanah Pindul Kabupaten Gunungkidul. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-1 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PIT-PAAI)*. Bandung, 16-17 November 2016, 375 – 385.
- Cahyadi, A., Adji, T.N., Riyanto, I.A., Nurteisa, Y.T., Fatchurohman, H., Hayono, E., Reinhard, H., Agniy, R.F., Nurkholis, A., Naufal, M., Nurjani, E. and Widyastuti, M. 2019. Groundwater Flooding due to Tropical Cyclone Cempaka in Ngreneng *Karst window*, Gunungsewu Karst Area, Indonesia. Yogyakarta Indonesia. *E3S Web of Conference*, 125. <http://org.doi/10.1051/e3sconf/201912501020>
- Cahyadi, A.; Riyanto, I.; Irshabdillah, M.R. dan Firizqi, F. 2018b. Inventarisasi dan Karakterisasi Sistem Aliran Sungai Alogenik di Kawasan Karst Gunungsewu Kabupaten Gunungkidul. *Laporan Penelitian*. Yogyakarta: Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2002. *A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrogeology*. United States : Office of Research and Development Washington, D.C.
- Haryono, E and Day M 2004. Landform Differentiation Within The Gunungkidul Kegelkarst, Java, Indonesia. *Journal of Cave and Karst Studies*, 66 2 : 62-69.
- Haryono, E. 2000. Some Properties of Epikarst Drainage System in Gunung Kidul Regency, Yogyakarta, Indonesia. *The Indonesian Journal of Geography*, 32 : 75-86.
- Hayono, E.; Barianto, D.H. dan Cahyadi, A. 2017. *Hidrogeologi Kawasan Karst Gunungsewu: Panduan Lapangan Fieldtrip PIT PAAI ke-2*. Yogyakarta: Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PAAI).
- Naufal, M., Widyastuti, M., Cahyadi, A., Ramadhan, F., Riyanto, I.A., An-Nisa, K.S.A., and Adji, T.N. 2019. Temporal Variations of Baseflow Contribution to Epikarst Spring Discharge in Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *E3S Web of Conference* 125, 01014. <http://org.doi/10.1051/e3sconf/201912501014>.
- Rahmawati N 2019 Karakterisasi Akuifer Karst atas Dasar Sifat Aliran dan Respon Debit Mataair Guntur, Girijati, Purwosari, Gunungkidul, DIY. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, UGM.
- Ramadhan F, Widyastuti M, Cahyadi A, Adji T N, Naufal M, and Riyanto I A 2019 Karakteristik Pelepasan Aliran dari Akuifer Mataair Guntur di Kawasan Karst Gunungsewu, Indonesia. *Laporan Penelitian*. Yogyakarta: kelompok Studi Karst Fakultas Geografi UGM.
- Riyanto I A 2019 Analisis Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemaran di Daerah Tangkapan Mataair Guntur Kabupaten Gunungkidul. *Tesis*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Riyanto I A, Cahyadi A, Adji T N, Haryono E, Widyastuti M, Agniy R F, Fathoni W A, Rahmawati N, and Baskoro H 2018 Analisis Konektivitas dan Karakterisasi Pelorongan dengan Uji Peruntutan pada Mataair Epikarst Sub-sistem Panggang, Kawasan Karst Gunungsewu. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PAAI) 2018, Aryaduta Hotel, Jakarta*, 7-8 November 2019.
- Riyanto I A, Cahyadi A, Sismoyo D, Naufal M, Ramadhan F, Widyastuti M, and Adji T N. 2019 Instalation of Deep Groundwater Wells as Solution to Water Resources Problem in Panggang Subsystem, Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *Laporan Penelitian*. Yogyakarta: kelompok Studi Karst Fakultas Geografi UGM.
- Riyanto, I.A., Cahyadi, A., Sismoyo, D., Naufal, M., Ramadhan, F., Widyastuti, M., and Adji, T.N. 2019. Instalation of Deep Groundwater Wells as Solution to Water Resources Problem in Panggang Subsystem, Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *E3S Web of Conference* 125, 01009. <http://org.doi/10.1051/e3sconf/201912501009>.
- Widyastuti M, Riyanto I A, Naufal M, Ramadhan F, and Rahmawati N 2019 Water Catchement Area Analysis of Guntur Karst Spring. *Proceeding of The Second International Conference on Environmental Resources Management in Global Region*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.