



Dampak Siklon Tropis Savannah terhadap Karakteristik Hidrogeokimia Airan pada Mata Air Guntur, Kawasan Karst Gunungsewu

Fajri Ramadhan, Indra Agus Riyanto*, Ahmad Cahyadi, Muhammad Naufal, M Widyastuti, Tjahyo Nugroho Adji

Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Article Info

Article History

Submitted 2021-05-14

Revised 2021-08-13

Accepted 2021-11-15

Keywords

Savannah Tropical Cyclone, Guntur Spring, Time Series Analysis, Gunungsewu Karst Area

Abstrak

Siklon Tropis sering terjadi di Indonesia dan mengakibatkan dampak bencana. Sampai saat ini belum ada penelitian yang berfokus pada data time series terkait debit dan kimia airtanah akibat siklon tropis. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan karakteristik time series setiap jam baik debit dan kimia pada Mataair karst Guntur. Mataair Guntur terkena dampak Siklon tropis Savannah pada tanggal 17 maret 2019. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah terdiri atas dua bagian yaitu analisis debit dan kimia Mataair Guntur. Analisis debit dilakukan dengan uji korelasi dengan intensitas hujan. Analisis kimia dilakukan dengan menggunakan Peraturan Menteri Kesehatan No 90 tahun 2002 dan standard ahli. Analisis kimia lainnya dilakukan dengan menggunakan diagram piper segitiga, piper segiempat, dan stiff dari parameter Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} dan HCO_3^- . Hasil hubungan debit dan intensitas hujan berbanding lurus dan meningkat signifikan saat siklon. Hasil analisis air Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah keseluruhan parameter sesuai dengan baku mutu. Selain itu terjadi pengurangan kandungan ion akibat proses pengenceran pada ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , DHL, dan pH dibandingkan non siklon, Beton, dan Gremeng. Hasil kimia saat siklon berbeda dibandingkan non siklon, Mataair Gremeng dan Beton dengan penciri penurunan kadar ion.

Abstract

Tropical Cyclones often occur in Indonesia and have disastrous impacts. Until now, no research has focused on time series data related to groundwater discharge and chemistry due to tropical cyclones. Therefore, this study aims to analyze and compare the characteristics of the hourly time series, both discharge and chemistry of the Guntur karst springs. Guntur Spring was affected by the tropical cyclone of Savannah on March 17, 2019. The method used in this study consisted of two parts, namely the analysis of the discharge and chemistry of Guntur Spring. Discharge analysis was performed by correlation test with rain intensity. Chemical analysis was carried out using the Minister of Health Regulation No. 90 of 2002 and expert standards. Other chemical analyzes were performed using a triangular piper, rectangular piper, and stiff diagram of the parameters Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , and HCO_3^- . The results of the relationship between discharge and rain intensity are directly proportional and increase significantly during a cyclone. The results of analysis of the Guntur Springs during Tropical Cyclone Savannah, all parameters are in accordance with the quality standard. In addition, there was a reduction in ion content due to the dilution process of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , DHL, and pH ions compared to non-cyclone, Beton Resurgence, and Gremeng Resurgence ions. The chemical results when the cyclone is different compared to non-cyclone, Gremeng Resurgence and Beton Resurgence with a characteristic decrease in ionic content.

* Address: Bulaksumur, Caturtunggal, Kec. Depok, Sleman, Yogyakarta 55281
 E-mail: indra.agus.r@gmail.com

PENDAHULUAN

Siklon tropis terbentuk akibat pergerakan vertikal arus udara bagian atas yang dimulai dari equator menuju kutub dan bukan merupakan kenaikan yang disebabkan oleh peristiwa konveksi udara panas (Blanford, 1890). Sebaran kejadian siklon tropis berdasarkan data 1945-2006 di dunia terjadi di atas 10° Lintang Utara dan Selatan hingga batas zona iklim temperate (Xi, 2015) tropical cyclones have profound impacts on diversity, structure, succession and function of forest ecosystems. The ecological effects are both dramatic and subtle. The dramatic effects can be visible, noticeable and to some extent predictable over the short-term and relatively well documented in the literature. However, the subtle effects are often invisible, complex and at smaller scale relatively unpredictable in the long-term. Many factors, meteorologic, topographic and biologic, simultaneously interact to influence the complexity of patterns of damage and dynamics of recovery. I present a global synthesis on the effects of tropical cyclones on forest ecosystems and the complexity of forest responses, with particular attention on the response to large hurricanes in the neotropics and the temperate North America, and strong typhoons on the subtropical and temperate forests in the East and Southeast Asia. Four major aspects provide on organizational framework for this synthesis: (1. Dampak yang ditimbulkan akibat siklon tropis adalah bencana hidrometeorologi baik banjir dan tanah longsor (Zhang *et al.*, 2017; Rios Gaona and Villarini, 2018; Samodra *et al.*, 2020) landslides, and strong winds in certain areas of Java Island. Pacitan Regency was the most severely affected by TC Cempaka. The landslide frequency–area distribution curve of event inventory i.e. TC Cempaka can help to understand landslide susceptibility, hazard, vulnerability, and risk. Landslides were identified by using a local government database and by comparing pre- and post-event high-resolution satellite imageries. Field investigation was carried out in March 2018 to November 2018 to verify the landslide location and update the information. Power law, inverse gamma, and double Pareto model were employed to describe the frequency–magnitude of landslide (mLS. Dampak lain yang ditimbulkan adalah semakin naiknya mukaair sungai, muka airtanah dan debit mataair pada suatu wilayah secara signifikan (Harshburger *et al.*, 2002; Huang *et al.*, 2011) which are crucial for flood forecasting, particularly in regions that are prone to frequent typhoon (tropical cyclone.

Kejadian siklon tropis banyak terjadi di Indonesia, salah satunya Siklon Tropis Savannah. Siklon Tropis Savannah terjadi mulai dari tanggal 12-22 Maret 2019 yang berada di Samudra Hindia (BMKG, 2019). Dampak Siklon Tropis Savannah dirasakan hingga wilayah Provinsi DI Yogyakarta yang dibuktikan dengan curah hujan harian pada tanggal 17 maret 2019 sebesar 170,6 mm/hari oleh Stasiun Geofisika Sleman dan 106,9 mm/hari di Stasiun Klimatologi Sleman. Dampak tersebut juga dirasakan pada wilayah Gunungkidul yang termasuk dalam Karst Gunungsewu yang identik dengan wilayah yang kering dan tidak pernah mengalami peristiwa banjir. Dampak yang terjadi salah satunya banyak sungai bawah tanah yang tergenang dan meluap hingga menjadi telaga baik pada Blok Hidrogeologi Panggang (Riyanto *et al.*, 2020a) dan pada Blok Wonosari-Baron (Cahyadi *et al.*, 2019; Haryono dkk., 2020), dan blok lainnya (Pambudi *et al.*, 2020).

Penelitian terkait Siklon Tropis baik dampak dan luasan genangan sudah banyak dilakukan, namun secara detail dampak setiap jamnya selain meteorologinya belum pernah diteliti di Indonesia. Karakteristik debit dan kimia saat siklon tropis setiap jamnya belum pernah dilakukan. Oleh karena itu penelitian ini akan mengkaji karakteristik debit dan kimia airtanah setiap jamnya di Mataair Guntur yang terdampak Siklon Tropis Savannah. Hasil yang diharapkan dapat diperoleh temuan baru terkait dengan dampak siklon tropis terhadap debit dan kimia airtanah pada wilayah karst. Karakteristik debit dan kimia airtanah Mataair Guntur dapat dibandingkan dengan tempat lainnya di Karst Gunungsewu. Kualitas air Mataair Guntur dapat dibandingkan saat siklon dan non siklon dengan baku. Baku mutu perlu dikaji karena Mataair Guntur dimanfaatkan sebagai sumber air utama oleh 1.000 orang di Desa Girijati dan Sorotopo. Mataair Guntur berada di Desa Girijati, Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul (Gambar 1). Lokasi kajian memiliki curah hujan berkisar 2.000-2.200 mm/tahun (Cahyadi *et al.*, 2021a). Lokasi kajian termasuk dalam sub system hidrogeologi Blok Panggang dengan Batuan Penyusun Berupa gamping Terumbu (Cahyadi dkk., 2018; Riyanto *et al.*, 2019).

METODE

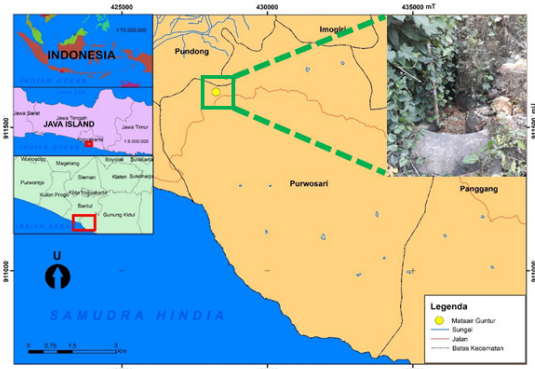
Penelitian ini dilakukan secara time series saat Siklon Tropis Savannah. Data yang digunakan adalah data dalam periode jam saat Siklon Tropis Savannah yaitu 16 – 18 Maret 2019. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data

debit, intensitas hujan, dan kimia mataair Guntur setiap jam. Data debit diperoleh dari pengukuran menggunakan *current meter* dan data perekaman *logger*, data intensitas hujan diperoleh dari stasiun meteorologi Guntur, dan data kimia diperoleh dari pengukuran dilapangan dan uji laboratorium. Data logger yang merekam secara otomatis dikoreksi dengan data pengukuran debit secara langsung. Data intensitas hujan yang digunakan merupakan hasil perekaman dari alat pengukur hujan otomatis. Data kimia yang diukur dilapangan menggunakan water checker yaitu pH, suhu, dan daya hantar listrik (DHL), serta *Alkalinity test kit* digunakan untuk mengukur ion CO_3^{2-} dan HCO_3^- . Data kimia yang diuji dilaboratorium berupa unsur Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} dan Cl^- . Data kimia yang diuji dilapangan ion CO_3^{2-} dan HCO_3^- karena cepat mengalami perubahan jika dilakukan uji di laboratorium sehingga harus diuji dilapangan. Selain itu parameter pH, suhu, dan daya hantar listrik (DHL) harus diuji dilapangan karena merepresentasikan nilai saat itu. Sedangkan ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} dan Cl^- tidak mengalami perubahan jika dilakukan uji di laboratorium.

Pengolahan data debit dan intensitas hujan dilakukan dengan Microsoft excel. Hasil pengolahan debit dan hujan berupa grafik hubungan debit dengan intensitas hujan setiap jam saat Siklon Tropis Savannah. Analisis yang dilakukan dengan mengkaitkan hubungan atau korelasi debit dengan intensitas hujan secara sederhana secara deskriptif. Analisis korelasi dilakukan dengan membaca kecenderungan grafik intensitas hujan dengan grafik debit terdapat pola yang saling menguatkan atau tidak terdapat hubungan. Pengolahan data kimia Mataair Guntur dilakukan dengan *Software Easy Quin v5.0*. Pengolahan data kimia dilakukan berdasarkan perhitungan konsentrasi ion menjadi persentase ion yang di plot pada grafik. Hasil yang diperoleh berupa diagram piper segitiga, piper segiempat, dan diagram stiff. Hasil analisis piper segi tiga dapat memberikan klasifikasi ion tipe airtanah, diagram piper segiempat memberikan informasi asal usul airtanah, dan diagram stiff meberikan informasi mengenai karakteristik ion airtanah. Analisis kimia yang dilakukan berupa melihat pola sebaran dan klasifikasi kimia air Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah berdasarkan diagram piper segitiga dan diagram stiff (Appelo and Postma, 2005), serta diagram piper segiempat (Kloosterman, 1983). Analisis kimia lainnya dilakukan dengan mengklasifikasikan nilai kimia dengan baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 90 Tahun 2002 dan standard

yang ditetapkan oleh ahli (Todd and Mays, 2005).

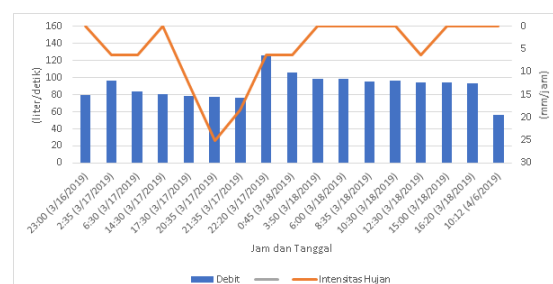
Analisis kimia berupa baku mutu memberikan informasi terkait kelayakan air untuk dikonsumsi.



Gambar 1. Peta Lokasi Kajian Mataair Guntur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil hubungan debit dan intensitas hujan saat Siklon Tropis Savannah diperoleh hubungan yang saling berkorelasi yaitu semakin naik intensitas hujan maka semakin naik debit Mataair Guntur (Gambar 2). Intensitas hujan tertinggi terjadi pada tanggal 17 maret 2017 pada pukul 20.35 WIB sebesar 25,1 mm/jam. Debit Mataair Guntur tertinggi terjadi pada tanggal 17 maret 2017 pada pukul 00.45 WIB yaitu sebesar 126 liter/ detik. Debit tersebut naik akibat respon terhadap masuknya hujan dengan itensitas tinggi kedalam system daerah tangkapan air (DTA) Mataair Guntur. Debit tertinggi terjadi 4 jam setelah intensitas hujan tertinggi karena diperlukan waktu tempuh air melalui sistem conduit hingga keluar pada Mataair Guntur. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya waktu tempuh larutan tinopal dari *karst window* Kalinongko ke Mataair Guntur selama 5 jam (Riyanto dkk., 2018). Hal yang cukup berbeda saat musim kemarau debit Mataair Guntur berkisar 10 liter/detik dan musim penghujan sebesar 40-60 liter/detik (Ramadhan et al., 2020)



Gambar 2. Hubungan Debit dan Hujan di Mataair Guntur

Kondisi sistem DTA Mataair Guntur yang sudah jenuh air dari Siklon Tropis Savannah dan genangan pada karst window Kalinongko menyebabkan air menempuh waktu (*time lag*) yang lebih cepat satu jam dibandingkan dari hasil uji perunutan (Riyanto *et al.*, 2020a; Riyanto dkk., 2020b). Selain itu sistem *diffuse* Mataair Guntur yang masih jenuh dari hujan 7 hari sebelumnya (Rahmawati, 2019) menyebabkan air melimpas dan masuk pada system konduit. Faktor lainnya disebabkan oleh DTA Mataair Guntur yang kecil yaitu seluas 30 hektar (Widyastuti *et al.*, 2019) sehingga system hidrologinya cukup singkat. Pola kenaikan debit akibat hujan juga terjadi pada 17 maret 2017 pada pukul 02.35 WIB, 18 maret 2017 pukul 03.50 dan 12.30 WIB. Pola kenaikan debit Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah sangat signifikan dibandingkan musim kemarau dan penghujan (Gambar 3) (Naufal *et al.*, 2020; Ramadhan *et al.*, 2020). Pola *time lag* Mataair Guntur memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan Mataair Beton dan Gremeng yang memiliki luasan DTA yang lebih besar (Cahyadi dkk., 2021b).

Hasil uji kimia Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah diperoleh keseluruhan sampel masih memenuhi baku mutu air kelas I (Tabel 1). Hasil uji kimia diperoleh pola yang semakin menurun saat terjadi Siklon Tropis Savannah pada parameter Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , DHL, suhu dan pH (Gambar 3 dan 4). Parameter yang mengalami kenaikan saat siklon adalah Na^+ dan SO_4^{2-} , sedangkan parameter CO_3^{2-} dan K^+ tetap. Hasil kimia saat Siklon Tropis Savannah sangat berbeda jauh pada saat musim kemarau dan penghujan

(Ramadhan, 2019). Hal tersebut disebabkan karena terjadi proses pengenceran akibat debit yang meningkat pada system hidrologi DTA Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah.



Gambar 3. Mataair Guntur Musim Kemarau (A), penghujan (B) dan Siklon Tropis Savannah (C) (Riyanto *et al.*, 2020a)

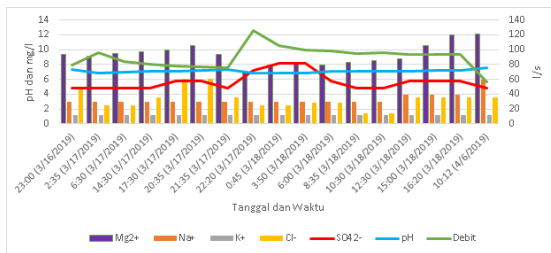
Hasil khemograf Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah diperoleh pola hubungan debit dengan kimia yang sama pada parameter Na^+ dan SO_4^{2-} yaitu mengalami kenaikan saat debit meningkat. Pola yang berbanding terbalik terdapat pada parameter Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , DHL, suhu dan pH. Hal tersebut disebabkan oleh proses pengenceran oleh air karena debit meningkat, sedangkan pada parameter Na^+ dan SO_4^{2-} semakin meningkat akibat semakin intensif proses pelarutan ion tersebut. Parameter CO_3^{2-} dan K^+ bernilai tetap karena tidak terpengaruh oleh perubahan debit. Hal tersebut memiliki pola yang sama saat musim kemarau dan penghujan memiliki nilai Parameter CO_3^{2-} dan K^+ bernilai tetap (Ramadhan, 2019). Hasil pola khemograf

Tabel 1. Hasil Uji Kimia dan Debit Mataair Guntur

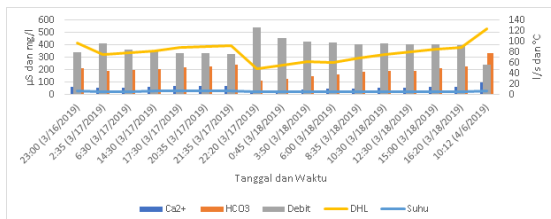
No	Tanggal	Jam	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	Cl-	SO42-	HCO3	Debit	Intensitas Hujan (mm/jam)	DHL	pH	Suhu
1	3/16/2019	23:00	62	9	3	1.17	5	5	214	79	0	414	7.35	25.7
2	3/17/2019	2:35	52	9	3	1.17	2	5	189	96	6.276	325	6.9	24.3
3	3/17/2019	6:30	54	9	3	1.17	2	5	195	84	6.276	333	7	24.7
4	3/17/2019	14:30	60	10	3	1.17	4	5	207	81	0	353	7.05	25.7
5	3/17/2019	17:30	68	10	3	1.17	6	6	220	78	12.55	380	7.13	25.7
6	3/17/2019	20:35	70	11	3	1.17	6	6	226	77	25.104	384	7.2	25.7
7	3/17/2019	21:35	71	9	3	1.17	4	5	238	76	18.28	392	7.3	25.9
8	3/17/2019	22:20	30	7	3	1.17	2	7	110	126	6.276	209	6.8	23.3
9	3/18/2019	0:45	35	8	3	1.17	2	8	122	106	6.276	233	6.88	23.5
10	3/18/2019	3:50	42	8	3	1.17	3	8	146	99	0	265	6.9	23.5
11	3/18/2019	6:00	46	8	3	1.17	3	6	159	98	0	260	7.03	23.7
12	3/18/2019	8:35	50	8	3	1.17	1	5	183	95	0	291	7.06	24.3
13	3/18/2019	10:30	52	9	3	1.17	1	5	189	96	0	325	7.1	24.3
14	3/18/2019	12:30	55	9	4	1.17	4	6	189	94	6.276	345	7.1	24.7
15	3/18/2019	15:00	61	11	4	1.17	4	6	214	94	0	365	7.15	25
16	3/18/2019	16:20	63	12	4	1.17	4	6	226	93	0	377	7.15	25.1
17	4/6/2019	10:12	100	12	6	1.17	4	5	336	56.76	0	532	7.6	26.4
Standard			100b	50b	200a	50b	250a	240a	500b	-	-	air tawar	6.5-8.5a	-

Sumber : ^a Peraturan Menteri Kesehatan No. 90/2002, ^b (Todd and Mays, 2005)

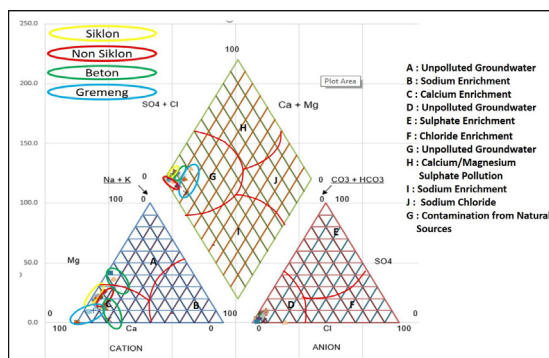
di tempat lainnya memiliki pola yang sama juga ditemukan pada Mataair Beton dan Gremeng. Parameter yang mengalami kenaikan (Na^+ dan SO_4^{2-}) dan penurunan (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , DHL, dan suhu) saat musim penghujan (Cahyadi dkk., 2021b), sedangkan nilai yang berbeda pada parameter K^+ dan pH cenderung naik. Pola berbeda lainnya terdapat pada nilai pada parameter Na^+ , K^+ , Cl^- , dan SO_4^{2-} lebih kecil dibandingkan Mataair Beton dan Gremeng. Nilai DHL paling tinggi dibandingkan Mataair Beton dan Gremeng, sedangkan parameter Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , suhu, HCO_3^- dan pH memiliki nilai yang mendekati atau sama.



Gambar 4. Hubungan Debit dengan Mg, Na, K, Cl, SO_4 , pH, dan debit



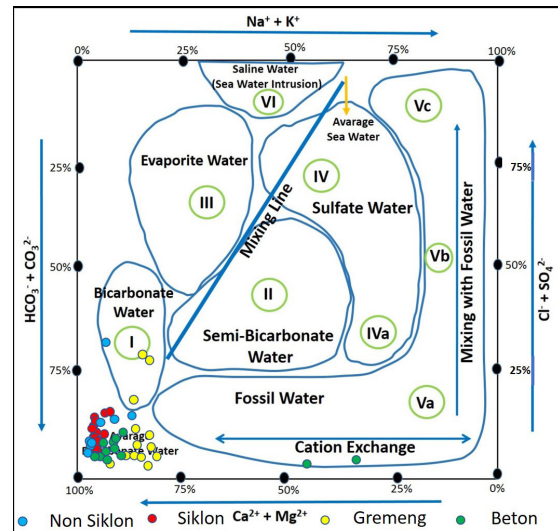
Gambar 5. Hubungan Debit dengan Ca, HCO_3 , debit, DHL, dan Suhu



Gambar 6. Diagram Piper Segitiga saat Siklon Savannah

Hasil diagram piper segitiga Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah diperoleh klasifikasi G (*unpolluted groundwater*) pada segitiga bagian atas, klasifikasi C (*calcium enrichment*) pada segitiga bagian kiri bawah, dan klasifikasi D (*unpolluted groundwater*) pada segitiga bagian

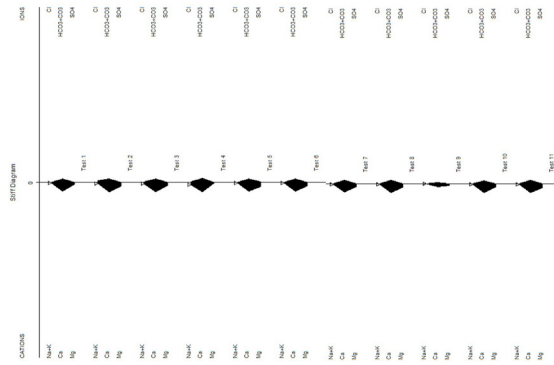
kanan bawah (Gambar 5). Hasil tersebut menunjukkan bahwa air Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah sangat baik untuk digunakan karena termasuk dalam klasifikasi *unpolluted groundwater*. Hasil kajian diagram piper segitiga di Mataair Beton dan Gremeng memiliki klasifikasi yang sama, namun berbeda sebaran dan nilai setiap parameternya (Cahyadi dkk., 2021b). Hasil segitiga pada bagian atas diperoleh sebaran ion Mataair Guntur saat siklon memiliki nilai $\text{Ca} + \text{Mg}$ dan $\text{SO}_4 + \text{Cl}$ yang lebih besar dibandingkan non siklon, namun keduanya masih lebih kecil nilainya dibandingkan Mataair Beton dan Gremeng. Hasil segitiga pada bagian kiri bawah diperoleh sebaran ion Mataair Guntur saat siklon memiliki nilai Ca , Mg dan $\text{Na} + \text{K}$ yang lebih besar dibandingkan non siklon, namun keduanya masih lebih kecil nilainya dibandingkan Mataair Beton dan Gremeng. Hasil perbandingan segitiga kanan bawah keseluruhan memiliki sebaran yang sama baik saat siklon, non siklon, Mataair Beton dan Gremeng.



Gambar 6. Diagram Piper Segiempat saat Siklon Savannah

Hasil diagram piper segiempat Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah diperoleh keseluruhan sampel termasuk dalam klasifikasi *average bicarbonate water* (Gambar 6). Hasil tersebut termasuk dalam klasifikasi air tawar dengan kualitas sangat baik (Kloosterman, 1983). Hasil klasifikasi saat non siklon juga termasuk dalam klasifikasi *average bicarbonate water* (Ramadhan, 2019). Hasil ditempat lain baik Mataair Gremeng dan Beton memiliki klasifikasi yang sama yaitu *average bicarbonate water* (Cahyadi dkk., 2021b), meskipun terdapat beberapa sampel yang termasuk dalam *cation exchange* dan *bicarbonate water*

(Cahyadi dkk., 2021b). Hasil sebaran ion saat Siklon Tropis Savannah memiliki nilai Na+K dan HCO₃+CO₃ yang lebih rendah dibandingkan non siklon, Mataair Beton dan Gremeng. Kondisi ion saat siklon memiliki nilai tertinggi secara umum pada ion Cl+SO₄, sedangkan nilai Ca+Mg memiliki nilai yang mendekati dengan non siklon.



Gambar 7. Diagram Stiff saat Siklon Savannah

Hasil diagram stiff Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah diperoleh pola jajar genjang yang mengecil pada ion Ca dan HCO₃+CO₃ (Gambar 7) dibandingkan saat non siklon (Ramadhan, 2019). Ion Na+K, Cl, Mg, dan SO₄ juga mengalami pengecilan pada bentuk jajar genjang dibandingkan non siklon namun tidak signifikan. Hasil diagram stiff Mataair Gremeng memiliki dasar jajar genjang yang lebih melebar dibanding siklon pada parameter Mg dan SO₄, sedangkan hasil diagram stiff Mataair Beton memiliki bentuk jajar genjang yang lebih melebar pada ion Ca dan HCO₃+CO₃ (Cahyadi dkk., 2021b).

KESIMPULAN

Siklon Tropis Savannah memberikan pengaruh pada perubahan debit, kualitas air, dan kandungan ion pada Mataair Guntur. Mataair Guntur memiliki respon debit tertinggi saat terjadi Siklon Tropis Savannah dibandingkan kondisi lainnya. Kandungan kimia Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah termasuk dalam baku mutu, namun terdapat penurunan kadar ion pada parameter Ca²⁺, Mg²⁺, Cl, HCO₃⁻, DHL, dan pH. Hasil diagram piper segitiga Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah termasuk klasifikasi G (*unpolluted groundwater*), C (*calcium enrichment*), dan D (*unpolluted groundwater*). Hasil diagram piper segiempat Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah termasuk dalam klasifikasi *average bicarbonate water*. Hasil diagram stiff Mataair Guntur saat Siklon Tropis Savannah diperoleh pola jajar genjang yang mengecil pada ion Ca dan

HCO₃+CO₃.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini menggunakan sebagian dari data skripsi penulis pertama. Penelitian ini dibiayai oleh Hibah PDUPT Kemenristekdikti, Republik Indonesia dengan Nomor Kontrak 2536/UN1.DITLIT/DIT-LIT/LT/2019.

DAFTAR PUSTAKA

Appelo, C.A.J and Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (2nd ed.). A.A. Balkema Publisher.

Blanford, H. F. (1890). The Genesis of Tropical Cyclones. *Nature*, 43(I), 81–83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/043081b0>

BMKG. (2019). *Buletin Cuaca dan Iklim Vol. 2*. Badan Meteorologi Klimatologi dan geofisika.

Cahyadi, A., Haryono, E., Adji, T.N., Widyastuti, M., Riyanto, I.A., Muhammad, D.T.N., and Tastian, N.F. (2021a). Rainfall Variability in Gunung Sewu Karst Area, Java Island, Indonesia. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 8(1), 23–35.

Cahyadi, A., Riyanto, I.A., Haryono, E., Adji, T.N., Widyastuti, M., Muhammad, D.T.N., dan Aji, A.P.K. (2021b). Variasi Temporal Kualitas Air pada Mataair Beton dan Gremeng Karst Gunung Sewu Indonesia. *Laporan Penelitian*. Yogyakarta: Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Cahyadi, A., Haryono, E., Adji, T.N., Widyastuti, M., Riyanto, I.A., Nurteisa, Y.T., Fatchurohman, H., Reinhard, H., Agniy, R. F., Nurkholis, A., Naufal, M., and Nurjani, E. (2019). Groundwater Flooding due to Tropical Cyclone Cempaka in Ngreneng Karst Window, Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 125(2019). <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/201912501020>

Cahyadi, A., Riyanto, I.A., Adji, T.N., Tivianton, T.A., dan Agniy, R. F. (2018). Hidrostratigrafi dan Dampaknya pada Kemunculan Mataair di Sub-Sistem Panggang, Kawasan Karst Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul. November. *Prosiding Seminar Nasional Geografi III*. Yogyakarta: Program Magister Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada. [tps://doi.org/10.31227/osf.io/pc9fv](https://doi.org/10.31227/osf.io/pc9fv)

Harshburger, B., Ye, H., and Dzialoski, J. (2002). Observational Evidence of The Influence of Pacific SSTs on Winter Precipitation and spring Stream Discharge in Idaho. *Journal of Hydrology*, 264(1), 157–169. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00072-0)

Haryono, E., Cahyadi, A., Nurrohman, M.A., Adzan, G., Nasution, L.A., Diah, H., dan Septianingrum, R.S. (2020). Dinamika Luweng Belimb-

- ing, Kawasan Karst Gunungsewu Pasca Siklon Tropis Cempaka Tahun 2017. *Jurnal Geografi*, 12(1), 39-45. <https://doi.org/10.24114/jg.v12i01.14769>
- Huang, J.C., Kao, S.J., Lin, C.Y., Chang, P.L., Lee, T.Y., and Li, M.H. (2011). Effect of Subsampling Tropical Cyclone Rainfall on flood hydrograph response in A Subtropical Mountainous Catchment. *Journal of Hydrology*, 409(1), 248–261. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.037>
- Kloosterman, F. H. (1983). *Reconnaissance Study of Groundwater Resources in the Kabupaten Cirebon*. Bandung: Provincial Health Service Directorate.
- Naufal, M., Nugroho Adji, T., Cahyadi, A., Haryono, E., Widyastuti, M., Agus Riyanto, I.A., and Ramadhan, F. (2020). Estimated Rate of Karst Aquifer Development by MRC Analysis and Flood Hydrograph Components at Guntur Springs, Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 200(October). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020002007>
- Pambudi, R.A., Riadini, F., Naldi, A., and Putri, N. P. (2020). Flood Inundation Mapping of Cempaka Tropical Cyclone Effect in Gunung Sewu Karst Landscape Using Sentinel 1. *E3S Web of Conferences*, 202(November). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020203030>
- Rahmawati, N. (2019). Karakterisasi akuifer karst atas dasar sifat aliran dan respon debit mataair Guntur, Girijati, Purwosari, Gunungkidul, DIY. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Ramadhan, F., Widyastuti, M., Adji, T.N., Cahyadi, A., Naufal, M., and Riyanto, I. A. (2020). Characterizing flow release from the aquifer of Guntur Spring in Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 451(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/451/1/012060>
- Ramadhan, F. (2019). Hubungan Karakteristik Aliran Dengan Hidrogeokimia Mataair Guntur di Kawasan Karst Gunungsewu. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Rios, M.F., and Villarini, G. (2018). Characterization of The Diurnal Cycle of Maximum Rainfall in Tropical Cyclones. *Journal of Hydrology*, 564, 997–1007. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.062>
- Riyanto, I.A., Cahyadi, A., Adji, T.N., Haryono, E., Widyastuti, M., Agniy, R.F., dan Fathoni, W. A. (2018). Analisis Konektivitas dan Karakterisasi Pelorongan dengan Uji Perunutan pada Mataair Epikarst Sub-Sistem Panggang, Kawasan Karst Gunungsewu. *Prosiding Pekan Ilmiah Tahunan Perhimpunan Ahli Airtanah 2018*. Bandung: ITB Press. <https://doi.org/10.31227/osf.io/9d3s4>
- Riyanto, I. A., Cahyadi, A., Sismoyo, D., Naufal, M., Ramadhan, F., and Adji, T. N. (2019). Installation of Deep Groundwater Wells as Solution to Water Resources Problem in Panggang Subsystem, Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 125(2019).
- Riyanto, I. A., Widyastuti, M., Cahyadi, A., Agniy, R.F., and Adji, T.N. (2020a). Groundwater Management Based on Vulnerability to Contamination in the Tropical Karst Region of Guntur Spring, Gunungsewu Karst, Java Island, Indonesia. *Environmental Processes*, 7(4), 1277–1302. <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00460-5>
- Riyanto, I. A., Cahyadi, A., Ramadhan, F., Naufal, M., Widyastuti, M., dan Adji, T.N. (2020b). Dampak Siklon Tropis Savannah pada Karst Window Kalinongko, Karst Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul, Indonesia. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 17(1), 7–14. <https://doi.org/10.15294/jg.v17i1.21419>
- Samodra, G., Ngadisih, N., Malawani, M. N., Mardiatno, D., Cahyadi, A., and Nugroho, F. S. (2020). Frequency–magnitude of landslides affected by the 27–29 November 2017 Tropical Cyclone Cempaka in Pacitan, East Java. *Journal of Mountain Science*, 17(4), 773–786. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5734-y>
- Todd, D.K and Mays, L. . (2005). *Groundwater Hydrology*. New York: John Wiley and Sons, Ltd.
- Widyastuti, M., Riyanto, I. A., Naufal, M., Ramadhan, F., and Rahmawati, N. (2019). Catchment Area Analysis of Guntur Karst Spring Gunung Kidul Regency, Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 256(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/256/1/012008>
- Xi, W. (2015). Synergistic Effects of Tropical Cyclones on Forest Ecosystems: A Global Synthesis. *Journal of Forestry Research*, 26(1). <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0018-z>
- Zhang, Q., Gu, X., Singh, V. P., Shi, P., and Luo, M. (2017). Timing of Floods in Southeastern China: Seasonal Properties and Potential Causes. *Journal of Hydrology*, 552, 732–744. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.039>