

**VARIASI HARIAN IKLIM MIKRO DI DALAM GUA WISATA (STUDI KASUS
GUA SENEN DESA PURWODADI KECAMATAN TEPUS
KABUPATEN GUNUNG KIDUL)**

**Radhyka Galih Pranata, Danardono
Program Studi Geografi, Fakultas Geografi,
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Abstrak

Penelitian ini dilakukan di kawasan karst dengan judul Variasi Harian Iklim Mikro di Dalam Gua Wisata (Studi Kasus Gua Senen Desa Purwodadi Kecamatan Tepus Kabupaten Gunung Kidul). Tujuan penelitian ini untuk (1) memetakan Gua Senen (2) menganalisis variasi temporal iklim mikro Gua Senen. Metode yang digunakan menggunakan metode studi kasus. Metode pengambilan sampel menggunakan metode purposive sampel untuk iklim mikro dan metode forward method yang dikembangkan oleh BCRA digunakan untuk pemetaan gua. Analisis hasil dalam penelitian menggunakan analisis spasial digunakan untuk menganalisis bentuk morfometri gua dan analisis perbandingan digunakan untuk mengetahui variasi iklim mikro Gua Senen. Hasil penelitian ini berupa (1) peta tampak atas gua senen dan mendapatkan gambaran morfometri gua luas permukaan gua sekitar 1165 meter persegi, tinggi 12 meter, dan panjang 61 meter yang telah dipetakan, adapun ornamen yang ditemukan seperti flowstone, stalaktit, stalakmit, dreperies dan pilar (2) Faktor yang mempengaruhi iklim mikro gua saat kondisi alami yaitu pada siang hari ketika cahaya matahari masuk langsung ke dalam gua. Adanya aktifitas manusia di dalam gua sangat mempengaruhi kondisi iklim mikro di gua senen.

Kata kunci: Karst, Gua, Morfometri, Iklim Mikro

Abstract

This research was conducted in a karst area with the title Daily Variation of Microclimate in Tourism Caves (Case Study of Senen Cave, Purwodadi Village, Tepus District, Gunung Kidul Regency). The purpose of this study was to (1) map Senen Cave (2) analyze the climate variations of the Senen Cave microclimate. The method used is a case study method. The sampling method uses a purposive sampling method for microclimates and the forward method developed by BCRA is used for cave mapping. Analysis of the results in this study using spatial analysis was used to analyze the morphometric shape of the cave and comparisons were used to determine the variation of the Senen Cave microclimate. The results of this study are (1) a map that looks over the Senen Cave and obtains a mapped morphometry of the cave with a surface area of about 1165 square meters, 12 meters high and 61 meters long, while ornaments were found such as flowstone, stalactites, stalagmites, dreperies and pillar (2) Factors that influence the cave's microclimate during natural conditions, namely during the day when sunlight enters the cave directly. The existence of human activity in the cave greatly affects the microclimatic conditions in Senen Cave.

Keywords: Karst, Caves, Morphometrics, Microclimate

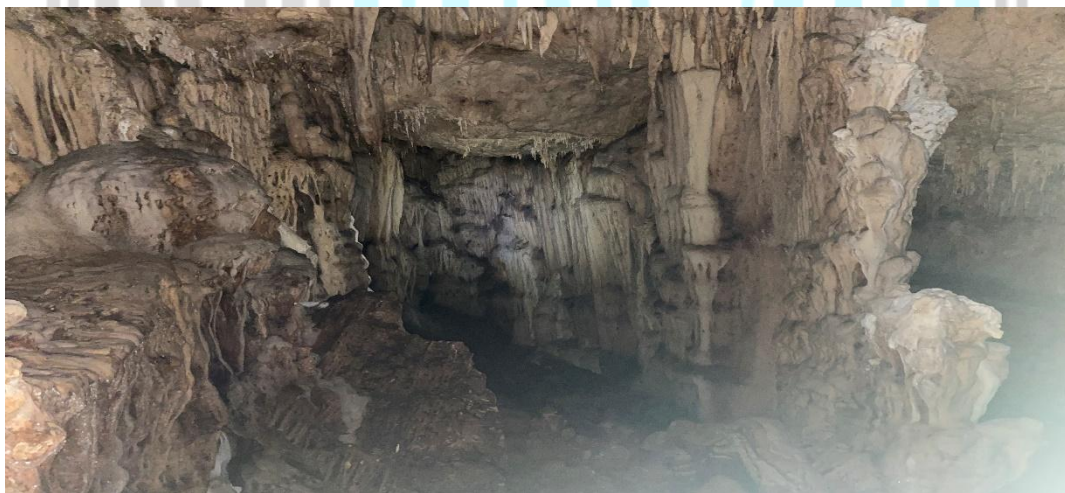
1. PENDAHULUAN

Ilmu yang mempelajari tentang gua disebut dengan *Speleologi*. Gua termasuk dalam bentang alam karst yang terbentuk secara alami dari proses pelarutan curah hujan pada batuan karbonat (Danardono, dkk. 2018) pada proses tersebut akan menghasilkan lorong-lorong dengan bentuk *vertical* ataupun *horizontal*, keunikan didalam gua terdapat ornamen yang indah dikarenakan perjalanan air melarutkan batu gamping terdapat senyawa kalsium karbonat, pada proses tersebut terjadi tetesan air dari dinding atau langit gua dan meninggalkan partikel kalsium karbonat menjadi berbagai ornamen gua yang unik dan indah (Massinai. 2014), sehingga gua dapat dimanfaatkan sebagai tempat ekowisata atau sebagai pembelajaran bagi para peneliti.

Kondisi lingkungan di dalam gua berbeda dengan kondisi di luar gua sehingga, pengelolaan wisata gua tidak dapat disamakan dengan pengelolaan wisata pada umumnya (Purwidiatmoko.2015), karena gua memiliki lingkungan yang kompleks dan rapuh, dengan ketahanan yang rendah karena adanya endapan kimia dan klastik yang sensitif, pengelolaan yang tidak sesuai akan berdampak langsung pada ekosistem gua, seperti yang terjadi di Gua Maquine, Brazil, yang berakibat pada rusaknya ornamen gua (Alt dan Moura 2013), dengan adanya aktifitas wisata didalam gua secara perlahan ornamen yang ada didinding gua terpengaruh oleh gas CO₂ dan naiknya suhu udara yang berasal dari pernafasan manusia maka kondisi iklim mikro akan mengalami perubahan dan dapat mengganggu pertumbuhan ornamen di dalam gua bahkan dapat mengganggu makhluk hidup yang ada didalam gua (de Freitas 2010), maka dari itu pemahaman tentang iklim mikro seperti suhu, kelembaban, dan konsentrasi karbondioksida di gua sangat penting dalam pengelolaan gua wisata agar ekosistem di dalam gua terjaga

Gua Senen perlu dilakukan penelitian karena, karakteristik dari mulut Gua Senen yang tertutup dengan mulut gua yang kecil sehingga, udara yang masuk di dalam gua akan terperangkap yang mengakibatkan kurang nya sirkulasi udara yang masuk pada gua akan mempengaruhi kondisi iklim mikro gua serta dapat mengganggu kenyamanan bagi wisatawan yang berkunjung. Kenyamanan termal yang berubah di luar kondisi normal dapat berpengaruh terhadap ketidaknyamanan fisik seperti pusing, cepat lelah, kekurangan oksigen, dan berkeringat, ketidaknyamanan mental juga dapat muncul hal ini menyebabkan sugesti negatif seseorang. Gua Senen merupakan gua wisata yang baru dibuka pada tahun 2019, maka perlunya dilakukan penelitian agar ekosistem didalam nya tetap terjaga dan tidak mengganggu kenyamanan bagi wisatawan yang berkunjung. Gua Senen berada di kawasan karst gunung sewu secara administrasi gua ini berada di Dusun

Duwet, Desa Purwodadi, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunungkidul, Karakteristik dari Gua Senen yang tertutup dengan satu mulut gua serta, mulut gua yang kecil dengan badan gua yang membentuk *Chamber* atau ruangan sehingga, kurangnya sirkulasi udara yang masuk didalam gua akan mengakibatkan pergantian udara yang masuk ke dalam gua sangat sedikit. Pentingnya pergantian udara pada gua wisata di karenakan adanya aktifitas dari wisatawan yang berkunjung dapat mengeluarkan karbondioksida dari pernafasan mereka sehingga, mempengaruhi kondisi kenyamanan ketika menjelajahi suatu gua wisata. Daya tarik di Gua Senen sendiri terdapat pada ornamen yang indah, sehingga untuk menjaga agar ekosistem di Gua Senen tetap terjaga maka diperlukan pemantauan iklim mikro sebagai pertimbangan bagi pengelola wisata gua agar dapat melakukan pembatasan kapasitas wisatawan yang masuk di Gua Senen demi menjaga kenyamanan wisatawan yang berkunjung dan menjaga agar ekosistem di Gua Senen tidak rusak (Danardono, dkk. 2018; Lobo. 2010)



Gambar 1. Ornamen Gua Senen

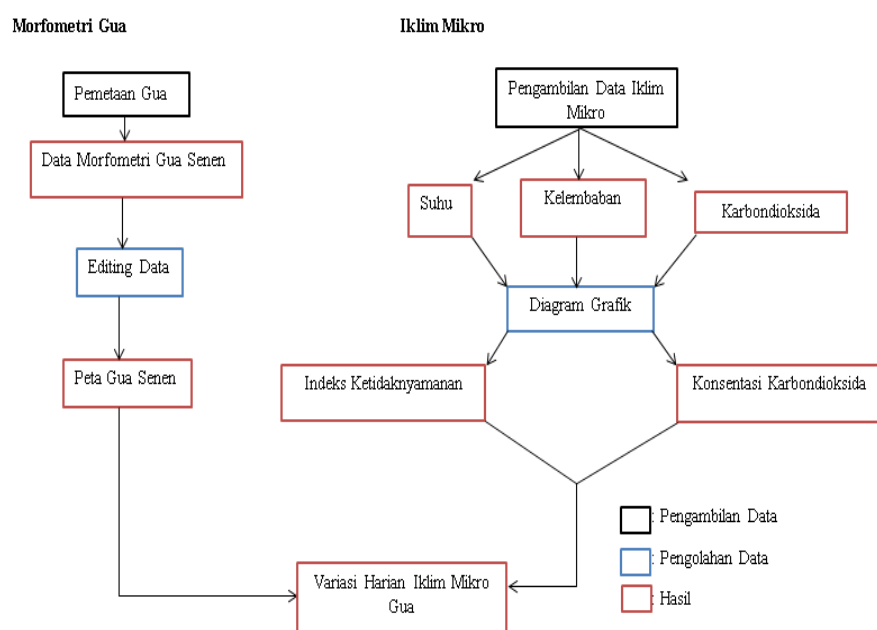
Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan penelitian yang dapat menjaga ekosistem di dalam gua serta dapat membantu kenyamanan saat berwisata. Oleh karena itu peneliti mengambil judul “Variasi Harian Iklim Mikro Di Dalam Gua Wisata (Studi Kasus Gua Senen Desa Purwodadi Kecamatan Tepus Kabupaten Gunung Kidul)”

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus. Metode penelitian studi kasus bersifat deskripsi dan analisis mendalam serta sebuah studi eksplorasi dari suatu sistem yang saling terkait satu sama lain (*bounded system*) pada beberapa hal dalam satu kasus secara mendetail, disertai dengan penggalan data secara mendalam dengan melakukan

pengamatan dan pencatatan di lapangan secara faktual. Obyek dalam penelitian ini adalah Gua Senen yang berada di Dusun Duwet, Desa Purwodadi, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta

Metode pengumpulan data morfometri Gua Senen menggunakan metode *Forward Methode* agar pengambilan data lebih cepat sehingga bisa menghemat waktu dalam penelusuran gua dan grade pemetaan gua yang digunakan yaitu grade 5C dikarenakan, pengukuran menggunakan Kompas *Prismatic*, Klinometer dan laser disto. Pemetaan Gua Senen dilakukan untuk menentukan pengambilan data iklim mikro. Pengambilan data dilakukan di tempat pengunjung yang paling lama berhenti. Data iklim mikro yang diambil yaitu suhu, kelembaban, dan konsentrasi karbondioksida. Parameter iklim mikro diukur empat kali dengan melakukan simulasi saat gua terdapat aktifitas di dalam dan saat gua tidak adanya aktifitas di gua, pengambilan data iklim mikro dilakukan selama 24 jam atau lebih didalam gua dan jarak waktu pengambilan dilakukan lebih dari 5 hari saat pengambilan data pertama.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

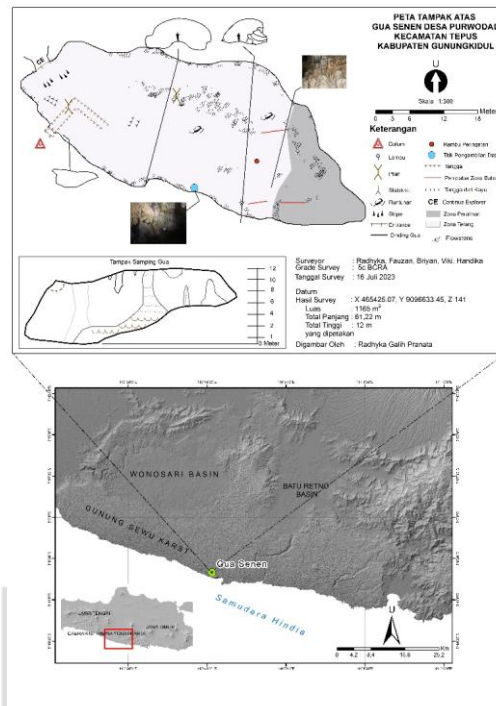
3.1 Morfometri Gua Senen

Gua senen terletak di daerah gunung kidul kecamatan tepus desa purwodadi dengan koordinat X: 465425.07, Y:9096633.45. Hasil pengukuran morfometri terdapat stasiun gua sebanyak 28 stasiun. Stasiun terpanjang berada pada stasiun 27-4 dengan Panjang 16.13 meter, stasiun terpanjang kedua terdapat pada stasiun 3-4 dengan Panjang 11,76 meter,

dan jarak antara stasiun yang terpendek ada pada stasiun 10-11 panjang 1,74 meter. Perubahan kemiringan lantai di dalam gua terdapat pada stasiun 19-20 dengan kemiringan -30 derajat yang diartikan terdapat jalan yang cukup menurun pada saat dilakukannya pemetaan gua dikarenakan tanda (-) menunjukkan lantai mengalami penurunan, sebaliknya pada stasiun 10-11 kemiringan 30 derajat dimana tidak adanya tanda (-) yang berarti menunjukkan adanya tanjakan, terdapat 1 mulut gua dengan luas mulut Gua Senen yang telah diukur yaitu, tinggi 1,53 m dan lebar 3,67 m dengan arah mulut gua pada 268 derajat menghadap ke atas. Gua senen merupakan tipe gua vertikal horizontal, sedangkan menurut FFS (*Federation Francaise de speleologie*) mengkategorikan gua menjadi 5 berdasarkan tingkat kesulitan dalam menelusuri gua dan Gua senen termasuk dalam kategori 1 dimana terdapat bagian gua yang perlu menggunakan helm atau lampu. Klasifikasi zona gua senen adalah zona terang dan zona peralihan,

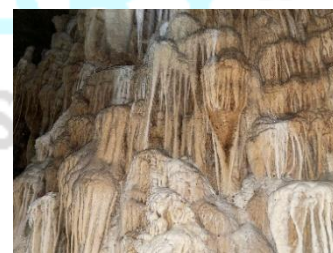
Tabel 1. Hasil Pengukuran Morfometri Gua Senen

Stasiun Δ	Nama Gua : Gua Senen			Koordinat : X 465425, Y 9096633				Lokasi : Desa Purwodadi Kec.Tepus		Jam Survey : 12.47
	Tanggal Survey : 16 Juli 2023			Elevasi : 141		Grade Survey : 5c		Λ	V	
	Tape	Kompas	Klino	<		>				
0	↔	⊙	↗	Tape	Kompas	Tape	Kompas	Atas	Bawah	Keterangan
1	4.11	40.0	-15.0	0	-	0	-	0	1.38	
2	2.57	37.0	-30.0	1.2	-	2.64	-	0.94	1.13	Tangga
3	8.4	130.0	-35.0	2.93	-	4.6	-	3.5	1.13	Tangga
4	11.76	145.0	-20.0	0	-	3.47	-	7.57	1.13	Berdiri
5	2.04	30.0	-5.0	0	-	0.51	-	2.51	1.13	Berdiri
6	9.06	100.0	10.0	0	-	1.74	-	9.79	1.13	Berdiri
7	6.59	115.0	5.0	0	-	1.25	-	6.65	1.13	Berdiri
8	5.81	121.0	15.0	0	-	2.81	-	1.84	1.13	Berdiri
9	8.0	0.0	20.0	0	-	1.53	-	7.8	1.13	Berdiri
10	4.53	76.0	25.0	0	-	6.48	-	7.9	1.13	Berdiri
11	1.74	80.0	30.0	0	-	1.91	-	9.44	1.13	Berdiri
12	3.86	150.0	-15.0	0	-	1.93	-	5.9	1.13	Berdiri
13	6.22	200.0	-10.0	0	-	1.91	-	5.44	1.13	Berdiri
14	8.82	95.0	-5.0	0	-	2.27	-	4.58	1.13	Berdiri
15	4.46	70.0	20.0	0	-	5.19	-	6.08	1.13	Berdiri
16	6.94	310.0	-10.0	0	-	7.44	-	5.4	1.13	Berdiri
17	3.27	310.0	20.0	0	-	9.62	-	6.32	1.13	Berdiri
18	8.8	330.0	-10.0	0	-	9.31	-	5	1.13	Berdiri
19	6.69	320.0	-25.0	0	-	5.6	-	6.7	1.13	Berdiri
20	4.75	330.0	-30.0	0.64	-	1.43		4.64	1.13	Berdiri
21	7.9	282.0	-20.0	2.2	-	1.23	-	3.99	1.13	Berdiri
22	5.95	260.0	-10.0	1.0	-	1.56	-	7.67	1.13	Berdiri
23	5.5	292.0	-10.0	4	-	3.59	-	11.71	1.13	Berdiri
24	8.7	280.0	-7.0	4.65	-	1.54	-	11.5	1.13	Berdiri
25	7.44	280.0	5.0	0	-	4.33	-	11.43	1.13	ada CE
26	9.36	235.0	-25.0	0	-	9.27	-	7.33	1.13	ada CE
27	10.83	145.0	10.0	0	-	3	-	6	1.13	Berdiri
4	16.13	122	14	0	-	3	-	6	1.13	Berdiri



Gambar 3. Peta Gua Senen

Ornament gua atau speleothem yang tersebar di area gua senen terdapat Flowstone, Stalaktit, Stalakmit, dreperies dan Pilar akan tetapi kondisi ornament di Gua Senen banyak yang mengalami kerusakan dan tidak lagi aktif. Ornamen Gua Senen merupakan kategori speleothem dripstone dan flowstone.



Gambar 4. Kondisi Ornamen Gua Senen

Fasilitas yang tersedia di dalam gua senen terdapat tangga untuk memasuki gua dan lampu untuk penerangan wisatawan yang berkunjung (Gambar 5), adanya pencahayaan buatan di dalam gua dapat memicu adanya *lampenflora*. Fasilitas tangga berbahan semen akan mengendapkan air yang masuk ke dalam gua ketika hujan dapat meningkatkan kelembaban di dalam gua. Penggunaan fasilitas tangga dan rambu peringatan berbahan kayu akan mempengaruhi konsentrasi kadar CO₂ menjadi lebih tinggi dikarenakan bahan yang terbuat dari kayu akan mengalami pelapukan sehingga terjadinya dekomposisi organik yang menghasilkan karbon dioksida CO₂.



(a) Lampu



(b) Tangga Masuk



(c) Tangga di Dalam Gua



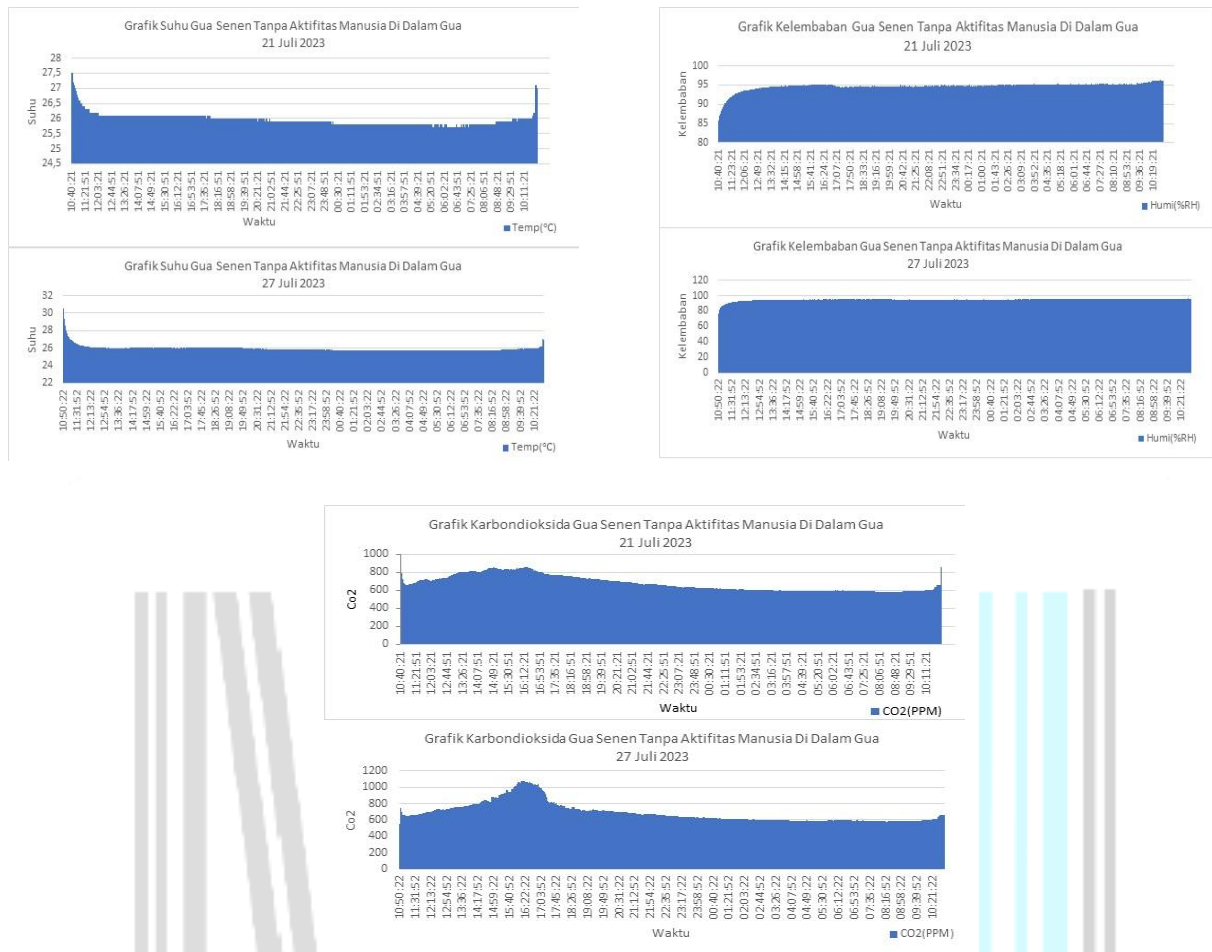
(d) Rambu peringatan

Gambar 5. Fasilitas di Dalam Gua

3.2 Variasi Temporal Iklim Mikro Gua Senen

3.2.1 Variabilitas Suhu, Kelembaban, Co2 Tanpa Aktifitas Manusia

Variasi temporal iklim mikro dalam penelitian ini merujuk pada perubahan kondisi suhu, kelembaban, dan kadar CO₂ dalam suatu lingkungan dengan kurun waktu 24 jam. Pengukuran iklim mikro pada saat gua kosong digunakan untuk mengetahui kondisi alami gua tanpa adanya intervensi manusia atau aktivitas lainnya.

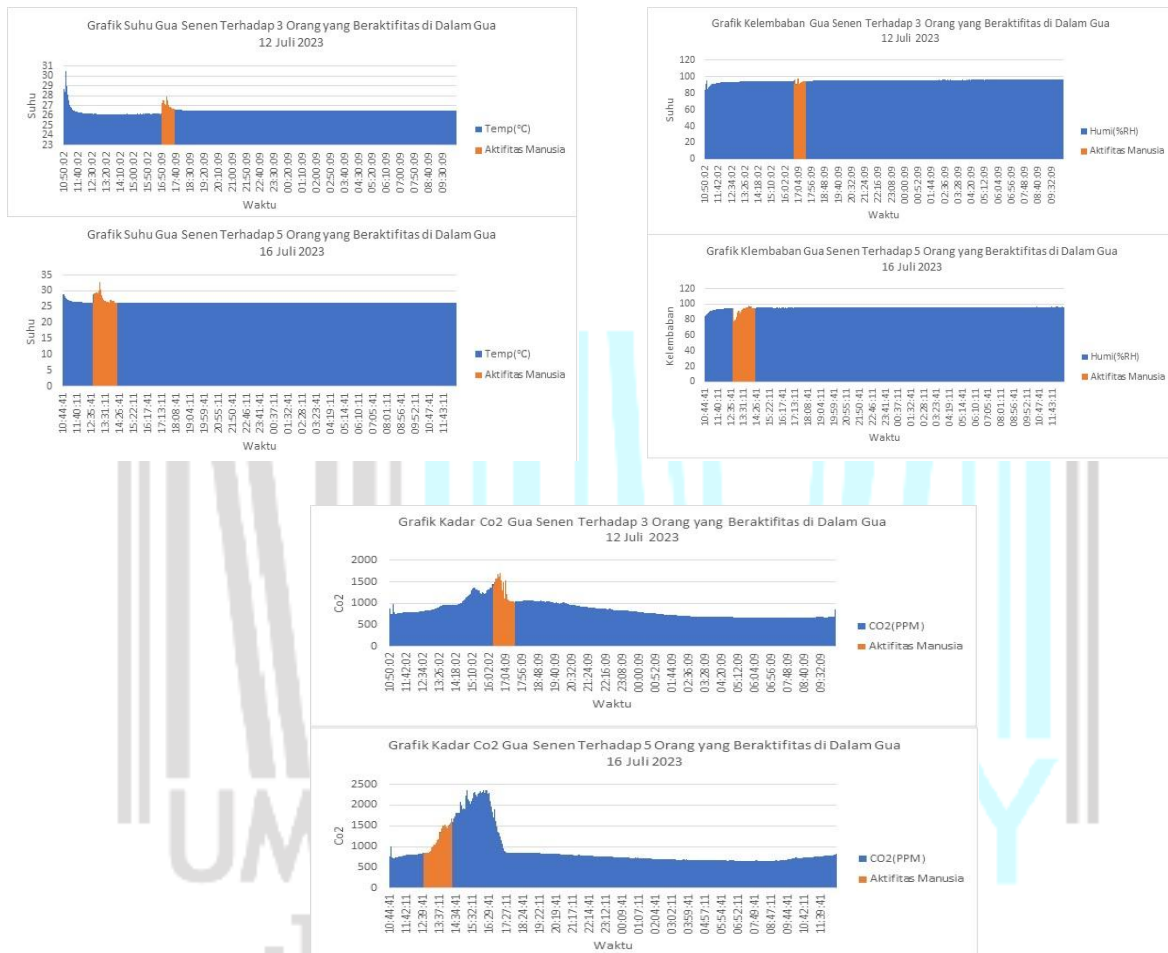


Gambar 6. Pengukuran Iklim Mikro Tanpa Aktifitas Manusia

Hasil Pencatatan dari 4 data iklim mikro diketahui nilai pencatatan saat goa kosong yaitu, rata- rata suhu gua saat kondisi alami didapatkan 25,9°C peningkatan suhu terjadi pada rentan waktu jam 10.00 dan mulai stabil saat jam 12.00, nilai tertinggi pada suhu di dalam gua senen dalam 2 kali pengambilan data iklim mikro mencapai 30°C dan nilai terendah 25,7°C maka saat kondisi alami suhu gua senen mengalami fluktuasi sebesar 4,1°C. Nilai rata-rata kelembaban saat kondisi alami didapatkan 95% penurunan nilai terjadi pada rentan waktu jam 10.00 dan mulai stabil pada jam 12.00, nilai tertinggi pada kelembaban di dalam gua senen mencapai 96,4% dan nilai terendah 77,2% maka saat kondisi alami kelembaban gua senen mengalami fluktuasi sebesar 1,4%. Peningkatan Kadar CO₂ saat kondisi alami terjadi pada jam 16.00 dengan kadar CO₂ berada pada kisaran 682ppm kondisi nilai tertinggi pada kadar co2 di dalam gua senen mencapai 1074ppm dan nilai terendah 549ppm maka saat kondisi alami konsentrasi kadar co2 gua senen mengalami fluktuasi sebesar 392ppm.

3.2.2 Variabilitas Suhu, Kelembaban, Co2 Terhadap Aktifitas Manusia

Pencatatan Iklim mikro gua saat adanya aktifitas manusia didalamnya digunakan sebagai perbandingan data dari gua kosong dan adanya aktifitas dalam gua sehingga mengetahui bagaimana aktifitas manusia memengaruhi kondisi alami gua.

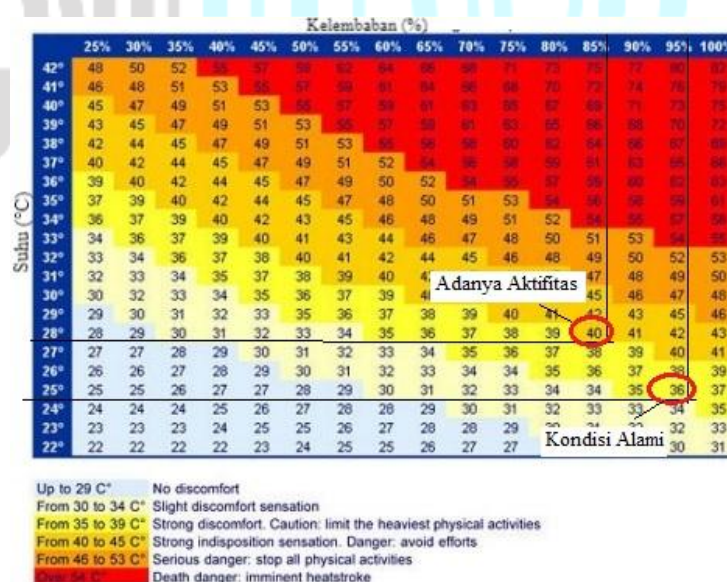


Gambar 7. Pengukuran Iklim Mikro Terhadap Aktifitas Manusia

Suhu tanggal 12 Juli terdapat 3 orang di dalam gua dengan lama 38 menit dan mendapatkan suhu stabil di angka 26,5°C dan peningkatan 28°C maka 3 orang dengan lama 38 menit dapat menaikkan suhu sebesar 1,5°C. Pencatatan Suhu tanggal 16 Juli terdapat 5 orang di dalam gua dengan lama 180 menit dan mendapatkan suhu stabil di angka 26,2°C dan peningkatan 32,8°C maka 5 orang dengan lama 180 menit dapat meningkatkan suhu sebesar 6,6°C. Pencatatan Kelembaban tanggal 12 Juli terdapat 3 orang di dalam gua dengan lama 38 menit dan mendapatkan nilai rata-rata kelembaban 95% dan penurunan nilai 87,7% maka 3 orang dengan lama 38 menit terjadi fluktuasi nilai kelembaban sebesar 7,3%. Pencatatan Kelembaban tanggal 16 Juli terdapat 5 orang di dalam gua dengan lama 180 menit dan mendapatkan nilai rata-rata kelembaban 95% dan penurunan nilai 74,6% maka 5 orang dengan lama 180 menit

terjadi fluktuasi nilai kelembaban sebesar 20,4%. Hasil pencatatan kadar co2 didalam gua selama 2 hari dengan adanya aktifitas di dalam gua mendapatkan nilai rata-rata sebesar 1219ppm, pencatatan kadar Co2 pada tanggal 12 Juli terdapat 3 orang di dalam gua dengan lama 38 menit mendapatkan Rata-rata sebanyak 858 ppm dan mengalami peningkatan sebanyak 1708ppm maka 3 orang dengan lama 38 menit terjadi peningkatan nilai kadar CO₂ sebesar 850ppm. Pencatatan Pencatatan Suhu tanggal 16 Juli terdapat 5 orang di dalam gua dengan lama 180 menit dan mendapatkan nilai kadar co2 stabil di angka 900ppm dan peningkatan 1686ppm maka 5 orang dengan lama 180 menit dapat meningkatkan nilai kadar co2 sebesar 786ppm

Hasil pencatatan data suhu dan kelembaban dianalisis pada tabel indeks ketidaknyamanan atau *discomfort index* (DI) yang dikeluarkan oleh Euroweather untuk mengetahui kenyamanan seseorang di suatu ruangan. Hasil pengeplotan nilai kondisi alami gua dikategori *Strong discomfort*, dengan indeks 36 yang menunjukkan rasa tidak nyaman yang kuat. Hasil plotting indeks ketidaknyamanan pada kondisi adanya aktifitas manusia di dalam gua menunjukkan kategori *strong indisposition sensation* dengan nilai index sebesar 40 menunjukkan sensasi sangat tidak nyaman dan disarankan untuk mengurangi aktifitas yang berat.



Gambar 8. Perubahan Nilai Indeks Kenyamanan Versi Euroweather

4. PENUTUP

- 1) Gua senen cukup aman untuk dijadikan tempat wisata karena adanya fasilitas yang memudahkan wisatawan sehingga tidak memerlukan keahlian khusus untuk memasuki gua senen. Pemasangan fasilitas di gua senen kurang baik bagi lingkungan gua karena pemasangan nya mengganggu pertumbuhan speleothem gua dan iklim mikro gua. Keadaan Speleothem gua senen pada zona terang sudah tidak lagi aktif bahkan ada yang menghitam dan banyak yang ditumbuhi oleh lumut, pada zona peralihan cukup baik dan berwarna putih walaupun tidak lagi aktif.
- 2) Parameter Iklim mikro yang terdiri dari suhu, kelembaban, dan karbon dioksida di gua senen terjadi perubahan signifikan seperti:
 - a) Suhu di dalam Gua Senen mengalami peningkatan sebesar 7,8°C. Peningkatan suhu ini dapat disebabkan oleh dua faktor utama. Pertama, aktivitas manusia dapat mengeluarkan panas tubuh sehingga berkontribusi pada peningkatan suhu. Kedua, cahaya matahari yang masuk langsung ke dalam gua melalui mulut gua yang menghadap secara vertikal berperan dalam peningkatan suhu di dalam gua. Sinar matahari yang masuk memanaskan batu-batu di dalam gua dan udara di dalamnya.
 - b) Kelembaban Terdapat penurunan pada nilai kelembaban di Gua Senen sebesar 19,4%. Penurunan kelembaban dapat disebabkan oleh aktivitas manusia dan bentuk morfometri gua senen. Aktivitas manusia di dalam gua akan meningkatkan suhu hal ini akan mengurangi kelembaban di dalam gua.
 - c) konsentrasi karbondioksida di dalam Gua Senen mengalami peningkatan sebesar 327 ppm. Peningkatan yang berkontribusi menambah CO₂ adalah pernapasan manusia dan pelapukan kayu yang berasal dari fasilitas di dalam gua
- 3) Peningkatan parameter iklim mikro paling tinggi adalah konsentrasi karbon dioksida, berdasarkan nilai CO₂ di dalam gua peningkatan CO₂ berada pada jam 14.00 sampai jam 17.00, nilai tertinggi CO₂ saat kondisi alami mencapai 1074ppm dan adanya aktifitas manusia mencapai 2366ppm, tingginya nilai CO₂ akan mengakibatkan pusing, ngantuk bahkan sampai pingsan, maka batas aman pengunjung di dalam gua pada jam 06.00 sampai jam 13.00

DAFTAR PUSTAKA

- Laksmana, E. E. (2005). *STASIUN NOL*. Jogjakarta: Acintyacunyata Speleological Club.
Badan Pusat Statistik (2021), *Kecamatan Tepus Dalam Angka 2021*, katalog no. 1102001.3403040,

- Winarno, D. G., & Harionto, S. P. (2017). *EKOWISATA*. Bandar Lampung: Pusaka Media.
- Lakitan, B. 2002. *Dasar-Dasar Klimatologi*. Cetakan Ke-2. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Limagne, (2013). *Caving Technical Guide*. France: Federation Francaise de Speleologie.
- Haryono, E., & Adji, T. (2017). *Geomorfologi dan Hidrologi Karst: Bahab Ajar*. 45.
- GUNN, John (ed.). *Encyclopedia of caves and karst science*. Taylor & Francis, 2004.
- Cigna, Arrigo A. "Show caves." *Encyclopedia of caves*. Academic Press, 2019. 909-921.
- Adji, T., & Mada, U. G. (2005). *Analisis Daya Dukung Gua untuk Pengembangan Ekowisata (Studi Kasus: Gua Gong dan Gua Tabuhan, Kabupaten Pacitan)*. 18(4), 2005.
- Konservasi, D., Hutan, S., Ekowisata, D. A. N., & Kehutanan, F. (2015). *Pengaruh kegiatan wisata terhadap karakteristik biofisik ekosistem gua di taman nasional bantimurung bulusaraung anugro purwidiatmoko*.
- Uca, U., & Angriani, R. (2018). *Pemetaan Gua Kalibbong Aloa Kawasan Karst Pangkep*. Sainsmat : Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam, 7(2), 92.
- Setyaji, G. W., & Haryono, E. (2020). *Carbon dioxide variability in Gong Cave, Pacitan Regency, Indonesia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 451(1).
- Putra, E. B. D., Haryono, E., & Nurjani, E. (2017, July). *Cave carrying capacity: Lesson learned from Pindul Cave and Baru Cave, Gunung Sewu Geopark-Indonesia*. In Technical Seminar on Biostratigraphy and Karst Morphology of Saturn Aspiring Geopark, 43-49
- Alt, L., & Moura, V. (2013). *Use of impact mapping for planning the infrastructure in tourist caves - case study: Maquiné Cave, Brazil*. 20th National Cave and Karst Management Symposium, 77–88.
- Lobo, H. A. S., Boggiani, P. C., & Perinotto, J. A. J. (2015). *Speleoclimate dynamics in santana cave (PETAR, São Paulo state, Brazil): General characterization and implications for tourist management*. *International Journal of Speleology*, 44(1), 61–73.
- Danardono, D., Putra, E. B. D., Haryono, E., Nurjani, E., & Sunariya, M. I. T. (2018). *Speleoclimate Monitoring to Assess Cave Tourism Capacity in Gelatik Cave, Gunungsewu Geopark, Indonesia*. *Forum Geografi*, 32(2), 181–194.
- Lobo, H. A. S. (2015). *Tourist carrying capacity of Santana cave (PETAR-SP, Brazil): A new method based on a critical atmospheric parameter*. *Tourism Management Perspectives*, 16, 67–75.
- Cigna, A. A. (2012). *Show caves*. In *Encyclopedia of Caves* (pp. 690–697). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-383832-2.00102-X>
- Tjoen, R. K. K. (2012). *Persebaran Karst di Beberapa Pulau-Pulau Terluar Indonesia dan Prospeknya pada Penelitian Arkeologi Indonesia*. *Kalpataru*, 61–122.
- Belva A.W, R. A. H., Setyaningsih, W., Nugroho, P. S., Hardiana, A., & Purwani, O. (2021). *Identifikasi Potensi Wisata Situs Gua Song Gilap Di Pracimantoro, Wonogiri, Jawa Tengah*. *Arsitektura*, 19(1), 147.
- Supriatno, A., Prasetyono, D., Hardianto, A. S., Labib, M. A., Efendi, S., Hidayat, K., Triyono, J. A., & Ahmad, A. A. (2017). *Identifikasi Hubungan Kelurusan dan Pola Lorong Gua Karst di Kecamatan Sumbermanjing Weta Kabupaten Malang*. *Prosiding Seminar Nasional Geotik*, 20–30.

- de Frietas, C. (2010). *The role and importance of cave microclimate in the sustainable use and management of show caves*. *Acta Carsologica*, 39(3), 477–489.
- Arida, I. N. S. (2017). *Ekowisata: Pengembangan, Partisipasi Lokal, dan Tantangan*. In Cakra Press.
- Wardani, P. I. (2008). *Morfometri Ornamen Gua (Speleothem) di Kawasan Kars Buniayu , Sukabumi , Jawa Barat*. *Lib. Ui*, 1–124.
- Lobo, H. A. S., & Zago, S. (2010). Iluminação com carbureteiras e impactos ambientais no microclima de cavernas: estudo de caso da lapa do penhasco, buritinópolis-go. *Geografia, Rio Claro*, 35(1), 183–196.
- Ashari, A. (2015). Pola Lorong Gua Dan Speleogenesis Pada Sistem Perguaan Gesing-Jlamprong-Sinden Karst Gunungsewu. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 11(2), 207–222.
- Massinai, M. A., & Rahmat, A. (2014). Analisis Mineralogi Batuan Gua Lakasa, Buton. *Prosiding Seminar Nasional Geofisika, September*, 66–68.
- Haryono, E. dkk. (2017). Petunjuk Kegiatan Lapangan: Hidrogeologi Kawasan Karst Gunungsewu. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1–33.
- Geary, David F. "American Society of Heating, Refrigerating and Air- conditioning Engineers Guideline 12- 2000: *Minimizing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems*." *Legionella* (2001): 376-384.
- Rusmana, S. F., & Falahuddin, M. A. (2022, August). Pengaturan Konsentrasi CO2 Ruangan Menggunakan Exhaust Fan Berbasis Inverter Vsd dan Plc. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 13, No. 01, pp. 239-244).
- Hidayati, Putri. 2011. *Pengaruh setting temperatur terhadap kinerja ac Split*. *Jurnal Teknik Konversi Energi*
- Lagiyono. 2012. *Pengaruh udara masuk terhadap suhu air conditioner (ac) kapasitas 1 pk pada ruang instalasi uji*. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang*
- Whorf, T.P., Keeling, C. D. (2005). *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. *Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.* Period of record: 1958-2004