

## Studi Iklim dan Vegetasi Menggunakan Pengukuran Isotop Alam Stalaktit Goa Seropan, Gunung Kidul-Yogyakarta

### *Climate and Vegetation Study Using Environmental Isotope Types of Stalactite at Seropan Cave, Gunung Kidul-Yogyakarta*

Satrio, Paston Sidauruk dan Bungkus Pratikno

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN  
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jumat, Jaksel 12440  
e-mail : satrio@batan.go.id

Diterima 13 Maret 2012; Disetujui 14 Mei 2012

#### ABSTRAK

**Studi Iklim dan Vegetasi Menggunakan Pengukuran Isotop Alam Stalaktit Goa Seropan, Gunung Kidul-Yogyakarta.** Telah dilakukan penelitian untuk mempelajari perubahan iklim dan vegetasi menggunakan isotop alam  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  dan  $^{18}\text{O}$  yang berasal dari sampel stalaktit. Sampel stalaktit diambil dari goa Seropan yang terletak di Kecamatan Semanu, Gunung Kidul, Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan mengetahui perubahan iklim, vegetasi, temperatur atmosfer, umur dan pertumbuhan stalaktit. Kandungan  $\text{CaCO}_3$  dalam stalaktit digunakan untuk mendapatkan data dari ke tiga jenis isotop alam tersebut. Data isotop  $^{13}\text{C}$  digunakan untuk mengetahui fluktuasi iklim dan vegetasi. Data isotop  $^{18}\text{O}$ , baik yang berasal dari stalaktit maupun dari air tanah yang menetes dalam stalaktit digunakan untuk mengetahui perubahan temperatur atmosfer, sedangkan isotop  $^{14}\text{C}$  digunakan untuk mengetahui umur dan pertumbuhan stalaktit. Hasil analisis isotop alam  $^{13}\text{C}$  menunjukkan bahwa iklim daerah Gunung Kidul didominasi iklim kering. Hampir 87,5 % menunjukkan vegetasi kering C4, di mana kandungan  $\delta^{13}\text{C}$ -nya lebih kaya (-6 ‰ hingga +2 ‰ *Pee Dee Belemnite*, PDB) dan hanya 12,5 % saja kadang-kadang vegetasinya basah C3, di mana kandungan  $\delta^{13}\text{C}$ -nya lebih miskin (-14 ‰ hingga -6 ‰ PDB). Dari hasil analisis  $^{18}\text{O}$  (stalaktit, PDB) dan  $^{18}\text{O}$  (tetesan air, *Standard Mean Ocean Water*, SMOW) menghasilkan data temperatur antara 12,2 °C hingga 32,1 °C dalam kurun waktu dari tahun 1621 hingga 2011 dengan temperatur rata-rata 19,5 °C, sedangkan dari hasil analisis  $^{14}\text{C}$  menunjukkan bahwa pertumbuhan stalaktit sekitar 0,1 mm/tahun atau dalam sepuluh tahun hanya tumbuh sekitar 1 mm saja. Pertumbuhan ini tergolong lambat dan hal ini lazim untuk daerah tropis dengan iklim/vegetasi kering seperti Gunung Kidul.

**Kata kunci:** studi iklim, vegetasi, isotop alam, stalaktit, goa Seropan

#### ABSTRACT

**Climate and Vegetation Study Using Environmental Isotope Types of Stalactite at Seropan Cave, Gunung Kidul-Yogyakarta.** Climate and vegetation study using environmental isotopes (i.e.,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}$ ) variations of stalactite has been conducted at Seropan cave, Gunung Kidul Karst area. The stalactite samples were collected from Seropan Cave at Semanu, Gunung Kidul, Yogyakarta. The objective of study is to understand the climate change, and vegetation types, temperature of atmosphere, age and stalactite growth rate through the interpretation of environmental isotopes (i.e.,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}$ ) of stalactite samples. The environmental isotope content of stalactite samples were analysed through  $\text{CaCO}_3$  compound that was found at the stalactite samples. The  $^{13}\text{C}$  content of samples is important to understand climate undulation and also vegetation variation. On the other hand, the variation of  $^{18}\text{O}$  and  $^{14}\text{C}$  contents is important to predict past temperature of atmosphere, and the age as well as stalactite growth rate, respectively. The result of environmental  $^{13}\text{C}$  isotope analysis showed that Gunung Kidul area in general can be classified as dry climate. It is also indicated that almost 87.5 % of local vegetation can be classified as dry vegetation C4 as can be seen from the variation of  $\delta^{13}\text{C}$  content that is -6 ‰ to +2 ‰ vs PDB. This can also

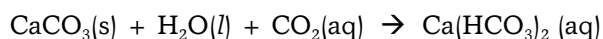
mean that only 12.5 % of the time that the vegetation in the area is wet in which the variation of  $\delta^{13}\text{C}$  content is in the range  $-14\text{‰}$  to  $-6\text{‰}$  vs PDB. The variations of  $^{18}\text{O}$  contents of the samples (carbonate stalactite, or drip water) showed that the average temperature since 1621 to 2011 was around  $19.5\text{ }^\circ\text{C}$ . On the other hand, the variations of  $^{14}\text{C}$  contents of the samples showed that stalactite growth rate was around  $0.1\text{ mm/year}$  or one mm in ten years. The result shows that the stalactite growth is very slow as generally expected in tropical area such as Gunung Kidul.

**Key words:** climate study, vegetation, environmental isotope, stalactite, Seropan cave

## PENDAHULUAN

Goa Seropan terletak di Semanu, Kabupaten Gunung Kidul. Goa berkedalaman 300 m ini memiliki air terjun di dalam goa yang membuat goa ini memiliki ciri tersendiri di samping kumpulan stalaktitnya yang menakjubkan. Goa ini terbentuk pada formasi batu gamping yang umumnya kemudian berkembang menjadi suatu bentang alam khas yang dikenal sebagai bentang alam karst. Hampir semua goa yang ada dibentuk dari karst. Istilah karst dipakai untuk suatu kawasan batu gamping (*limestone*) yang telah mengalami pelarutan sehingga menimbulkan relief dan pola pengaliran yang khas.

Pembentukan goa sangat intensif di kawasan karst yang batuanannya didominasi batu gamping. Hal ini sangat terkait dengan sifat batu gamping yang unsur utamanya adalah karbonat  $\text{CaCO}_3$  yang sangat reaktif terhadap larutan asam, khususnya larutan senyawa asam yang mengandung  $\text{CO}_2$ . Stalaktit terbentuk dari pengendapan kalsium karbonat dan mineral lainnya yang terendapkan pada larutan air mineral. Batu kapur adalah batuan kalsium karbonat yang dilarutkan oleh air yang mengandung karbon dioksida sehingga membentuk larutan kalsium bikarbonat.



Larutan ini mengalir melalui bebatuan sampai mencapai sebuah tepi dan jika tepi berada di atap goa, maka akan menetes ke bawah. Ketika larutan mengalami kontak dengan udara, terjadi reaksi kimia terbalik dari sebelumnya dan partikel kalsium karbonat tersimpan sebagai endapan.



Hasil dari mekanisme di atas adalah stalaktit yang memiliki lobang di dalamnya atau dapat menyebabkan bekas lobang di bagian tengahnya. Banyaknya corak stalaktit disebabkan oleh terhambatnya saluran dan akibat variasi musim.



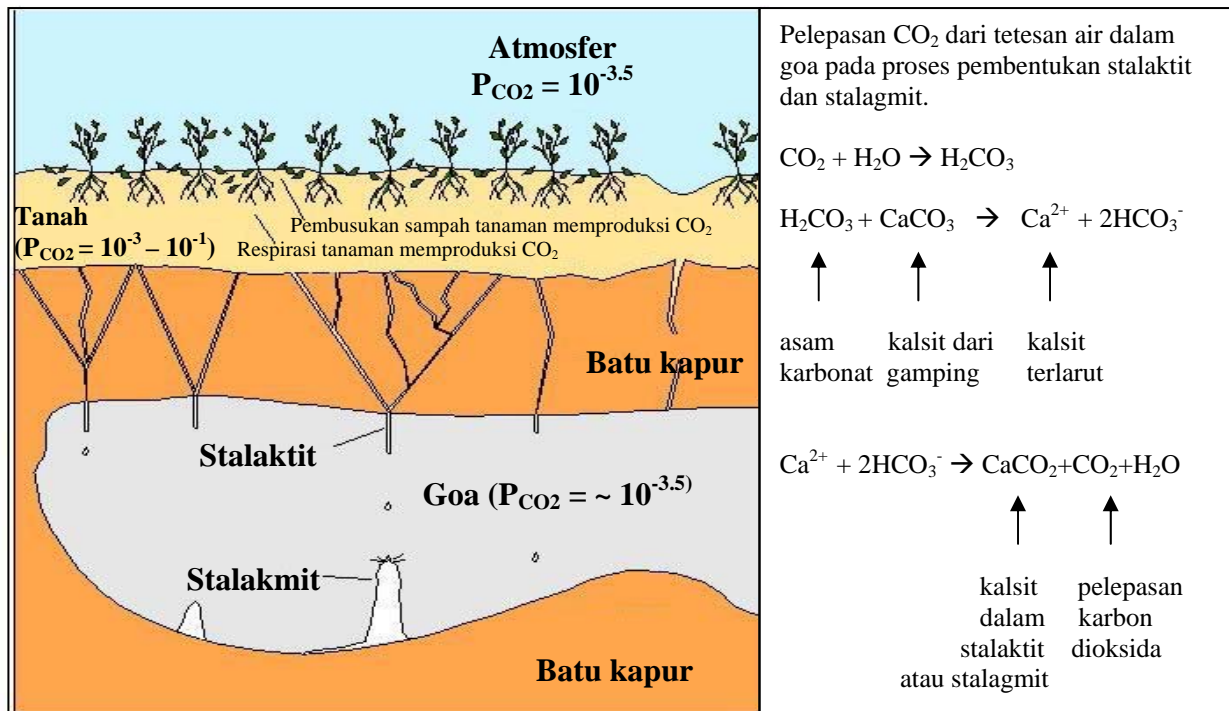
**Gambar 1.** Stalaktit Goa Seropan

Tingkat pertumbuhan rata-rata stalaktit antara  $0,05\text{ mm}$  hingga  $1,5\text{ mm}$  per tahun. Pertumbuhan stalaktit yang tercepat adalah yang dibentuk oleh air yang mengalir cepat serta kaya akan kalsium karbonat dan karbondioksida sehingga dapat tumbuh sekitar  $3\text{ mm}$  per tahun [3]. Mekanisme

pembentukan stalaktit dan stalagmit dapat dilihat pada Gambar 2.

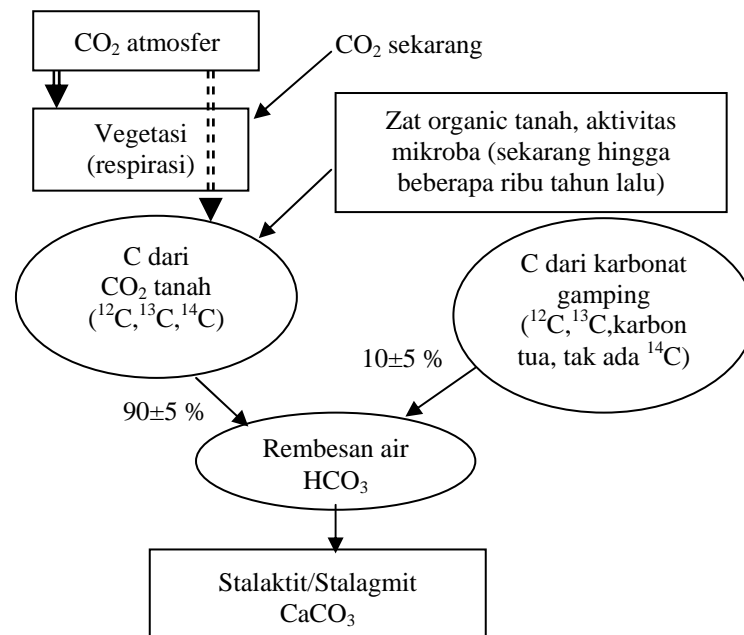
Proses pembentukan stalaktit/stalagmit sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor

terutama kondisi atmosfer atau iklim. Pada Gambar 3 diperlihatkan mengenai faktor-faktor yang turut berkontribusi dalam proses pembentukan stalaktit/stalagmit serta



LBR 12/1999 rev. 3/2002

Gambar 2. Mekanisme pembentukan stalaktit dan stalagmit [1]



Gambar 3. Faktor-faktor yang berkontribusi dalam pembentukan stalaktit dan stalagmit [2]

ornamen goa lainnya. Kontribusi terbesar berasal dari  $\text{CO}_2$  yang berinfiltrasi ke dalam tanah dan hanya sebagian kecil saja yang berasal dari proses pelarutan batuan gamping. Setiap perubahan yang terjadi di atmosfer akan memengaruhi proses pembentukan stalaktit/stalagmit sehingga senyawa  $\text{CaCO}_3$  dari stalaktit/stalagmit merupakan 'arsip' yang ideal dalam mempelajari paleoklimatologi. Beberapa sifat stalaktit/stalagmit yang mendukung pernyataan ini adalah: memiliki pola stratigrafi yang jelas, memberikan data "dating" yang akurat dan variasi komposisi isotop sesuai kondisi lingkungan [4].

Berdasarkan sifat-sifat stalaktit/stalagmit tersebut dapat diketahui korelasi antara proses pembentukan stalaktit/stalagmit dengan lingkungan di atasnya [5].

Isotop  $^{18}\text{O}$  yang terdepositkan dalam karbonat stalaktit/stalagmit dikontrol oleh temperatur rata-rata tahunan dan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dalam air hujan, sedangkan isotop karbon ( $^{13}\text{C}$  dan  $^{14}\text{C}$ ) yang terdepositkan dalam karbonat stalaktit/stalagmit terutama sangat bergantung pada  $\text{CO}_2$  atmosfer dalam air hujan, proses fotosintesis, respirasi, proses dekomposisi dalam tanah dan curah hujan. Semua peristiwa yang berkaitan dengan iklim dan vegetasi yang terjadi di

daerah karst yang di bawahnya terdapat goa akan tersimpan datanya dalam stalaktit/stalagmit melalui isotop  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$  dan  $^{14}\text{C}$ . Dengan latar belakang tersebut, sampel stalaktit/stalagmit dapat digunakan sebagai sarana untuk mengestimasi perubahan iklim dan vegetasi lingkungan dari masa lampau hingga saat ini melalui pengukuran ke tiga jenis isotop tersebut [6].

## METODE

### Pengambilan sampel stalaktit

- Pengambilan sampel stalaktit dapat dilakukan dengan cara *coring* atau dengan memotong menggunakan *stone cutter*. Teknik *coring* bisa dilakukan bila ukuran stalaktit/stalagmitnya melebar, sedangkan cara pemotongan hanya bisa dilakukan bila ukuran stalaktit/stalagmitnya ramping sehingga sangat sulit dilakukan dengan teknik *coring*. Untuk sampel stalaktit dari goa Seropan, dilakukan dengan cara pemotongan. Pengambilan sampel per lapisan dilakukan menggunakan mesin bor mini dengan mata bor 1 mm.



Gambar 4. Alat bor mini untuk pengambilan sampel  $^{13}\text{C}$

- b. Pengambilan tetesan air stalaktit dilakukan dengan menampung sampel air tersebut dalam vial 5 ml.

### Analisis sampel

#### Analisis Isotop $^{13}\text{C}$ dan $^{18}\text{O}$

**Analisis isotop  $^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$  dan  $^{18}\text{O}_{(\text{PDB})}$  dari stalaktit.** Batuan stalaktit yang diambil di haluskan hingga menjadi serbuk kemudian dikeringkan pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam. Setelah dikeringkan serbuk sampel kemudian direaksikan dengan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  100 % dalam tabung *Kjeildahl* pada kondisi vakum. Gas  $\text{CO}_2$  yang terlepas dari reaksi tersebut kemudian ditangkap (*trapping*) menggunakan  $\text{N}_2$  cair pada suhu  $-195^{\circ}\text{C}$ . Gas hasil *trapping* tersebut selanjutnya dianalisis rasio isotop  $^{13}\text{C}$ -nya menggunakan spektrometer SIRA-9 VG Isogas. Hasil analisis dinyatakan dalam satuan permill ( $\text{‰}$ ).

**Analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan Deuterium sampel air stalaktit.** Sampel air yang jatuh dari stalaktit ditampung dalam botol sampel sebanyak 2 ml, kemudian rasio isotop  $^{18}\text{O}$  dan Deuteriumnya dianalisis menggunakan *Liquid Water Isotope Analyzer* buatan *Los Gatos Research (LGR)*. Hasil analisis dengan piranti LGR inipun dinyatakan dalam satuan permill ( $\text{‰}$  SMOW).

#### Analisis $^{14}\text{C}$

Analisis isotop  $^{14}\text{C}$  dilakukan dengan metode carbosorb yaitu dengan cara melakukan penyerapan  $\text{CO}_2$ , baik  $\text{CO}_2$  yang berasal dari sampel, latar belakang maupun standar dengan penyerap carbosorb yang telah dicampur dengan sintilator. Fungsi sintilator adalah untuk mengubah emisi  $\beta$  dari  $^{14}\text{CO}_2$  menjadi foton-foton cahaya.

#### Standar dan latar belakang

Standar yang digunakan untuk konversi aktivitas menjadi umur adalah SRM-4990C yang berasal dari National Bureau Standard USA, sedangkan bahan latar belakang adalah "pure" carbosorb dan sintilator tanpa  $\text{CO}_2$ . Bahan latar belakang

ini berfungsi untuk menangkap radiasi lingkungan di sekitar pencacah berada.

Dalam kondisi vakum, sampel karbonat  $\text{CaCO}_3$  direaksikan dengan  $\text{HCl}$  10% sehingga diperoleh  $\text{CO}_2$  melalui reaksi berikut.



Sebanyak kira-kira lima liter  $\text{CO}_2$  ditampung dalam tabung *stainless steel*. Gas  $\text{CO}_2$  ini selanjutnya dialirkan ke kolom absorpsi yang telah diisi dengan 35 ml larutan sintilator dan carbosorb. Setelah proses absorpsi selesai, larutan yang terbentuk langsung dikururkan ke dalam labu *Erlenmeyer* sambil dialiri gas  $\text{N}_2$ . Sebanyak 21 ml larutan tersebut diambil dan dituangkan ke dalam vial gelas 21 ml dengan menggunakan pipet volumetrik. Radioisotop  $^{14}\text{C}$  yang terkandung dalam  $^{14}\text{CO}_2$  kemudian dicacah dalam pencacah sintilasi cair selama 20 menit dengan 50 kali pengulangan atau 1000 menit. Lamanya pencacahan dapat diubah bila diperlukan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Isotop $^{13}\text{C}$ dan $^{18}\text{O}$

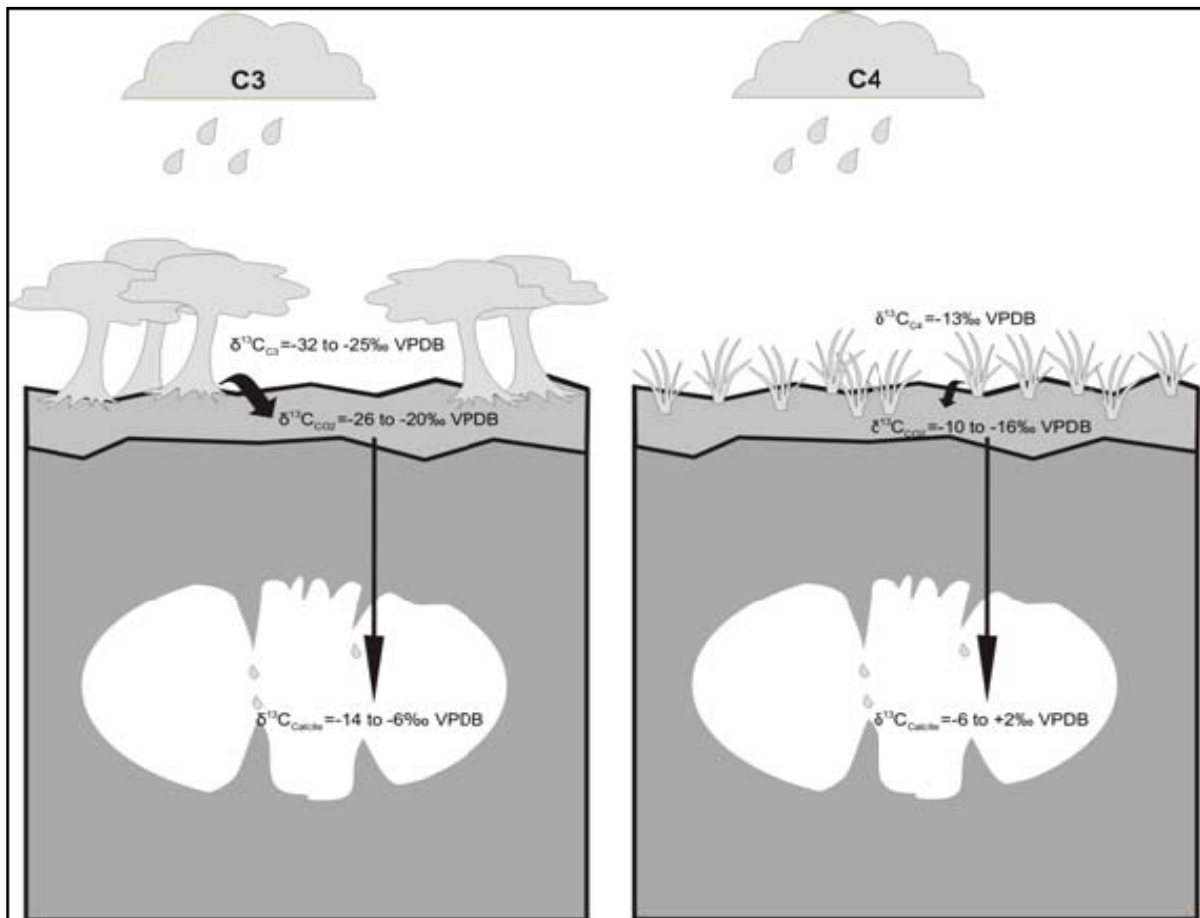
Sampel stalaktit yang diambil dari Goa Seropan, Semanu, Gunung Kidul, Yogyakarta, pada tahun 2011 ukurannya ramping sehingga hanya mungkin diambil dengan cara dipotong menggunakan mesin pemotong dan kemudian dibelah menjadi dua bagian sehingga tampak pola lapisannya. Sebanyak 40 titik sampel  $\text{CaCO}_3$ -nya dalam bentuk serbuk diambil dengan cara dibor menggunakan mata bor 1 mm dan selanjutnya kandungan isotop alam  $^{13}\text{C}$  dan  $^{18}\text{O}$  dianalisis menggunakan spektrometer massa. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Stalaktit yang berada di bawah tumbuhan vegetasi  $\text{C}_4$  atau vegetasi kering memiliki kandungan  $^{13}\text{C}$  antara  $-6 \text{‰}$  hingga  $+2 \text{‰}$  (Pee Dee Belemnite, PDB). Stalaktit yang di atasnya terdapat tumbuhan dengan

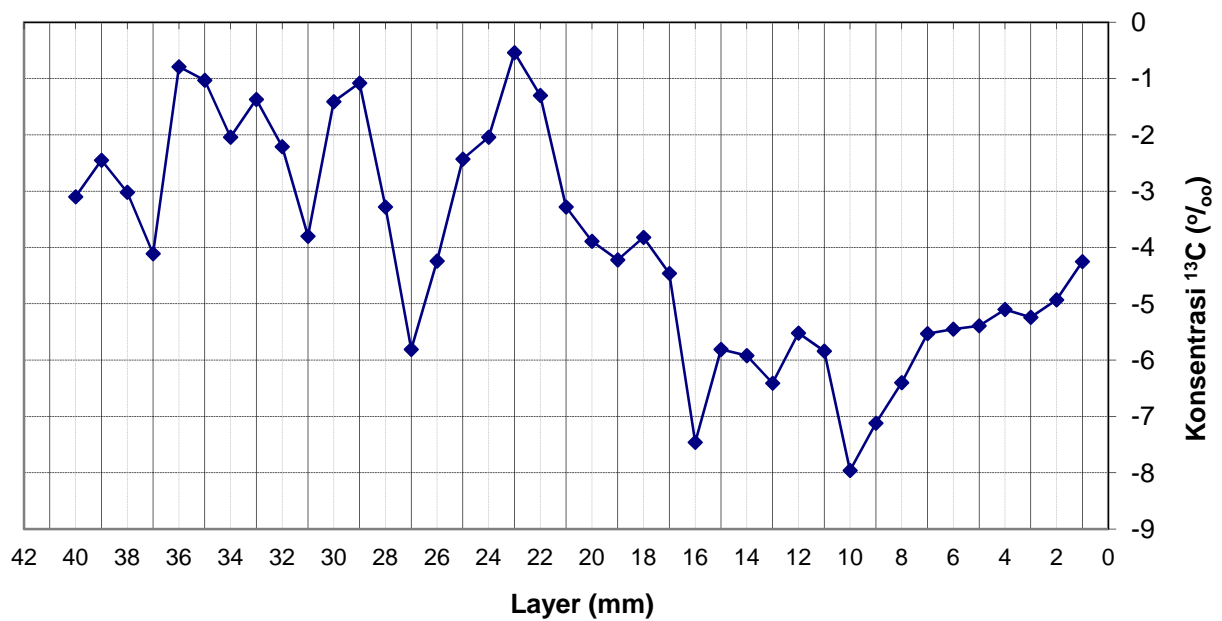
vegetasi basah C3 memiliki kandungan  $^{13}\text{C}$  antara  $-14 \text{ ‰}$  hingga  $-6 \text{ ‰}$  (PDB) [7]. Karakteristiknya dapat dilihat pada Gambar 4.

**Tabel 1.** Konsentrasi  $^{13}\text{C}$  dan  $^{18}\text{O}$  stalaktit

Tahun	Kode sampel	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	T ( $^{\circ}\text{C}$ )
2011	L1	-4,25	-9,39	28,3
2001	L2	-4,93	-9,36	28,1
1991	L3	-5,24	-9,41	28,4
1981	L4	-5,10	-8,52	24,0
1971	L5	-5,39	-8,42	23,5
1961	L6	-5,45	-8,54	24,1
1951	L7	-5,53	-8,23	22,6
1941	L8	-6,40	-8,16	22,3
1931	L9	-7,12	-8,13	22,2
1921	L10	-7,96	-8,09	22,0
1911	L11	-5,84	-6,63	15,4
1901	L12	-5,52	-6,20	13,6
1891	L13	-6,41	-6,13	13,3
1881	L14	-5,92	-6,43	14,6
1871	L15	-5,81	-6,73	15,9
1861	L16	-7,46	-7,77	20,5
1851	L17	-4,46	-8,28	22,9
1841	L18	-3,82	-8,29	22,9
1831	L19	-4,22	-7,82	20,7
1821	L20	-3,89	-7,76	20,4
1811	L21	-3,28	-7,65	19,9
1801	L22	-1,30	-7,11	17,5
1791	L23	-0,54	-6,70	15,7
1781	L24	-2,04	-8,13	22,2
1771	L25	-2,43	-10,12	32,1
1761	L26	-4,24	-8,65	24,6
1751	L27	-5,81	-8,41	23,5
1741	L28	-3,28	-7,11	17,5
1731	L29	-1,08	-6,90	16,6
1721	L30	-1,41	-6,79	16,1
1711	L31	-3,80	-6,95	16,8
1701	L32	-2,21	-6,18	13,5
1691	L33	-1,37	-6,28	13,9
1681	L34	-2,04	-6,43	14,6
1671	L35	-1,03	-6,65	15,5
1661	L36	-0,79	-7,50	19,3
1651	L37	-4,11	-5,86	12,2
1641	L38	-3,02	-6,16	13,4
1631	L39	-2,45	-6,48	14,8
1621	L40	-3,10	-6,25	13,8



Gambar 4. Karakteristika vegetasi C3 dan C4

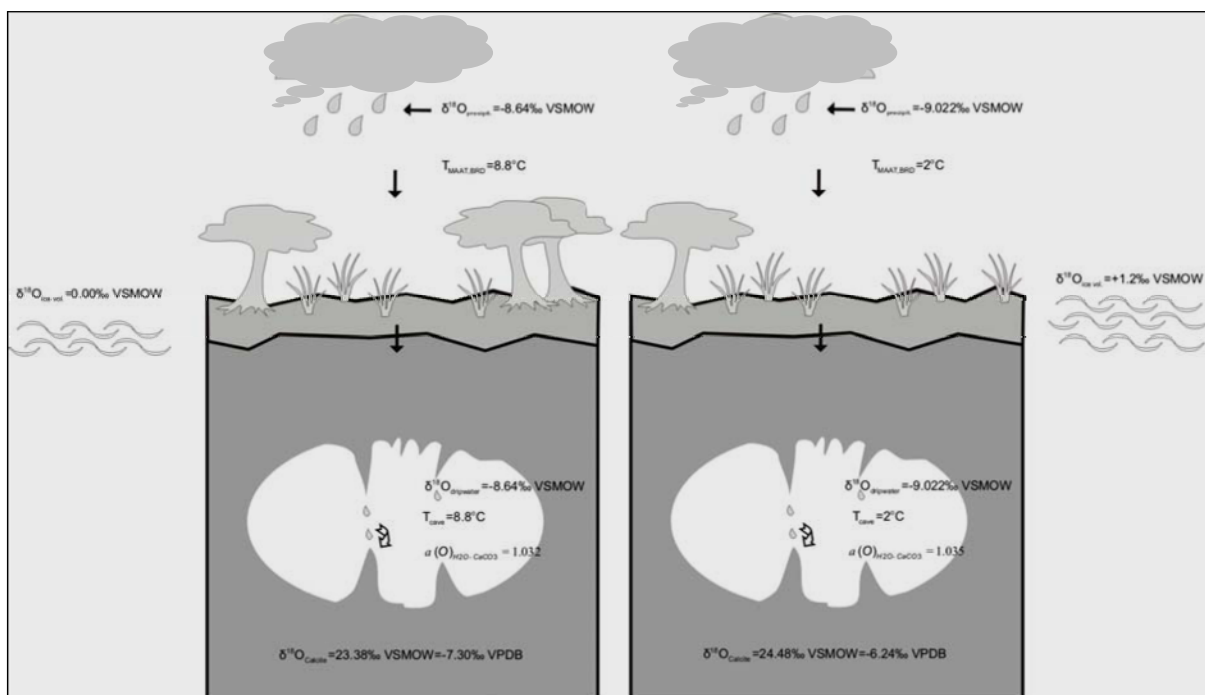


Gambar 5. Konsentrasi isotop <sup>13</sup>C sampel stalaktit

Berdasarkan data  $^{13}\text{C}$  di atas terlihat bahwa untuk daerah Gunung Kidul didominasi oleh vegetasi kering C4 (87,5 %) dan hanya beberapa saat saja memiliki vegetasi basah C3 (12,5 %). Data C3 dan C4 menggambarkan kondisi vegetasi setempat, sedangkan fluktuasi  $^{13}\text{C}$  seperti terlihat pada Gambar 5 secara keseluruhan menggambarkan fluktuasi iklim di masa lampau hingga saat ini [8]. Terlihat bahwa antara sampel titik 19 (tahun 1831) hingga titik 40 (tahun 1621) menunjukkan iklim yang didominasi iklim kering dan setelah itu iklimnya cenderung menuju iklim basah. Namun sejak sekitar tahun 1921 (titik sampel 10) pola iklimnya terus menunjukkan peningkatan, yaitu semakin menuju ke iklim kering. Hal wajar sebagai dampak dari semakin banyaknya aktivitas manusia terutama akibat pembakaran bahan bakar fosil sehingga meningkatkan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer.

mengenai perubahan temperatur atmosfer dari masa lampau hingga kini. Gambar 6 di bawah ini menunjukkan bahwa setiap perubahan temperatur di permukaan data isotopnya akan tersimpan dalam stalaktit atau ornamen goa lain selama masa pertumbuhannya.

Berdasarkan data isotop  $^{18}\text{O}$  terlihat bahwa temperatur atmosfer di daerah Gunung Kidul bervariasi antara  $12,2\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $32,1\text{ }^\circ\text{C}$  dalam kurun waktu dari tahun 1621 hingga 2011. Dari tahun 1621 hingga 1731 temperaturnya berfluktuasi antara  $12,2\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $19,3\text{ }^\circ\text{C}$  dan setelah itu meningkat hingga  $32,1\text{ }^\circ\text{C}$ . Konsentrasi  $^{18}\text{O}$  yang berfluktuatif dari waktu ke waktu menunjukkan adanya fenomena yang terjadi di luar goa. Pada layer 40-29 mm fluktuasinya kecil, sedangkan pada layer 30-11mm terjadi fluktuasi yang signifikan dengan variasi konsentrasi  $^{18}\text{O}$  antara  $-6\text{ }^\circ\text{‰}$  hingga  $-2\text{ }^\circ\text{‰}$ . Peningkatan konsentrasi  $^{18}\text{O}$



**Gambar 6.** Karakteristika komposisi isotop di permukaan dan di dalam goa

Data isotop  $^{18}\text{O}$  (PDB) dari karbonat stalaktit dan isotop  $^{18}\text{O}$  (SMOW) dari tetesan air goa akan memberikan informasi

terus terjadi mulai layer 11-1 mm. Ini artinya terjadi peningkatan konsentrasi  $^{18}\text{O}$  di atmosfer yang sejalan dengan



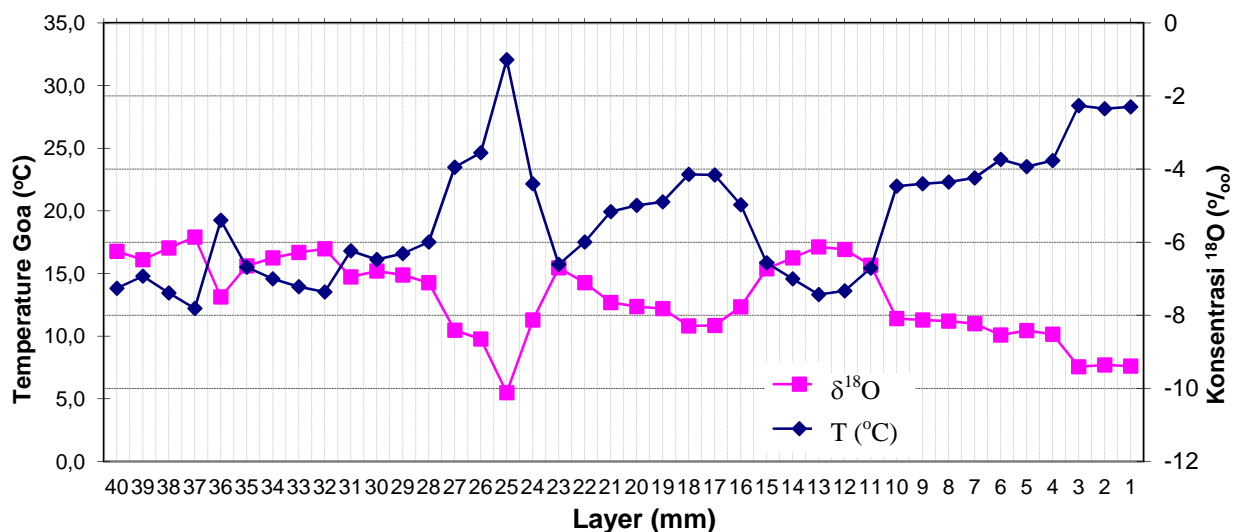
meningkatnya temperatur. Fluktuasi temperatur dan isotop  $^{18}\text{O}$  dapat dilihat pada Gambar 7.

Dari tahun 1791 hingga 1911 polanya kembali berfluktuasi seperti sebelumnya dan semenjak 1911 temperaturnya terus menunjukkan peningkatan hingga 2011 pada saat sampel diambil. Secara keseluruhan temperatur atmosfer rata-rata dalam kurun waktu 1621 hingga 2011 sebesar  $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Radioisotop $^{14}\text{C}$

Di bawah ini data mengenai pertumbuhan stalaktit dari goa Seropan. Dari data tersebut terlihat bahwa umur stalaktit pada kedalaman 50 mm dari permukaan adalah 10430 tahun, sedangkan pada bagian tengah memiliki umur 10930

tahun. Dengan jarak 50 mm tersebut, maka pertumbuhan stalaktit sekitar  $0,100\text{ mm/tahun}$ . Sehingga, dalam 10 tahun pertumbuhannya sebesar  $1,00\text{ mm}$ . Demikian halnya dengan umur stalaktit pada bagian atas memiliki umur 12100 tahun. Karena jarak dengan stalaktit tengah sebesar  $120\text{ mm}$ , maka tingkat pertumbuhannya sekitar  $0,102\text{ mm/tahun}$  atau dalam 10 tahun akan tumbuh sebesar  $1,02\text{ mm}$ . Pertumbuhan stalaktit di goa Seropan berdasarkan data tersebut tidak begitu cepat dengan rata-rata  $1\text{ mm/tahun}$ . Hal ini bisa dimengerti, karena berdasarkan data  $^{13}\text{C}$  telah diketahui bahwa daerahnya merupakan daerah dengan iklim kering, sehingga tetesan air yang melarutkan karbonat pun tidak begitu cepat.



Gambar 7. Fluktuasi temperatur dan konsentrasi  $^{18}\text{O}$

Tabel 2. Hasil analisis  $^{14}\text{C}$  stalaktit goa Seropan

No.	Nama sampel	Cacacah (cpm)	Percent Modern Carbon (pMC)	Umur (tahun)	Pertumbuhan (mm/tahun)
1	Stalaktit bawah	$11,78 \pm 0,52$	26,88	10430	-
2	Stalaktit tengah	$11,63 \pm 0,47$	25,64	10930	0,100
3	Stalaktit atas	$11,42 \pm 0,50$	23,021	12100	0,102

## KESIMPULAN

Data isotop alam  $^{13}\text{C}$  sampel stalaktit yang berasal dari goa Seropan menunjukkan bahwa sekitar 87,5 % vegetasinya kering di mana konsentrasi  $^{13}\text{C}$ -nya lebih kaya dan hanya kadang-kadang saja atau sekitar 12,5 % vegetasinya basah dimana konsentrasi  $^{13}\text{C}$ -nya lebih miskin. Namun, bila ditinjau secara keseluruhan, fluktuasi  $^{13}\text{C}$  dari grafik menggambarkan fluktuasi iklim dari masa lampau hingga sekarang, yaitu dari tahun 1621 hingga 2011. Dari data isotop  $^{18}\text{O}$  diperoleh informasi bahwa temperatur dalam kurun waktu tersebut berkisar antara 12,2 °C hingga 32,1 °C dengan temperatur rata-rata 19,5 °C. Sementara hasil analisis isotop  $^{14}\text{C}$  menunjukkan bahwa tingkat pertumbuhan stalaktit goa Seropan sekitar 0,1 mm/tahun atau dalam sepuluh tahun tumbuh sekitar 1 mm.

## DAFTAR PUSTAKA

1. SPOTL, C. and MATTEY, D. "Scientific drilling of speleothem-technical note", *International Journal of Speleology*, Tampa, FL (USA). 41(1): 29-34, 2012.
2. MANGINI, A., SPOTL, C. and VERDES, P. "Reconstruction of temperature in the Central Alps during the past 2000 yr from a delta O-18 stalagmite record", *Earth and Planetary Science Letters*, 235: 741-751, 2005.
3. MEILIANG, HAI, C., DAOXIANG, Y., XIAOYAN, Z., YUSHI, L., JIAMING, Q., and EDWARDS, R. L. "Carbon and oxygen isotope records and paleoclimate reconstruction (140-250 ka BP) from a stalagmite of Shuinan Cave, Guilin, China", *Environ Geol*, DOI 10.1007, 2005.
4. FAIRCHILD, I.J., S.FRISIA, A. BORSATO and TOOTH, A.F. "Speleothems, in: Nash, D.J. and S.J.McLaren (ed), *Geochemical Sediments and Landscapes*", Blackwells, Oxford, 200-245, 2006.
5. WHITE, W.B. "Cave Sediments and Paleoclimate", *Journal of cave and karst studies* 69, 76-93, 2007.
6. MCDERMOTT, F. "Paleo-climate reconstruction from stable isotope variations in speleothems": a review. *Quaternary Science Reviews*. 23, 901-918, 2004.
7. KAUFMANN, G. "Stalagmite growth and paleo-climate: the numerical perspective", *Earth and Planetary Science Letters*, 214: 751-266, 2003.
8. ZUMBUHL, A., "History of Black Sea recorded in stalagmites from Northern Turkey", Faculty of Science, University of Bern, 2009.