

## RESPIRASI KARBONDIOKSIDA TANAH PADA TOPOSEKUEN BUKIT KARST GUNUNGSEWU GUNUNG KIDUL

**Nugroho Hari Purnomo<sup>1</sup>, Eko Budiyanto<sup>2</sup>, Muzayanah<sup>3</sup>, Aida Kurniawati<sup>4</sup>, Ketut Prasetyo<sup>5</sup>,  
Ardhyan Dwi Nurcahyo<sup>6</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Pendidikan Geografi Universitas Negeri Surabaya, Kampus Ketintang, Surabaya, Indonesia

<sup>6</sup>SMAN 2 Ponorogo, Indonesia, Indonesia

[nugrohohari@unesa.ac.id](mailto:nugrohohari@unesa.ac.id)<sup>1</sup>, [ekobudiyanto@unesa.ac.id](mailto:ekobudiyanto@unesa.ac.id)<sup>2</sup>, [muzayanah@unesa.ac.id](mailto:muzayanah@unesa.ac.id)<sup>3</sup>,  
[aidakurniawati@unesa.ac.id](mailto:aidakurniawati@unesa.ac.id)<sup>4</sup>, [ketutprasetyo@unesa.ac.id](mailto:ketutprasetyo@unesa.ac.id)<sup>5</sup>, [ardhyandn@gmail.com](mailto:ardhyandn@gmail.com)<sup>6</sup>

---

### ABSTRAK

---

**Abstrak:** Aktivitas dan konsentrasi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) di dalam lapisan tanah permukaan ditentukan oleh proses respirasi akar dan dekomposisi organik. Sementara keberadaan material sebagai media respirasi dan dekomposisi ditentukan oleh posisi topografi yang memiliki variasi lereng. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan sifat tanah dengan respirasi karbondioksida tanah berdasarkan pada toposekuen bukit karst. Penelitian dilaksanakan di bukit karst bagian atas dari mulut Gua Gilap Dusun Klumprit Desa Kenteng Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul. Lokasi titik sampel diambil pada suatu profil lereng dari puncak bukit, lereng bagian tengah, dan pada lereng kaki. Hasil menunjukkan terjadinya korelasi antara respirasi karbondioksida (CO<sub>2</sub> Respiraton) dengan sifat tanah hanya pada lereng atas. Hubungan korelasi positif sangat kuat terjadi antara kandungan, bahan organik (organic matter), carbon organik (organic carbon), and berat jenis (specific density) dengan hasil CO<sub>2</sub> Respiraton pada lereng atas. Sebaliknya terjadi korelasi negatif yang kuat antara kadar lengas (moisture) dengan CO<sub>2</sub> Respiraton pada lereng atas. Terjadinya korelasi positif antara variabel organic matter, organic carbon, dan Specific density dengan laju CO<sub>2</sub> Respiraton di lereng atas karena sampling pada Shafts. Terjadinya korelasi negatif moisture disebabkan rendahnya kandungan carbondioksida pada air hujan sebagai pengimbuh.

**Kata Kunci:** Toposequen; Sifat Tanah; Respirasi CO<sub>2</sub>.

**Abstract:** *The activity and concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in the top layer of soil is determined by the process of root respiration and organic decomposition. While the existence of the material as a respiration medium and decomposition is determined by the slope variation of topographic position. This study aimed to find out the relationship of soil properties with the respiration of soil carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) based on karst hill toposequence. The study was conducted in karst hill, the upper of Gilap cave Kenteng village Ponjong district Gunungkidul Regency. The location of the sample point was taken on a slope profile from the top of the hill, the central slope, and the foot of the slope. The results showed the correlation between respirations with the soil properties only on the upper slope. A strong positive correlation relationship was found among the content, organic matter, organic carbon, and specific density with the CO<sub>2</sub> respiration yield on the upper slope. On the contrary, there was a strong negative correlation between moisture with CO<sub>2</sub> respiration on the upper slope. The positive correlation among organic matter, organic carbon, and specific density variables with the rate of CO<sub>2</sub> respiration on the upper slopes due to sampling in Shafts. And the negative correlation of moisture was caused by low carbon dioxide content in rainwater as recharge.*

**Keywords:** *Toposequence; Soil Properties; CO<sub>2</sub> Respiration*



**Article History:**

Received: 10-08-2021

Revised : 30-08-2021

Accepted: 31-08-2021

Online : 11-09-2021



*This is an open access article under the  
CC-BY-SA license*

## A. LATAR BELAKANG

Toposekuen tanah merupakan konsep pendekatan untuk memahami ragam perbedaan sifat-sifat tanah karena perbedaan posisi relief. Kajian toposekuen ini menonjolkan relief sebagai penentu proses morfogenesis. Morfogenesis atau perkembangan tanah merupakan penyusunan bahan tanah menjadi tubuh tanah dengan morfologi dan organisasi tertentu sehingga terjadi horisonisasi. Menurut (Brevik et al., 2015), topografi mengubah profil tanah dalam tiga cara. Pertama, mengabsorpsi dan menahan air presipitasi di tanah sehingga mempengaruhi kelembaban. Kedua dengan mempengaruhi kecepatan perpindahan tanah oleh erosi, dan ketiga menentukan arah gerakan bahan-bahan dalam suspensi atau larutan dari satu tempat ke tempat lain.

Bentuklahan karst merupakan medan dengan batuan gamping yang dicirikan oleh drainase permukaan yang langka, solum tanah yang tipis dan hanya setempat-setempat, terdapatnya cekungan-cekungan tertutup (*doline*), serta keberadaan sistem drainase bawah tanah yang lebih dominan dibandingkan dengan sistem aliran permukaan (Summerfield, 2014). Definisi bentuklahan karst tersebut telah menunjukkan adanya spesifikasi karakteristik tanah yang berkembang.

Pada sebuah lereng bukit karst dapat dibedakan antara bagian puncak, bagian punggung lereng, dan bagian kaki lereng (Hewitt et al., 2015). Bagian berikutnya paling bawah adalah lembah. Secara konseptual bagian puncak adalah wilayah sumber material, bagian punggung lereng adalah wilayah transpor, dan bagian kaki lereng adalah wilayah pengendapan. Pengendapan paling maksimal adalah di bagian lembah.

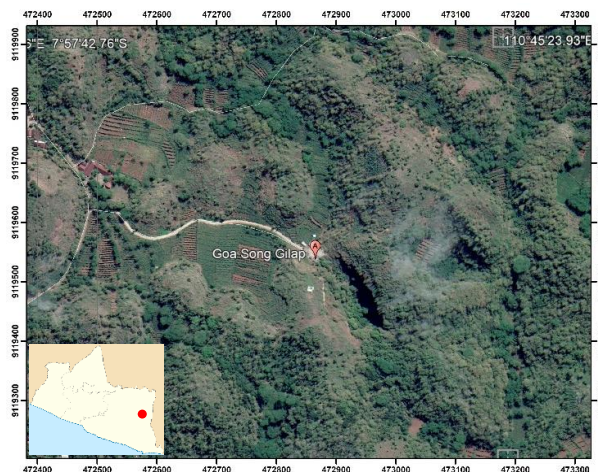
Pembentukan bentuklahan karst didominasi oleh proses pelarutan atau karstifikasi. Dalam karstifikasi, karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) berperan sebagai reaktan yang melarutkan batuan karbonat. Ekosistem karst sendiri diduga kuat mempunyai peran di dalam penyimpanan karbondioksida (Cao et al., 2018). Kajian bentuklahan karst dapat membantu memahami siklus karbon, yang nantinya juga dapat untuk memahami perubahan iklim akibat pemanasan global yang disebabkan emisi gas rumah kaca salah satunya dipacu oleh gas karbondioksida.

Laju pelarutan batuan karbonat lebih dipengaruhi oleh aktivitas karbondioksida dalam tanah (Chen, 2019). Variasi aktivitas karbondioksida juga dipengaruhi oleh konsentrasi karbondioksida pada tanah. Aktivitas dan konsentrasi karbondioksida di dalam lapisan tanah permukaan ditentukan oleh proses respirasi akar dan dekomposisi organik (Mansur, 2016).

Menjadi persoalan adalah hubungan sifat-sifat tanah dengan laju respirasi karbondioksida yang dikaitkan dengan posisi topografi. Hal ini mengingat bahwa karstifikasi memerlukan peran karbondioksida dan air untuk melarutkan batuan karbonat. Sementara aktivitas dan konsentrasi karbondioksida di dalam lapisan tanah permukaan ditentukan oleh proses respirasi akar dan dekomposisi organik. Sementara keberadaan material sebagai media respirasi dan dekomposisi ditentukan oleh posisi topografi yang memiliki variasi lereng. Objek kajian dalam penelitian ini adalah tanah Entisols yang berkembang di bukit karst pada bentuklahan karst polygonal (Sukarman & Dariah, 2014); (Utami, 2018). Berdasarkan rumusan tersebut, maka penelitian bertujuan untuk mengetahui hubungan sifat tanah dengan respirasi karbondioksida tanah berdasarkan pada toposekuen bukit karst. Urgensi penelitian ini adalah untuk memahami faktor tanah dan posisi topografi sebagai pengontrol respirasi tanah yang berperan dalam laju karstifikasi batuan karbonat.

## B. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di bukit karst bagian atas dari mulut Gua Gilap Dusun Klumprit Desa Kenteng Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul. Lokasi penelitian pada bentuklahan karst polygonal yang dicirikan oleh relief berupa *conical hills* yang dibatasi oleh valla sempit. Objek yang dikaji dalam penelitian ini adalah tanah. Karena tanah di wilayah karst merupakan bentangan yang luas, maka kajian dalam penelitian ini dibatasi pada pedon berdasarkan toposekuen sebuah bukit karst. Lokasi penelitian seperti pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Gua Gilap Dusun Klumprit Desa Kenteng Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta

Lokasi titik sampel diambil pada suatu profil lereng dari lereng atas, lereng tengah, dan pada lereng bawah. Masing-masing lokasi titik sampel terhubung oleh suatu kenampakan jalur aliran erosi dari puncak sampai lereng kaki. Setiap titik lokasi sampel dibuat lubang minipit, yaitu lubang pengamatan tanah dengan ukuran kurang lebih 50 x 50 cm dengan kedalaman 80 cm.

Sampel tanah yang diidentifikasi di lapangan dan dianalisis di laboratorium diambil di kedalaman 0 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm, dan 60 cm. Variabel penelitian adalah sifat-sifat tanah yang meliputi tekstur, kadar lengas (KL) (*moisture*), bahan organik tanah (BO) (*organic matter*), C organik (*organic carbon*), kapasitas tukar kation (KTK) (*Cation exchange capacity*), berat volume tanah (BV) (*Bulk density*), dan berat jenis tanah (BJ) (*Specific density*). Variabel sifat tanah berupa respirasi karbondioksida (*CO<sub>2</sub> Reespiraton*), merupakan variabel yang akan dikaji dalam penelitian ini.

Analisis yang dilakukan adalah melihat hubungan antara respirasi karbondioksida dengan sifat tanah lainnya. Tingkat hubungan didasarkan pada nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) dengan bantuan software excel. Nilai korelasi yang kuat berkisar antara 0,61 – 0,80, sedangkan sangat kuat 0,81 – 1,00 (*metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*, 2016); (Santoso, 2019). Nilai korelasi yang kurang dari nilai tersebut, diabaikan karena dianggap tidak ada korelasi.

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Situasi topografi lokasi penelitian terletak dari puncak sampai lereng bawah sebuah bukit conical karst. Ketinggian pada puncak bukit adalah 517 m di atas permukaan laut dan lokasi sampel tanah pada lereng bawah pada ketinggian 486 m di atas permukaan laut. Lereng menghadap ke arah barat laut, dengan intensitas penyinaran matahari pada siang sampai sore hari. Bentuk lereng secara umum adalah datar tidak beraturan karena sudah ada usaha penterasan dan adanya

lapies yang tersebar secara acak. Relief bergunung dengan kemiringan lereng umum dari puncak bukit sampai lereng kaki adalah  $58^\circ$  serta bentuk lembah U tajam.

Bahan induk tanah di lokasi penelitian berkembang dari batuan karbonat, yaitu batugamping terumbu dan batugamping berlapis atau bioklastik Formasi Wonosari yang terbentuk pada kala Miosen Tengah N13 – N 14 (Hidayat et al., 2017). Batuan karbonat dapat didefinisikan sebagai batuan dengan 50% mineral karbonat tersusun oleh ion  $\text{CO}_3^{2-}$  dan satu atau lebih kation. Mineral karbonat yang paling umum dijumpai adalah kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), yang merupakan komponen pokok batugamping. Pada pembentukan batuan karbonat, kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) dan dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) adalah mineral yang paling melimpah, lebih dari 90% karbonat alam berupa batugamping dan dolomit (Scholle & Ulmer-Scholle, 2020). Jenis batuan karbonat di lokasi penelitian adalah *coral boundstone facies* (Putro, 2012). *Coral boundstone facies* adalah batugamping yang merekatkan komponen sedimen secara bersama-sama selama proses pengendapan atau dapat dikatakan sebagai terumbu yang menjadi fosil.

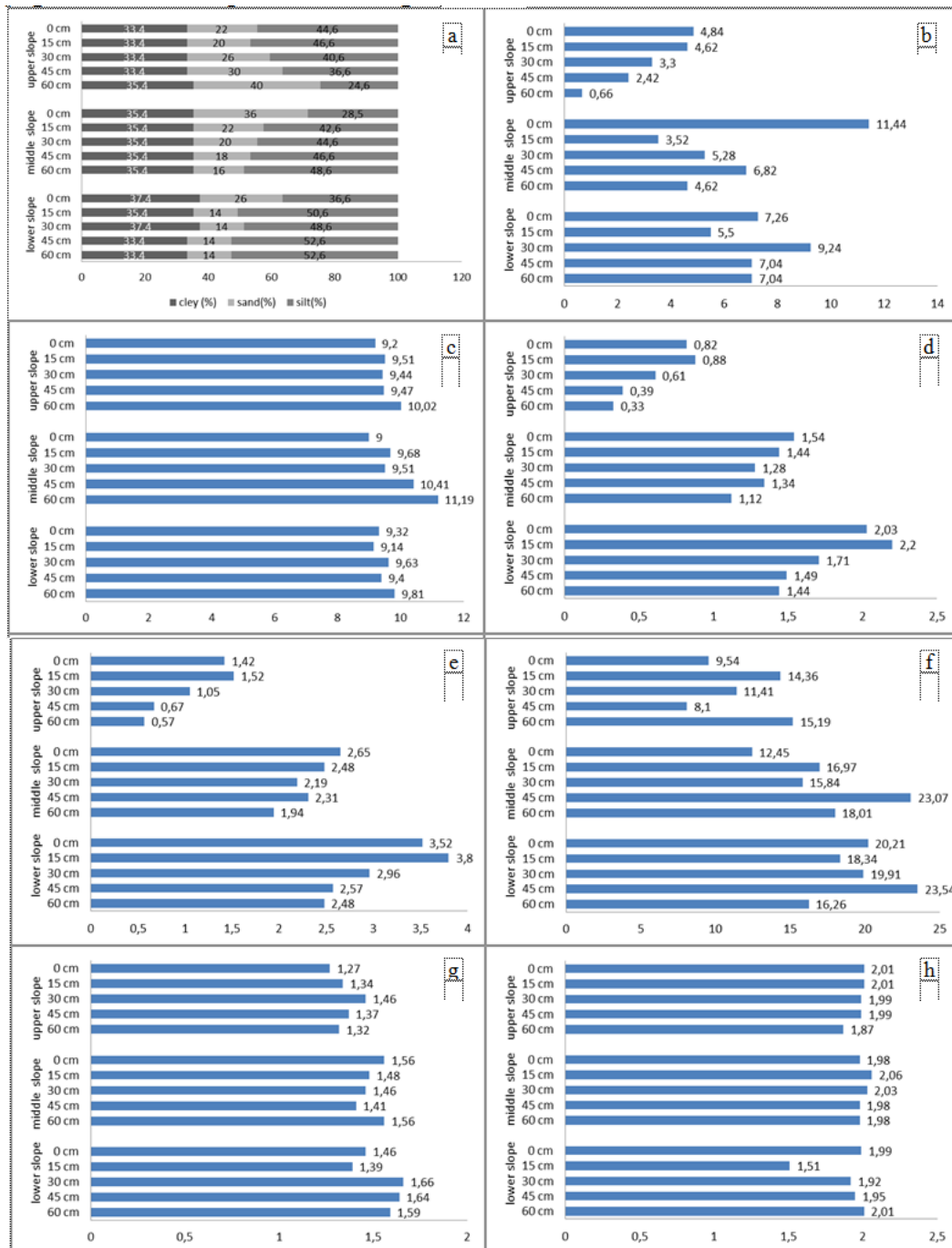
Penutup lahan didominasi semak berupa alang-alang (*Imperata cylindrica*) sejenis rumput berdaun tajam. Dijumpai juga pohon jati berumur muda dengan tutupan tajuk yang sangat jarang serta tanaman cabe yang sudah tinggal pemanenan akhir. Vegetasi tersebut tumbuh pada permukaan lahan di sela-sela lapies batuan yang banyak tersingkap dengan ketebalan tanah yang tipis. Kerapatan vegetasi dan tajuk sangat jarang, sehingga sersah di atas tanahnya tidak banyak dijumpai.

Faktor iklim terutama temperatur dan curah hujan mengendalikan proses pelapukan bahan induk. Perhitungan suhu udara bulanan tahun 2010 di Ponjong menunjukkan bahwa suhu maksimal Bulan Oktober sebesar  $26,2^\circ\text{C}$ . (Sudarmadji; Suprayogi, 2012) Sementara suhu minimal terjadi pada Bulan Agustus sebesar  $24,4^\circ\text{C}$ , dengan suhu rata-rata adalah  $23,2^\circ\text{C}$ . Untuk curah hujan rata-rata tahunan sekitar 1917 mm/tahun berdasarkan data hujan 53 tahun antara 1947-2000 (Intan, 2018). Berdasarkan data hujan 30 tahun antara 1978 – 2008, rata-rata hujan tahunan sebesar 1940 mm/tahun (Sudarmadji; Suprayogi, 2012). Hujan tertinggi terjadi pada Bulan Januari dan hujan terendah pada Bulan September (Sudarmadji; Suprayogi, 2012).

Sifat tanah berdasarkan kedalaman dan toposekuen menunjukkan variasi yang cukup beragam. Secara umum terjadi penurunan kandungan bahan organik tanah (BO) (*organic matter*) dan C organik (*organic carbon*) seiring kedalaman tanah dan posisi lereng ke arah bawah. Sementara terjadi peningkatan kadar lengas (KL) (*moisture*), kapasitas tukar kation (KTK) (*Cation exchange capacity*), dan berat volume tanah (BV) (*Bulk density*) seiring kedalaman tanah dan posisi lereng ke arah bawah. Untuk berat jenis tanah (BJ) (*Specific density*) relatif stabil di semua kedalaman dan posisi lereng. Gambar 2 menyajikan data variabel penelitian berdasarkan kedalaman dan posisi lereng.

Tekstur mempunyai arti penting dalam penentuan berbagai sifat tanah lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekstur lereng atas adalah geluh lempung pasiran pada kedalaman 0 dan 15 cm dan lempung geluhan pada kedalaman 30 – 60 cm. Pada lereng tengah tekstur didominasi oleh lempung geluhan. Pada lereng bawah permukaan tanah merupakan tekstur lempung geluhan, 15 dan 30 cm lempung pasiran, dan 45-60 cm geluh lempung pasiran. Secara konseptual dominasi fraksi lempungan menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian porositasnya rendah, infiltrasi lambat, konsistensi basah lekat dan plastis. Dengan

kondisi tersebut tanah lambat dalam meloloskan air sehingga status haranya rendah akibatnya vegetasi dominan adalah yang memiliki adaptasi dengan cekaman rendah air. Keadaan ini juga berakibat pada kandungan karbon inorganik yang cenderung sedikit. Karakteristik sifat tanah berdasarkan lereng dan kedalaman dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Karakteristik sifat tanah berdasarkan lereng dan kedalaman. (a) tekstur, (b) respirasi karbondioksida (*CO<sub>2</sub> Reespiraton*), (c) kadar lengas (KL) (*moisture*), (d) bahan organik tanah (BO) (*organic matter*), (e) C organik (*organic carbon*), (f) kapasitas tukar kation (KTK) (*Cation exchange capacity*), (g) berat volume tanah (BV) (*Bulk density*), (h) berat jenis tanah (BJ) (*Specific density*)

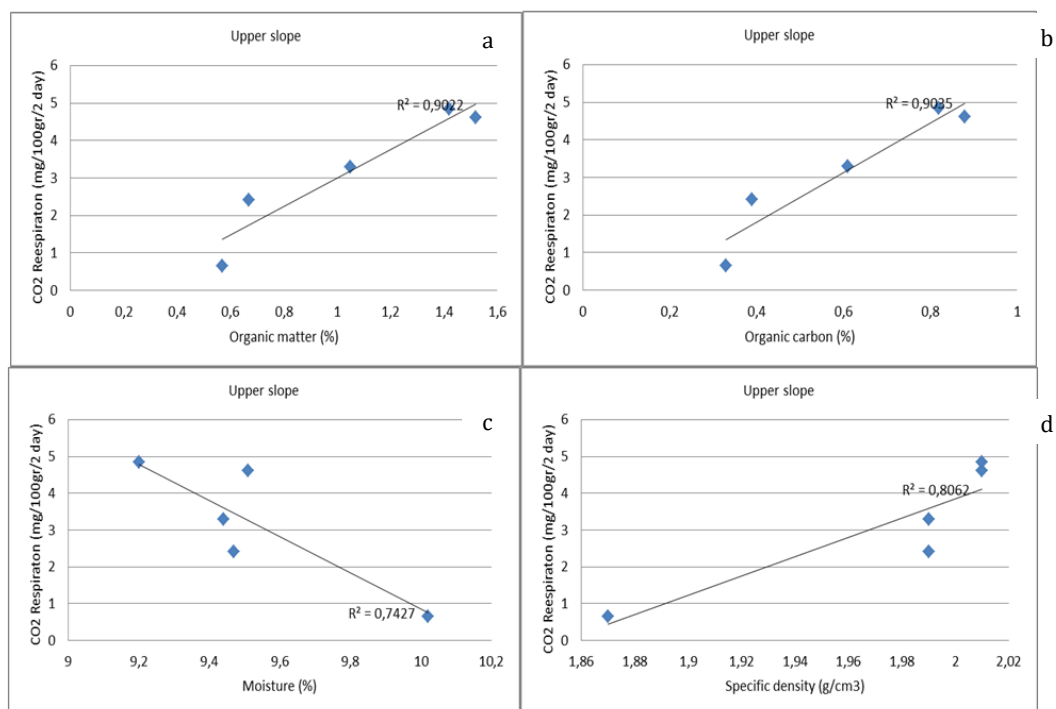
Hasil penelitian menunjukkan korelasi antara respirasi karbondioksida dengan sifat tanah hanya pada lereng atas. Korelasi lemah antara semua sifat tanah dengan hasil respirasi karbondioksida terjadi di lereng tengah dan lereng bawah. Akan

tetapi untuk sifat tanah kapasitas tukar kation dan berat volume di lereng atas juga tidak terjadi korelasi dengan respirasi karbondioksida.

Tidak adanya korelasi pada lereng tengah dan bawah sangat kuat diduga karena kandungan bahan organik maupun lengas tanah sangat terbatas. Hal ini disebabkan posisi pada kemiringan lereng umum  $58^\circ$  dengan permukaan lereng yang relatif teratur. Dalam keadaan demikian laju erosi permukaan ketika hujan berupa erosi percik maupun lembar sangat berpengaruh.

Adanya korelasi antara beberapa sifat tanah dengan laju respirasi karbondioksida di lereng atas diduga karena lokasi pengamatan lereng atas menempati pada sebuah *Shafts*. *Shafts* merupakan morfologi cekungan batu kapur hasil proses pelarutan oleh tenaga air. Pada lereng atas bukit karst ini, lokasi yang memungkinkan berkembang lapisan tanahnya untuk selanjutnya digali guna pengambilan sampel tanah terletak pada cekungan *Shafts*. *Shafts* yang berkembang di bagian lereng atas pada umumnya lebih datar, karena dominasi tenaga air melarutkan secara vertikal (Damayanti & Sari, 2018). Hal ini mengakibatkan adanya vegetasi yang dapat menahan bahan organik bertahan pada posisi datar.

Hubungan korelasi positif sangat kuat terjadi antara kandungan, bahan organik tanah ( $R^2=0,9022$ ), Carbon organik ( $R^2=0,9035$ ), and dan berat jenis tanah ( $R^2=0,8062$ ) dengan hasil respirasi karbondioksida pada lereng atas. Sebaliknya terjadi korelasi negatif yang kuat antara kadar lengas ( $R^2= 0,7427$ ) dengan respirasi karbondioksida pada lereng atas. Hasil korelasi kuat dan sangat kuat disajikan pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Korelasi kuat antara (a) bahan organik tanah (BO) (*organic matter*), (b) Carbon organik (*organic carbon*), (c) kadar lengas (KL) (*moisture*), dan (d), dan berat jenis tanah (B) (*specific density*), dengan respirasi karbondioksida (*CO<sub>2</sub> Respiraton*)

Keberadaan bahan organik pada lereng atas yang datar karena pada lembah *shafts*, menimbulkan proses dekomposisi bahan organik. Proses dekomposisi ini mengakibatkan terjadinya peningkatan karbon organik di dalam tanah. Hal inilah

yang menyebabkan adanya korelasi antara variabel bahan organik tanah, Carbon organik, dan berat jenis tanah dengan laju respirasi karbondioksida.

Secara konseptual ketersediaan bahan organik tanah akan memacu proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme (Ma et al., 2019); (Jiang, J.; Guo, S.; Zhang, Y.; Liu, Q.; Wang, R.; Wang, Z.; Li, N.; Li, 2015). Keadaan ini harus didukung oleh kondisi berat jenis tanah yang sesuai. Berat jenis tanah merupakan rasio antara berat tanah kering mutlak dengan volume partikel tanah, atau kerapatan partikel bahan organik dengan non bahan organik. Aktifitas mikroorganisme yang melakukan proses dekomposisi pada lingkungan atau media yang sesuai, akan meningkatkan kandungan bahan organik (Xiaogang, W.; Jiajia, Y.; Shengli, M.; Shuxiang, F.; Xia, Z.; Dan, 2015); (Tao, X.; Cui, J.; Dai, Y.; Wang, Z.; Xu, 2016). Carbon organik merupakan jumlah karbon yang berasal dari hasil dekomposisi bahan organik. Kondisi tersebut menjadikan laju respirasi karbondioksida.

Untuk kadar lengas terjadi korelasi negatif. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan kadar lengas pada lereng atas justru mengakibatkan penurunan respirasi karbondioksida. Keadaan ini bertolak belakang dengan teori yang selama ini telah ada. Dugaan korelasi negatif antara kadar lengas dengan respirasi karbondioksida disebabkan karena kandungan carbon dalam kadar lengas terbatas. Mengingat sumber kadar lengas tanah adalah air hujan, maka diperkirakan kandungan karbondioksida dalam air hujan jumlahnya sedikit. Hal ini bisa dipahami karena pengambilan sampel tanah dilaksanakan pada akhir musim kemarau. Pada umumnya kandungan karbondioksida pada air hujan dalam jumlah yang cukup besar ada pada awal musim hujan maupun pada saat permulaan kejadian hujan (Turpaud et al., 2018).

#### **D. SIMPULAN DAN SARAN**

Korelasi antara respirasi karbondioksida dengan sifat tanah hanya pada lereng atas. Hubungan korelasi positif sangat kuat terjadi antara kandungan lengas, bahan organik tanah, carbon organik, dan berat jenis tanah dengan hasil respirasi karbondioksida pada lereng atas. Sebaliknya terjadi korelasi negatif yang kuat antara kadar lengas dengan respirasi karbondioksida pada lereng atas. Terjadinya korelasi positif antara variabel bahan organik tanah, carbon organik, dan berat jenis tanah dengan laju respirasi karbondioksida di lereng atas karena tanah bagian atas bukit terletak pada *shafts*. Terjadinya korelasi negatif kadar lengas disebabkan rendahnya kandungan karbondioksida pada lengas tanah yang bersumber dari air hujan sebagai pengimbu.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengabdian Pada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Surabaya yang telah mendanai kegiatan penelitian ini sehingga terlaksana dengan baik.

#### **DAFTAR RUJUKAN**

- Brevik, E. C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J. N., Six, J., & Van Oost, K. (2015). The interdisciplinary nature of SOIL. *SOIL*, 1(1), 117–129. <https://doi.org/10.5194/soil-1-117-2015>
- Cao, J. hua, Wu, X., Huang, F., Hu, B., Groves, C., Yang, H., & Zhang, C. lai. (2018). Global significance of the carbon cycle in the karst dynamic system: evidence from geological and ecological processes. *China Geology*, 1(1), 17–27. <https://doi.org/10.31035/cg2018004>
- Chen, Q. (2019). Characteristics of soil profile CO<sub>2</sub> concentrations in karst areas and their

- significance for global carbon cycles and climate change. *Earth System Dynamics*, 10(3), 525–538. <https://doi.org/10.5194/esd-10-525-2019>
- Damayanti, A., & Sari, D. F. N. (2018). Karakteristik dan pola persebaran dolina di Kecamatan Ponjong dan Semanu, Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*, 2(2). <https://doi.org/10.7454/jglitrop.v2i2.50>
- Hewitt, A., Dominati, E., Webb, T., & Cuthill, T. (2015). Soil natural capital quantification by the stock adequacy method. *Geoderma*, 241-242, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.014>
- Hidayat, H. N., Fauzi, Z., & Heliani, L. S. (2017). Analisis geosite dan geomorphosite kawasan karsbiduk-biduk sebagai potensi geowisata indonesia. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-10*, September, 1903–1915. <https://repository.ugm.ac.id/id/eprint/274095>
- Intan, F. S. (2018). Geoarkeologi Karst Sarolangun, Jambi. *JURNAL WALENNAE*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.24832/wln.v16i1.310>
- Jiang, J.; Guo, S.; Zhang, Y.; Liu, Q.; Wang, R.; Wang, Z.; Li, N.; Li, R. (2015). Changes In Temperature Sensitivity Of Soil Respiration In The Phases Of A Three-Year Crop Rotation System. *Soil & Tillage Research 150, Science Direct, Elsevier*, 139–146.
- Ma, M., Zang, Z., Xie, Z., Chen, Q., Xu, W., Zhao, C., & shen, G. (2019). Soil respiration of four forests along elevation gradient in northern subtropical China. *Ecology and Evolution*, 9(22), 12846–12857. <https://doi.org/10.1002/ece3.5762>
- Mansur, M. (2016). Potensi Serapan Co 2 Pada Beberapa Jenis Pohon Tumbuh Cepat Di Hutan Rawa Gambut Hampangen, Kalimantan Tengah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 15(1), 21. <https://doi.org/10.29122/jtl.v15i1.1453>
- Putro, S. T. . (2012). *Analysis of Organic Carbon Flux in the Gilap Cave, Ponjong Sub-District, Gunung Kidul District Yogyakarta Indonesia*. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Santoso, S. (2019). Mahir Statistik Parametrik. In *PT Elex Media Komputindo*.
- Scholle, P. A., & Ulmer-Scholle, D. S. (2020). A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks. In *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks*. <https://doi.org/10.1306/m77973>
- Sudarmadji; Suprayogi, S. . S. (2012). *Konservasi mata air berbasis masyarakat di Kabupaten Gunungkidul*. Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.
- metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D, Alfabeta, cv. 233 (2016).
- Sukarman, & Dariah, A. (2014). Tanah Andosol di Indonesia: Karakteristik, Potensi, Kendala, dan Pengelolaannya untuk Pertanian. In *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian* (Issue 12).
- Summerfield, M. A. (2014). Global geomorphology. In *Global Geomorphology*. <https://doi.org/10.4324/9781315841182>
- Tao, X.; Cui, J.; Dai, Y.; Wang, Z.; Xu, X. (2016). Soil Respiration Responses To Soil Physiochemical Properties In Urban Different Green-Lands: A case study In Hefei, China. *International Soil and Water Conservation Research 4, Science Direct, Elsevier*, 224–229.
- Turpaud, P., Zini, L., Ravbar, N., Cucchi, F., Petrič, M., & Urbanc, J. (2018). Development of a Protocol for the Karst Water Source Protection Zoning: Application to the Classical Karst Region (NE Italy and SW Slovenia). *Water Resources Management*, 32(6), 1953–1968. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1882-4>
- Utami, D. N. (2018). Kajian Jenis Mineralogi Lempung Dan Implikasinya Dengan Gerakan Tanah. *Jurnal Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 2(2), 89. <https://doi.org/10.29122/alami.v2i2.3095>
- Xiaogang, W.; Jiajia, Y.; Shengli, M.; Shuxiang, F.; Xia, Z.; Dan, H. (2015). Seasonal Spatial Pattern Of Soil Respiration In A Temperate Urban Forest Beijing. *Urban Forestry & Urban Greening 14 Science Direct, Elsevier*, 1122–1130.