

Hubungan antara Respirasi Tanah dengan Sifat Tanah Dibawah Kondisi Tegakan Vegetasi yang Berbeda di Ungaran, Jawa Tengah

Galang Indra Jaya^{*)}, Yovi Avianto, Alan Handru, Amir Novyanto
 Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian INSTIPER Yogyakarta

^{*)}Email korespondensi: galang@instiperjogja.ac.id

ABSTRACT

*Soil respiration is an indicator of the level of soil health in both closed systems (forests) and open systems (agriculture). Conversion of land from natural forest to agricultural cultivation needs attention in the field of sustainability, this is done so that the land can continue to be productive. This research aims to obtain information regarding the relationship between respiration and soil properties in land cover of oil palm (*Elaeis guineensis*), teak (*Tectona grandis*), and burflower-tree (*Neolamarckia cadamba*) in INSTIPER's experimental plantation, specifically in SEAT (Stiper Edu Agro Tourism) Ungaran Regency, Central Java. The method used in this research is a modified Verstraete, namely by observing soil respiration directly on the land. Research data shows respiration rates of 100.1, 95.4, and 25.9 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ for oil palm, burflower-tree, and teak respectively. Soil respiration is influenced by land cover in vegetation. Differences in land cover cause differences in soil properties which then influence the rate of soil respiration. The relationship between soil respiration rate and moisture content, pH, and EC is linear positive, while with volume weight it is linear negative.*

Keywords: soil health; soil properties; land cover; vegetation

PENDAHULUAN

Respirasi tanah merupakan proses yang kompleks dan dinamis yang melibatkan banyak faktor. Respirasi tanah juga sebagai indikator siklus hara dan kesehatan tanah. Nutrisi yang belum tersedia bagi tanaman diurai oleh mikroorganisme sehingga nutrisi dapat digunakan untuk tanaman, sehingga laju respirasi dapat digunakan untuk menilai kesehatan tanah (Setyawan & Hanum, 2014).

Penelitian mengenai respirasi tanah memiliki peranan penting di bidang pertanian dan kehutanan. Data yang disediakan dapat dimanfaatkan untuk menilai kesehatan tanah dan efek penggunaan lahan pada berbagai komoditas. Konversi lahan dari hutan alami maupun

Semak belukar menjadi beberapa komoditas seperti kelapa sawit (*Elaeis guineensis*), jati (*Tectona grandis*) dan jabon (*Neolamarckia cadamba*) perlu mendapat perhatian terutama pada aspek konservasi tanah. Perkebunan kelapa sawit mencakup wilayah yang luas di Indonesia sehingga berpengaruh terhadap produksi pemenuhan kebutuhan minyak nabati global, sedangkan komoditas jati dan jabon juga berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan serat baik dalam pemenuhan bahan baku pembuatan kertas, *plywood* maupun kebutuhan furniture global. Tingginya permintaan minyak sawit dan serat alam telah mengakibatkan konversi lahan secara luas sehingga dapat mempengaruhi tingkat respirasi tanah.

Faktor utama terjadinya respirasi tanah adalah aktivitas mikroba yang ada di dalam tanah. Mikroba seperti bakteri dan jamur merombak bahan organik, melepaskan karbon dioksida sebagai produk respirasi. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi tingkat respirasi tanah adalah iklim serta sifat tanah. Respirasi tanah sangat dipengaruhi oleh sifat tanah (Nasution et al., 2015). Perbedaan tutupan lahan dapat secara signifikan memengaruhi laju respirasi tanah melalui berbagai faktor, termasuk input bahan organik, aktivitas mikroorganisme tanah, dan faktor iklim mikro yang terbentuk.

Hutan umumnya memiliki tingkat respirasi tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis tutupan lahan dengan pola monokultur yang dimodifikasi oleh manusia (Fekete et al., 2014). Hal ini karena hutan memiliki input bahan organik yang tinggi dalam bentuk seresah daun, ranting, dan kayu mati. Bahan organik ini menyediakan sumber energi bagi mikroorganisme tanah untuk beraktivitas (Chen et al., 2014; Q. Zhang et al., 2016). Rendahnya respirasi tanah pada lahan pertanian monokultur juga disebabkan oleh faktor manusia. Menurut Lamptey et al. (2017), pengelolaan lahan pertanian seperti pembajakan dan pengolahan tanah dapat mempercepat dekomposisi bahan organik dan meningkatkan emisi CO₂.

Tutupan lahan dengan stok bahan organik yang tinggi, berpotensi memiliki komposisi keanekaragaman hayati mikroorganisme tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis tutupan lahan lain (Smith et al., 2014; Thomson et al., 2015). Hal ini dikarenakan tutupan lahan yang lebih rapat cenderung memberikan input unsur hara ke dalam tanah yang lebih melimpah dan beragam. Ketersediaan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor juga dapat memengaruhi aktivitas mikroorganisme tanah dan laju respirasi tanah (J. Zhang et al., 2021). Semakin rapat tutupan lahan menyebabkan modifikasi iklim mikro secara alami. Perubahan ini akan berpengaruh pada suhu dan kelembaban tanah. Menurut Rubio & Detto (2017), laju respirasi tanah umumnya meningkat seiring dengan meningkatnya suhu dan kelembaban tanah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat respirasi tanah serta hubungannya dengan sifat fisik tanah di bawah tutupan jabon, jati dan kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2023 di SEAT (Stiper Edu Agro Tourism) Kabupaten Ungaran, Jawa Tengah. Analisa tanah dilakukan di laboratorium dilaksanakan di lab UPT INSTIPER, Yogyakarta. Pengambilan sampel terdiri dari 3 lokasi yaitu areal pertanaman jabon pada koordinat (110° 25' 54,464" E, 7° 12' 45,544" S), Jati pada koordinat (110° 25' 59,744" E, 7° 12' 40,273" S) dan Kelapa sawit pada koordinat (110° 25' 56,106" E, 7° 12' 46,287" S). Sampel untuk pengujian diambil diambil 4 ulangan. Pohon jabon dan jati ditanam pada tahun 2010 dengan jarak tanam 3 m x 3 m pada lahan dengan kelerengan 8 %. Kedua jenis tanaman pohon ini tidak dipupuk dan dilakukan manajemen budidaya sama sekali. Sementara itu, tanaman kelapa sawit belum menghasilkan ditanam sejak tahun 2019 dengan jarak tanam 9x9m pada kelerengan lahan 4 %. Pupuk yang diberikan pada TBM kelapa sawit adalah Urea, SP-27, dan KCl secara berturut-turut 300 gram/tahun, 450 gram/tahun, dan 450 gram/tahun. Manajemen budidaya yang dilakukan meliputi *pruning*, pengendalian OPT, dan penyemprotan gulma yang dilakukan setahun 2 kali.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Larutan NaOH 1 M, Barium klorida (BaCl₂ 3 M), HCl 1 M, Indikator *phenolphthalein*. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pH meter, buret, picnometer, ember, Gelas piala 50 mL dan timbangan. Pengamatan respirasi tanah dilakukan dengan metode *Verstraete* (Anas, 1989) yang dimodifikasi, pengukuran respirasi tanah dilakukan secara langsung di lahan yang diteliti. Mekanisme pengambilan sampel respirasi yaitu diantara baris tanaman dengan jarak 30 meter dari tepi baris terluar. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada lokasi yang sama untuk diamati di laboratorium dengan parameter pH, Kadar air, BV, EC & TDS.

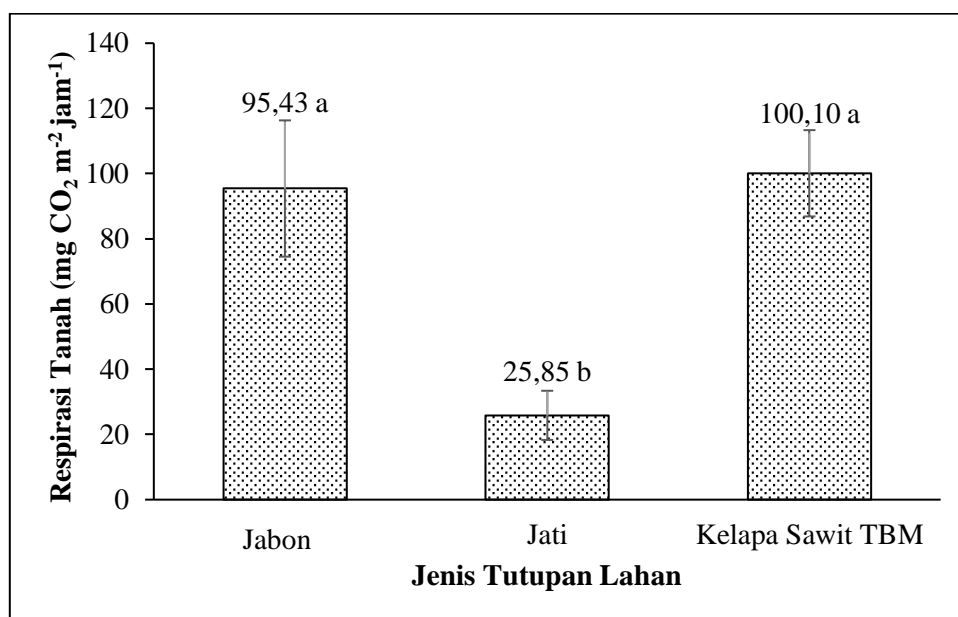
Data respirasi tanah pada masing-masing tutupan lahan dianalisis dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) pada taraf kesalahan 5 %. Apabila terdapat perbedaan nyata antar tutupan lahan, kemudian pengujian dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT) Fisher. Variabel sifat fisik dan kimia tanah seperti kadar air tanah, berat volume, pH dan konduktivitas elektrik dianalisis hubungannya dengan respirasi tanah menggunakan analisis korelasi. Apabila ditemukan korelasi yang nyata, maka hubungan antar variabel dianalisis lebih lanjut menggunakan regresi linear sederhana.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan respirasi tanah di lapangan (Gambar 1.) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan respirasi tanah. Pada lahan pertanaman jabon tidak berbeda nyata dengan kelapa sawit dan berbeda nyata dengan jati berdasarkan hasil ANOVA dilanjutkan dengan uji BNT Fisher. Huruf yang berbeda pada tutupan lahan jati (b) mengindikasikan beda nyata dengan tutupan lahan jabon dan kelapa sawit TBM. Hal ini menunjukkan bahwa

respirasi tanah di lahan kelapa sawit sama baiknya dengan lahan pertanaman jabon bahkan lebih tinggi dibandingkan lahan pertanaman jati, yaitu dengan nilai laju respirasi 100,10; 95,4 dan 25,9 mg CO₂ m⁻² jam⁻¹ untuk sawit, jabon dan jati (secara berurutan).

Lahan yang ditanami kelapa sawit tidak merusak sifat tanah, menurut penelitian yang dilakukan oleh (Megayanti et al., 2022) bahwa tanaman kelapa sawit seiring bertambahnya umur tidak mempengaruhi sifat fisik dan kimia secara nyata, bahkan parameter tanah seperti C Organik, ruang pori, BV mengalami perbaikan. Aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pengamatan respirasi tanah adalah pengaruh karakteristik tanaman. Morfologi tanaman memainkan peran penting dalam respirasi tanah melalui sistem akar. Perakaran kelapa sawit mencapai 3 meter menurut (Nurhartanto et al., 2020) dari pokok tanaman, hal tersebut berpotensi menyumbangkan nilai respirasi selain dari mikrobial di dalam tanah.



Gambar 1. Respirasi tanah pada komoditas jabon, jati dan kelapa sawit

Respirasi tanah juga dilaporkan dipengaruhi oleh sifat fisik maupun kimia tanah. Tabel 1 menunjukkan korelasi antara beberapa sifat fisik dan kimia tanah, dimana variabel kadar air, pH, berat volume dan daya hantar listrik memiliki hubungan yang kuat dengan respirasi tanah. Hubungan yang bersifat positif adalah pada variabel kadar air (0,75), pH (0,61), dan daya hantar listrik (0,77), sedangkan berat volume tanah memiliki hubungan yang kuat negatif (-0,74) terhadap respirasi tanah. Dari hasil korelasi ini, kemudian dilakukan analisis regresi untuk mengetahui hubungan sebab akibat dan seberapa besar pengaruh dari masing-masing variabel tanah terhadap respirasi tanah.

Berdasarkan Gambar 2.A diketahui bahwa laju respirasi tanah meningkat seiring penambahan kadar lengas. Pola hubungan kedua variabel ini cenderung menunjukkan pola linear dengan persamaan $y = 7.5635x - 128.82$. Kadar air tanah memegang peran krusial dalam proses respirasi tanah. Kelembaban tanah yang optimal memfasilitasi ketersediaan air

dan nutrisi bagi organisme tanah, meningkatkan aktivitas metabolisme dan laju respirasi mikroorganisme. Hal ini dikarenakan air bertindak sebagai medium bagi berbagai reaksi biokimia respirasi.

Sebaliknya, tanah yang tergenang air atau terlalu kering dapat membatasi aktivitas organisme tanah. Pada tanah tergenang, ketersediaan oksigen menjadi terhambat, sehingga respirasi aerobik terhambat dan mikroorganisme beralih ke respirasi anaerobik yang menghasilkan energi lebih sedikit. Di sisi lain, tanah yang kering membuat organisme tanah kesulitan untuk mendapatkan air dan nutrisi, sehingga aktivitas metabolisme dan pernapasannya menurun.

Tabel 1. Korelasi sifat fisik dan kimia tanah dengan laju respirasi tanah

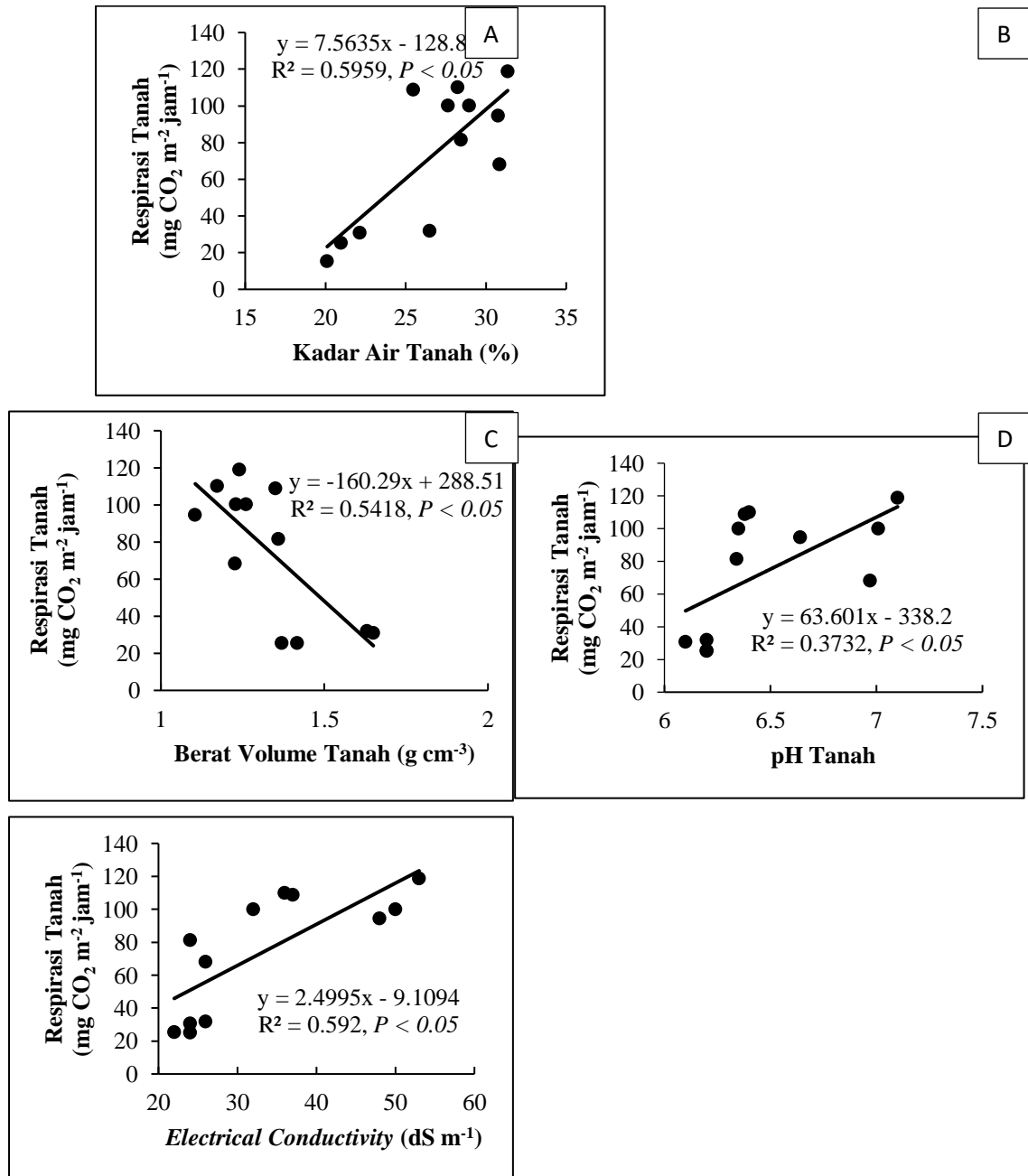
	<i>Kadar Air</i>	<i>pH</i>	<i>BV</i>	<i>EC</i>	<i>Respirasi</i>
Kadar Air	1				
pH	0,77*	1			
BV	-0,64*	-0,64*	1		
EC	-0,59*	0,46 ^{ns}	-0,59*	1	
Respirasi	0,75*	0,61*	-0,74*	0,77*	1

Ket: Angka yang ditampilkan merupakan koefisien korelasi yang diikuti dengan tingkat signifikansi (ns: non-signifikan; * : signifikan pada 0,05; ** : signifikan pada 0,01)

Tanah yang padat memiliki berat volume yang lebih tinggi dibandingkan tanah yang gembur. Kepadatan tanah yang tinggi mengakibatkan berkurangnya ruang pori dan terbatasnya ketersediaan oksigen (Shah et al., 2017). Hal ini dapat berdampak negatif pada respirasi tanah karena respirasi aerob yang bergantung pada oksigen menjadi terhambat, dan kondisi yang tercipta adalah anaerob. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.B dimana hubungan antara variabel berat volume dengan respirasi tanah berbanding terbalik dengan persamaan $y = -160.29x + 288.51$. Kondisi tanah yang padat dengan BV yang tinggi mendukung jalur metabolisme alternatif dalam bentuk fermentasi. Jalur alternatif ini menghasilkan lebih sedikit CO₂ per unit bahan organik dibandingkan dengan respirasi aerobik, sehingga menghasilkan laju respirasi tanah yang lebih rendah (Ben-Noah & Friedman, 2018).

Berdasarkan Gambar 2.B, tanah dengan berat volume yang rendah, strukturnya lebih gembur dan memiliki aerasi yang baik, sehingga berimplikasi pada laju respirasi tanah yang tinggi. Tanah dengan struktur gembur memiliki pasokan oksigen yang cukup, sehingga meningkatkan efisiensi respirasi oleh organisme tanah. Peningkatan ruang pori pada tanah yang gembur juga mendorong pergerakan akar dan meningkatkan aktivitas mikroba (Van Leeuwen et al., 2017). Kombinasi kedua peristiwa ini meningkatkan laju respirasi tanah yang dapat membantu menyediakan kondisi ideal bagi pertumbuhan tanaman. Meskipun demikian, batas optimal kondisi ini hanya terjadi pada jeluk 0-30 cm saja (horizon tanah atas).

Hasil penelitian sesuai dengan Yang et al. (2019) yang menyatakan bahwa ukuran agregat dan berat volume tanah secara signifikan memengaruhi komunitas mikroba dan respirasi tanah. Porositas total tanah dan pH dapat mengatur distribusi bakteri tanah dan komunitas jamur dalam agregat, sehingga memengaruhi respirasi tanah. Decina et al. (2016), mendapatkan hasil yang berbeda dengan penelitian ini, yaitu bahwa pH tanah dan berat volume tidak memiliki korelasi dengan laju respirasi tanah di area Boston.



Gambar 2. Hubungan respirasi tanah. A). % kadar air, B). BV, C). pH & D). EC

Mikroorganisme di dalam tanah memiliki preferensi yang berbeda-beda terhadap pH tanah, Tingkat pH yang terlalu asam/basa dapat membatasi aktivitas sehingga mempengaruhi respirasi tanah. Temuan pada Gambar 2.C menunjukkan regresi linear positif antara pH tanah dan respirasi tanah, yang mengindikasikan bahwa peningkatan pH tanah memicu

peningkatan aktivitas mikroorganisme tanah. Hal ini dapat dijelaskan karena pH tanah yang mendekati netral (pH 7) menyediakan kondisi optimal bagi pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme tanah, seperti bakteri dan jamur (Alfaro et al., 2017). Dari proses respirasi mikroorganisme terjadi penguraian bahan organik yang menghasilkan gas karbondioksida (CO₂) sebagai produk sampingan. Oleh karena itu, peningkatan pH tanah yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme tanah secara optimal, pada akhirnya meningkatkan laju respirasi tanah. Temuan pada penelitian ini sesuai dengan Wang et al. (2019) yang menemukan hubungan positif antara karakteristik komunitas mikroba tanah dengan pH tanah. Rendahnya nilai pH menjadi satu faktor yang menghambat respirasi tanah (Rukshana et al., 2014; Y. Wang et al., 2013). Temuan ini juga memperkuat penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pH merupakan faktor utama yang menentukan struktur komunitas bakteri di lahan pertanian (Q. Wang et al., 2018; Yashiro et al., 2016).

Pengukuran respirasi tanah memberikan informasi mengenai kesuburan tanah, siklus unsur hara, dan kesehatan tanah secara keseluruhan. Parameter ini juga menjadi kunci untuk menilai dampak perubahan penggunaan lahan, perubahan iklim, dan faktor lingkungan lainnya terhadap ekosistem tanah. Konduktivitas listrik tanah/*electrical conductivity* (EC) merupakan satuan kemampuan tanah dalam menghantarkan arus listrik. Hubungan antara respirasi tanah dengan EC adalah $y = 2.4995x - 9.1094$, hubungan tersebut bersifat linier, artinya peningkatan respirasi tanah diikuti oleh peningkatan nilai EC. EC yang memiliki hubungan positif dengan ion terlarut di dalam tanah banyak digunakan sebagai indikator ketersediaan unsur hara. Penelitian yang dilakukan oleh (Pratiwi et al., 2015) menyebutkan bahwa nilai EC yang tinggi memiliki korelasi yang positif dengan pertumbuhan tanaman. Nilai EC juga dipengaruhi oleh keberadaan mikrobia di dalam tanah, (Widiasmadi, 2022) menyampaikan bahwa mikrobia yang ditambahkan ke dalam tanah meningkatkan nilai EC tanah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Respirasi tanah dipengaruhi oleh tutupan lahan pada vegetasi jati, jabon, dan kelapa sawit. Perbedaan tutupan lahan menyebabkan perbedaan sifat tanah yang kemudian mempengaruhi laju respirasi tanah. Hubungan antara laju respirasi tanah dengan kadar lengas, pH, dan EC bersifat linear positif, sedangkan dengan berat volume bersifat linear negatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfaro, F. D., Manzano, M., Marquet, P. A., & Gaxiola, A. (2017). Microbial communities in soil chronosequences with distinct parent material: The effect of soil pH and litter quality. *Journal of Ecology*, 105(6), 1709–1722. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12766>
- Ben-Noah, I., & Friedman, S. P. (2018). Review and Evaluation of Root Respiration and of Natural and Agricultural Processes of Soil Aeration. *Vadose Zone Journal*, 17(1), 1–47. <https://doi.org/10.2136/vzj2017.06.0119>
- Chen, S., Zou, J., Hu, Z., Chen, H., & Lu, Y. (2014). Global annual soil respiration in relation to climate, soil properties and vegetation characteristics: Summary of available data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198–199, 335–346. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.08.020>
- Decina, S. M., Hutryra, L. R., Gately, C. K., Getson, J. M., Reinmann, A. B., Short Gianotti, A. G., & Templer, P. H. (2016). Soil respiration contributes substantially to urban carbon fluxes in the greater Boston area. *Environmental Pollution*, 212, 433–439. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.012>
- Fekete, I., Kotroczó, Z., Varga, C., Nagy, P. T., Várbiro, G., Bowden, R. D., Tóth, J. A., & Lajtha, K. (2014). Alterations in forest detritus inputs influence soil carbon concentration and soil respiration in a Central-European deciduous forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 74, 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.006>
- Lamprey, S., Li, L., Xie, J., Zhang, R., Luo, Z., Cai, L., & Liu, J. (2017). Soil respiration and net ecosystem production under different tillage practices in semi-arid Northwest China. *Plant, Soil and Environment*, 63(1), 14–21. <https://doi.org/10.17221/403/2016-PSE>
- Megayanti, L., Zurhalena, Z., Junedi, H., & Fuadi, N. A. (2022). KAJIAN BEBERAPA SIFAT FISIKA TANAH YANG DITANAMI KELAPA SAWIT PADA UMUR DAN KELERENGAN YANG BERBEDA (Studi Kasus Perkebunan Sawit Kelurahan Simpang Tuan, Kecamatan Mendahara Ulu, Tanjung Jabung Timur). *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), 413–420. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.22>
- Nasution, N. A. P., Yusnaini, S., Niswati, A., & Dermiyati. (2015). RESPIRASI TANAH PADA SEBAGIAN LOKASI DI HUTAN TAMAN NASIONAL BUKIT BARISAN SELATAN (TNBBS). 3 No.3, 427–433.
- Nurhartanto, R. M., Suprianto, E., & Sardjono, D. A. (2020). *Sebaran Unsur Hara Tanah Dan Perakaran Kelapa Sawit Pada Pemanfaatan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit PT. Fairco Agro Mandiri. Vol 3 No 1*, 41–54.
- Pratiwi, P. R., Subandi, M., & Mustari, E. (2015). Pengaruh Tingkat EC (Electrical Conductivity) terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.) pada Sistem Instalasi Aeroponik Vertikal. *Jurnal Agro*, 2(1), 50–55. <https://doi.org/10.15575/163>
- Rubio, V. E., & Detto, M. (2017). Spatiotemporal variability of soil respiration in a seasonal tropical forest. *Ecology and Evolution*, 7(17), 7104–7116. <https://doi.org/10.1002/ece3.3267>
- Rukshana, F., Butterly, C. R., Xu, J.-M., Baldock, J. A., & Tang, C. (2014). Organic anion-to-acid ratio influences pH change of soils differing in initial pH. *Journal of Soils and Sediments*, 14(2), 407–414. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0682-6>
- Setyawan, D., & Hanum, H. (2014). *Respirasi Tanah sebagai Indikator Kepulihhan Lahan Pascatambang Batubara di Sumatera Selatan*.
- Shah, A. N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., Bukhari, M. A., Tung, S. A., Hafeez, A., & Souliyanonh, B. (2017). Soil compaction effects on soil health and crop productivity: An overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 10056–10067. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y>
- Smith, A. P., Marín-Spiotta, E., De Graaff, M. A., & Balser, T. C. (2014). Microbial community structure varies across soil organic matter aggregate pools during tropical land cover change. *Soil Biology and Biochemistry*, 77, 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.030>
- Thomson, B. C., Tisserant, E., Plassart, P., Uroz, S., Griffiths, R. I., Hannula, S. E., Buée, M., Mougel, C., Ranjard, L., Van Veen, J. A., Martin, F., Bailey, M. J., & Lemanceau, P.

- (2015). Soil conditions and land use intensification effects on soil microbial communities across a range of European field sites. *Soil Biology and Biochemistry*, 88, 403–413. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.012>
- Van Leeuwen, J. P., Djukic, I., Bloem, J., Lehtinen, T., Hemerik, L., De Ruiter, P. C., & Lair, G. J. (2017). Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in the Danube floodplain. *European Journal of Soil Biology*, 79, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.02.001>
- Wang, C., Zhou, X., Guo, D., Zhao, J., Yan, L., Feng, G., Gao, Q., Yu, H., & Zhao, L. (2019). Soil pH is the primary factor driving the distribution and function of microorganisms in farmland soils in northeastern China. *Annals of Microbiology*, 69(13), 1461–1473. <https://doi.org/10.1007/s13213-019-01529-9>
- Wang, Q., Wang, C., Yu, W., Turak, A., Chen, D., Huang, Y., Ao, J., Jiang, Y., & Huang, Z. (2018). Effects of Nitrogen and Phosphorus Inputs on Soil Bacterial Abundance, Diversity, and Community Composition in Chinese Fir Plantations. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1543. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01543>
- Wang, Y., Tang, C., Wu, J., Liu, X., & Xu, J. (2013). Impact of organic matter addition on pH change of paddy soils. *Journal of Soils and Sediments*, 13(1), 12–23. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0578-x>
- Widiasmadi, N. (2022). Sistem Konservasi Pertanian pada Tanah Regosol dengan Teknologi IoT Smart Bioisidam. *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, 12(1), 31. <https://doi.org/10.36499/psnst.v12i1.7343>
- Yang, C., Liu, N., & Zhang, Y. (2019). Soil aggregates regulate the impact of soil bacterial and fungal communities on soil respiration. *Geoderma*, 337, 444–452. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.002>
- Yashiro, E., Pinto-Figueroa, E., Buri, A., Spangenberg, J. E., Adatte, T., Niculita-Hirzel, H., Guisan, A., & Van Der Meer, J. R. (2016). Local Environmental Factors Drive Divergent Grassland Soil Bacterial Communities in the Western Swiss Alps. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(21), 6303–6316. <https://doi.org/10.1128/AEM.01170-16>
- Zhang, J., Li, Y., Wang, J., Chen, W., Tian, D., & Niu, S. (2021). Different responses of soil respiration and its components to nitrogen and phosphorus addition in a subtropical secondary forest. *Forest Ecosystems*, 8(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00313-z>
- Zhang, Q., Wu, J., Yang, F., Lei, Y., Zhang, Q., & Cheng, X. (2016). Alterations in soil microbial community composition and biomass following agricultural land use change. *Scientific Reports*, 6(1), 36587. <https://doi.org/10.1038/srep36587>