

Pengamatan Sifat Biologi Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas

Observation of Soil Biological Properties in Several Land Uses in the Experimental Garden of the Faculty of Agriculture, Andalas University

Muhammad Aknil Sefano^{1*}, Moli Monikasari¹, Vivin Auliadesti¹, Nabila¹,
Salma Athya, Wiyatri Tapiani¹, Agustian¹

¹Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Kota, Padang, 25175

*Corresponding Author: m.aknil.sefano@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan lahan yang berbeda dapat memberikan dampak signifikan terhadap sifat biologi tanah. Di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas, terdapat beragam jenis penggunaan lahan seperti lahan pertanian, lahan perkebunan, dan lahan hutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesuburan biologi tanah di lokasi penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei sederhana. Tanah diambil pada kelerengan yang sama (0-8%) pada beberapa penggunaan lahan yaitu lahan padang rumput, lahan hutan, dan lahan perkebunan sawit. Sampel diambil pada kedalaman 0-20 cm pada daerah rhizosfir. Hasil penelitian menunjukkan Respirasi tertinggi terdapat di hutan sebesar 2.10 mg CO₂/g tanah/hari lalu padang rumput dan lahan sawit masing-masing 0.95 mg CO₂/g tanah/hari. C-Biomassa tertinggi di padang rumput yaitu 0.072% lalu lahan sawit 0.018% kemudian hutan 0.011%. Populasi bakteri tertinggi terdapat pada lahan padang rumput yaitu 6.21 CFU, kemudian hutan 5.92 CFU, dan sawit 5.58 CFU. Kadar enzim pospatase baik yang aktif di pH masam maupun basa, nilai tertinggi terdapat pada lahan hutan yaitu 10.38 µmol/g (asam) dan 5.68 µmol/g (basa) kemudian lahan padang rumput sebesar 5.87 µmol/g (asam) dan 2.30 µmol/g (basa), dan lahan sawit 3.25 µmol/g (asam) dan 0.90 µmol/g (basa). Berdasarkan analisis, lahan hutan dan lahan padang rumput masih merupakan lahan dengan sifat biokimia yang masih stabil dan memiliki kesuburan biologi yang baik.

Kata kunci: Enzim Pospatase, Hutan, Padang rumput, Lahan Sawit, Biologi Tanah

ABSTRACT

Different land uses can have a significant impact on the biological properties of soil. At the Experimental Garden of the Faculty of Agriculture, Andalas University, there are various types of land use such as agricultural land, plantation land and forest land. This research aims to determine the level of biological fertility of the soil at the research location. The method used in this research is a simple survey method. Soil was taken at the same slope (0-8%) for several land uses, namely grassland, forest land and oil palm plantation land. Samples were taken at a depth of 0-20 cm in the rhizosphere area. The research results showed that the highest respiration was in forests at 2.10 mg CO₂/g soil/day, then grasslands and oil palm fields each at 0.95 mg CO₂/g soil/day. The highest C-Biomass is in grasslands, namely 0.072%, then oil palm land 0.018%, then forests 0.011%. The highest bacterial population was found in grassland, namely 6.21 CFU, then forest 5.92 CFU, and oil palm 5.58 CFU. The levels of the phosphate enzyme, both active at acidic and alkaline pH, had the highest values in forest land, namely 10.38 µmol/g (acid) and 5.68 µmol/g (alkaline) then grassland land at 5.87 µmol/g (acid) and 2.30 µmol/g (alkaline), and oil palm land 3.25 µmol/g (acid) and 0.90 µmol/g (base). Based on the analysis, forest land and grassland are still land with stable biochemical properties and good biological fertility.

Keywords: Phosphatase Enzymes, Forests, Grasslands, Palm Oil Lands, Soil Biology

PENDAHULUAN

Penggunaan lahan yang berbeda dapat memberikan dampak signifikan terhadap sifat biologi tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi kesehatan ekosistem secara keseluruhan. Di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas, terdapat berbagai jenis penggunaan lahan yang mencakup lahan pertanian, lahan perkebunan, dan lahan hutan. Setiap jenis penggunaan lahan ini memiliki karakteristik yang unik dalam memengaruhi komposisi dan aktivitas organisme tanah, seperti mikroorganisme, cacing tanah, dan jamur. Sebagai contoh, lahan pertanian yang intensif biasanya menunjukkan penurunan biodiversitas mikroba tanah akibat penggunaan pestisida dan pupuk kimia secara berlebihan, yang dapat menurunkan kualitas tanah. Sementara itu, lahan perkebunan, meskipun cenderung memiliki struktur tanah yang lebih stabil, juga dapat mengalami degradasi jika tidak dikelola dengan bijaksana. Di sisi lain, lahan hutan memiliki kemampuan alami untuk mendukung keragaman hayati tanah yang lebih tinggi, berkat keberadaan bahan organik yang terus-menerus terdekomposisi dan memperkaya tanah.

Pentingnya pemahaman tentang pengaruh penggunaan lahan terhadap sifat biologi tanah tercermin dalam studi-studi terbaru yang menunjukkan bahwa perubahan pola penggunaan lahan dapat mengubah siklus karbon dan nitrogen tanah, yang pada akhirnya mempengaruhi ketahanan ekosistem terhadap perubahan iklim. Penelitian yang dilakukan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas mengungkapkan bahwa tanah yang dikelola dengan pendekatan agroforestri atau rotasi tanaman cenderung memiliki lebih banyak mikroorganisme pengurai dan lebih tinggi kandungan bahan organik dibandingkan dengan lahan pertanian konvensional. Hasil ini mengindikasikan bahwa pengelolaan penggunaan lahan yang berkelanjutan dapat mendukung keberlanjutan ekosistem tanah dan meningkatkan kapasitasnya dalam menyerap karbon, yang penting dalam mitigasi perubahan iklim. Dengan demikian, pemilihan dan pengelolaan penggunaan lahan yang tepat sangat krusial untuk menjaga fungsi ekosistem tanah yang optimal dan mendukung ketahanan lingkungan.

Sifat biologi tanah meliputi berbagai aspek kehidupan mikroorganisme ini memainkan peran penting dalam proses dekomposisi bahan organik, siklus nutrisi, dan pembentukan struktur tanah yang baik (Vintausek, *et al*, 1985). Proses dekomposisi oleh mikroorganisme menghasilkan humus yang meningkatkan kapasitas tanah dalam menyimpan air dan nutrisi. Siklus nutrisi yang efisien memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal, sementara pembentukan struktur tanah yang baik meningkatkan aerasi dan perkolasi air, yang semuanya berkontribusi pada kondisi tanah yang sehat (Wander, *et al*, 2002). Kondisi tanah yang sehat dengan aktivitas biologi yang tinggi akan mendukung produktivitas tanaman dan keberlanjutan lingkungan. Mikroorganisme tanah juga dapat membantu dalam mitigasi perubahan iklim melalui sequester karbon, di mana karbon diikat dalam bahan organik tanah sehingga mengurangi jumlah karbon di atmosfer (Lavelle dan Spain, 2001). Keragaman hayati tanah sangat beragam dan kompleks, dan setiap jenis penggunaan lahan memiliki komunitas biologi tanah yang berbeda. Faktor musim juga dapat mempengaruhi sifat biologi tanah secara signifikan. Kondisi iklim yang berubah-ubah, seperti curah hujan dan suhu, dapat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dan fauna tanah. Oleh karena itu, penelitian mengenai sifat biologi tanah tidak hanya penting untuk produktivitas

pertanian tetapi juga untuk kesehatan lingkungan secara keseluruhan (Bünemann, *et al*, 2018).

Studi tentang sifat biologi tanah sangat relevan dalam konteks pertanian berkelanjutan. Dengan meningkatnya perhatian terhadap perubahan iklim dan penurunan kualitas tanah, industri pertanian saat ini semakin fokus pada praktik pengelolaan lahan yang ramah lingkungan dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat biologi tanah di kebun percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas dan dapat memberikan pengetahuan bagi petani modern dan pengelola lahan dalam memilih praktik pertanian yang dapat menjaga atau meningkatkan kesehatan tanah. Ini juga relevan untuk industri perkebunan dan kehutanan yang berusaha untuk meningkatkan produktivitas sambil mempertahankan keberlanjutan lingkungan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2024. Penelitian ini terdiri dari penelitian di lapangan yang dilaksanakan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Analisis tanah dilaksanakan di laboratorium Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Alat yang akan digunakan pada penelitian di lapangan antara lain GPS (*Global Positioning System*), bor Belgi, cangkul dan sebagainya. Alat yang digunakan pada analisis tanah di laboratorium antara lain timbangan analitik, gelas ukur, ayakan tanah dan sebagainya. Sedangkan bahan yang akan digunakan antara lain sampel tanah, kertas saring, zat kimia pro analisis dan sebagainya.

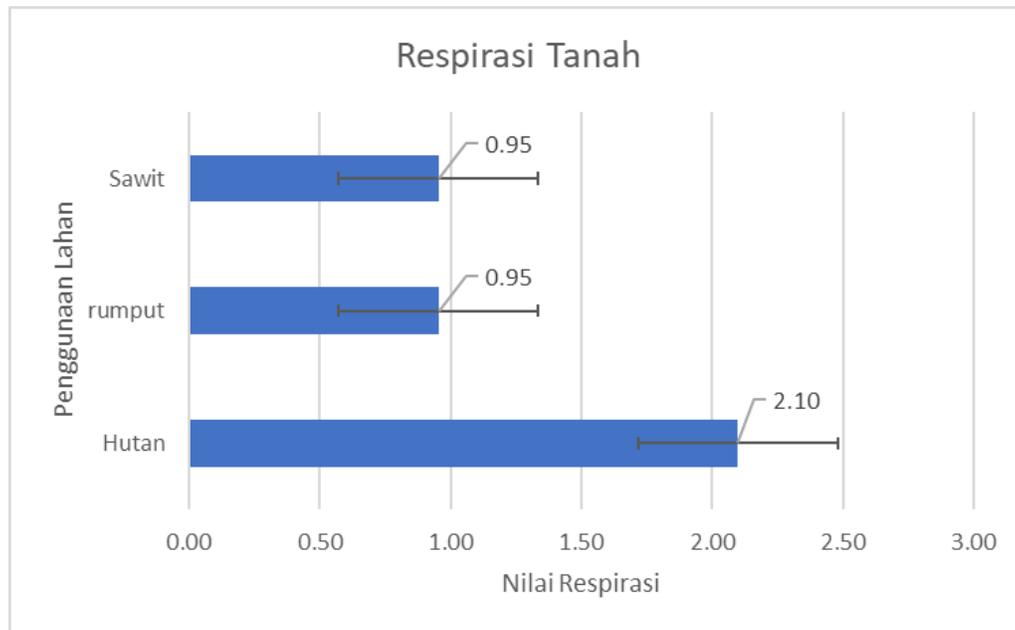
Metode yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu metode survei, dimana sampel diambil pada 3 jenis penggunaan lahan yaitu Lahan padang rumput, Lahan hutan, Lahan perkebunan sawit. Sampel diambil pada kedalaman 0-20 cm pada daerah rhizosfir. Untuk analisis laboratorium, parameter analisis adalah Respirasi mikroorganisme (menggunakan metode Penangkapan CO₂ dengan KOH 1N), C-Biomassa (menggunakan metode Ekstraksi dan Fumigasi), Enzim Pospatase (menggunakan metode Substrat pNP), dan Populasi Bakteri (menggunakan metode Pengenceran dan Cawan Tuang) dimana prosedur analisis merujuk pada Buku *Methods in Soil Biology* (Schinner *et al*, 1996).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Nilai Respirasi Mikroorganisme

Respirasi tanah merujuk pada proses pelepasan karbon dioksida (CO₂) oleh organisme tanah, yang terjadi selama dekomposisi bahan organik. Proses ini mencerminkan aktivitas mikroba dalam tanah dan dapat digunakan sebagai indikator penting untuk mengukur kesehatan dan dinamika ekosistem tanah (Chevallier *et al.*, 2008). Berdasarkan data yang disajikan pada Gambar 1, lahan hutan menunjukkan kadar respirasi tanah tertinggi, yaitu sebesar 2,10 mg CO₂/g tanah/hari, yang mencerminkan aktivitas mikroorganisme yang tinggi. Sebaliknya, lahan sawit dan rumput memiliki nilai respirasi yang lebih rendah, masing-masing sebesar 0,95 mg CO₂/g tanah/hari. Hal ini menunjukkan bahwa hutan, sebagai ekosistem yang lebih stabil, mendukung aktivitas biologis yang lebih intensif dibandingkan dengan sistem pertanian atau perkebunan monokultur, di mana keragaman dan ketersediaan bahan organik terbatas. Sebagai lahan yang kaya akan C-organik, hutan mendukung kondisi yang optimal

bagi mikroorganisme tanah untuk berkembang dan meningkatkan proses dekomposisi bahan organik.

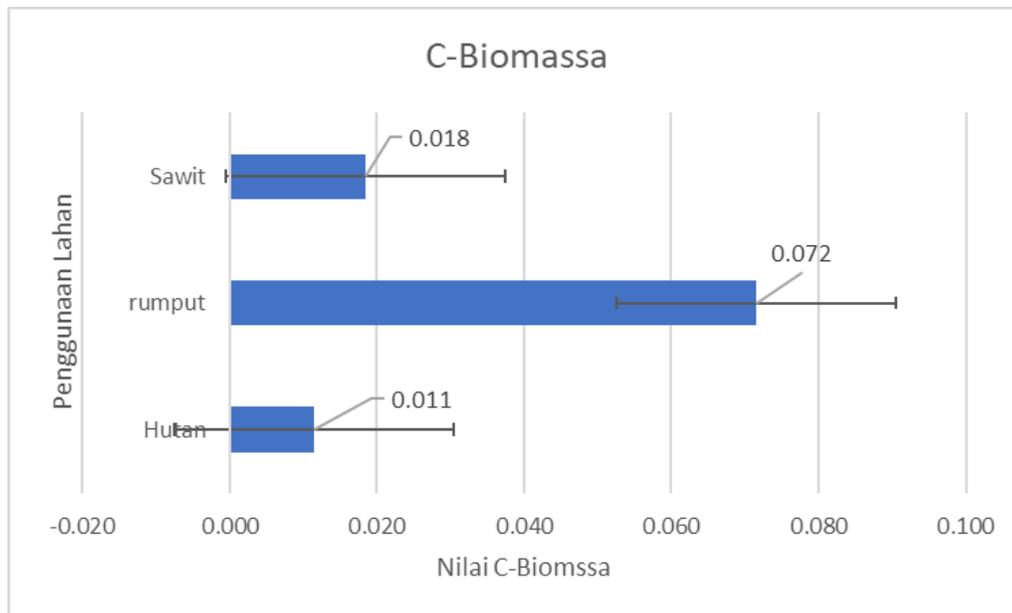


Gambar 1. Nilai Respirasi Tanah (mg CO₂/g tanah/hari)

Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa respirasi tanah berkorelasi positif dengan kadar C-organik, di mana karbon bertindak sebagai sumber utama bagi mikroorganisme tanah (Stefano, 2022). Ketika ketersediaan bahan organik dalam tanah tinggi, aktivitas mikroba dalam mengurai bahan tersebut akan meningkat, yang pada gilirannya mempercepat proses respirasi tanah (Wardle, 2002). Dalam konteks ini, hutan memiliki keunggulan karena kandungan C-organik yang tinggi, yang mendukung siklus biogeokimia tanah yang stabil dan sehat. Sementara itu, pada lahan pertanian atau perkebunan seperti sawit, penggunaan pupuk sintesis dan pengelolaan tanah yang intensif dapat mengurangi jumlah bahan organik yang tersedia, sehingga menghambat aktivitas mikroba dan menurunkan laju respirasi tanah. Hal ini menjadikan respirasi tanah tidak hanya sebagai indikator biologis, tetapi juga sebagai alat untuk mengevaluasi dampak dari praktik pengelolaan lahan terhadap keberlanjutan ekosistem tanah.

2. Kadar C-Biomassa

C-Biomassa adalah bagian dari bahan organik tanah yang berasal dari makhluk hidup seperti mikroorganisme (Alef dan Nannieper, 1995). C-Biomassa tanah disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan data yang disajikan pada Gambar 2, kadar C-biomassa tertinggi ditemukan pada lahan rumput, yaitu sebesar 0,072%, diikuti oleh lahan sawit dengan 0,018%, dan lahan hutan yang memiliki kadar C-biomassa sebesar 0,011%. Hal ini menunjukkan bahwa padang rumput memiliki input karbon organik yang lebih tinggi meskipun bahan organiknya lebih mudah terdekomposisi dibandingkan dengan serasah yang ada di hutan.



Gambar 2. Nilai C-Biomassa (%)

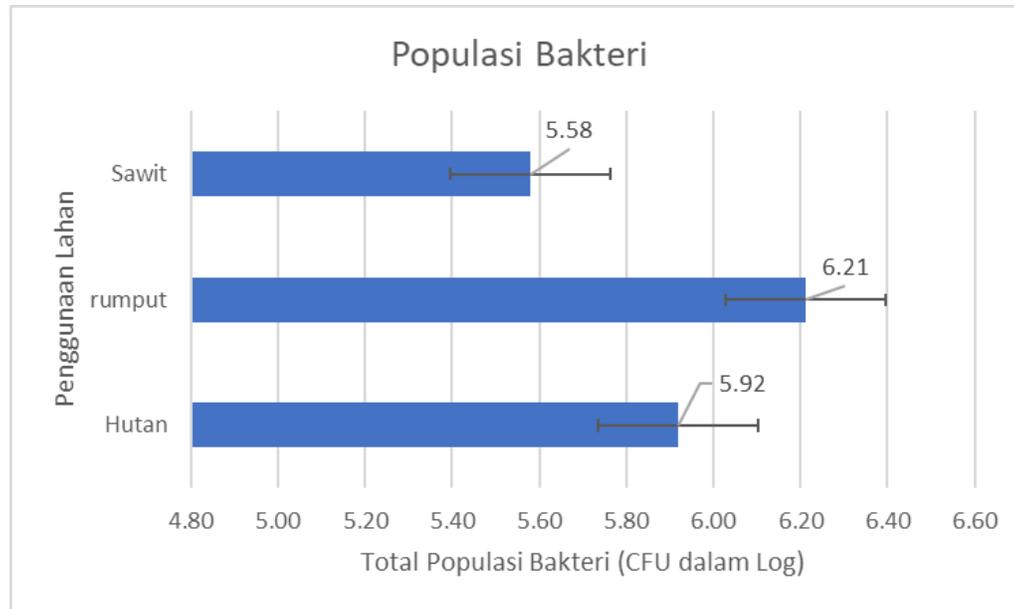
Pada lahan hutan, meskipun terdapat banyak bahan organik, dominasi tanaman dengan kandungan lignin yang tinggi menyebabkan proses dekomposisi lebih lambat. Lignin yang terkandung dalam bahan organik seperti serasah hutan sulit diurai oleh mikroorganisme, sehingga karbon yang terkandung dalam C-biomassa hutan cenderung lebih lama tersimpan. Sebaliknya, pada padang rumput, bahan organik seperti rumput dan tanaman paku yang lebih mudah lapuk menyediakan karbon yang cepat tersedia bagi mikroorganisme tanah, yang mengarah pada nilai C-biomassa yang lebih tinggi.

C-biomassa memiliki peran penting dalam menjaga kesuburan tanah karena berfungsi sebagai sumber energi utama bagi mikroorganisme tanah. Ketersediaan karbon organik yang cukup di dalam tanah mendukung kelimpahan dan keragaman mikroorganisme yang penting untuk proses dekomposisi dan siklus biogeokimia lainnya. Penelitian yang dilakukan oleh Iswandi *et al.* (1995) mengungkapkan bahwa keanekaragaman mikroorganisme tanah hanya dapat berkembang di tanah dengan kondisi yang mendukung kehidupan mereka, seperti ketersediaan unsur hara yang memadai, pH tanah yang sesuai, serta aerasi dan drainase yang baik. Dalam hal ini, padang rumput yang memiliki ketersediaan bahan organik yang lebih cepat terurai dan tanah yang lebih gembur memungkinkan mikroorganisme untuk berkembang lebih cepat dan lebih beragam. Sebaliknya, pada lahan hutan yang kaya akan bahan organik namun lebih padat, ketersediaan oksigen dan kecepatan dekomposisi menjadi lebih terbatas, yang mengurangi keberagaman mikroorganisme meskipun kandungan C-organiknya lebih tinggi. Dengan demikian, meskipun hutan dapat menyimpan lebih banyak karbon, padang rumput menunjukkan potensi yang lebih besar dalam menyediakan biomassa karbon yang lebih cepat tersedia bagi ekosistem mikroba tanah.

3. Total Populasi Bakteri

Tanah adalah suatu ekosistem yang terdiri dari berbagai jenis mikroba dengan morfologi dan sifat fisiologis yang berbeda-beda. Jumlah mikroba memengaruhi sifat kimia

dan fisik tanah dan pertumbuhan tanaman. Dengan mengetahui jumlah dan aktivitas mikroba dalam suatu tanah, maka dapat diketahui tingkat kesuburan suatu tanah. Total Populasi Bakteri (TPB) tanah disajikan pada Gambar 3.



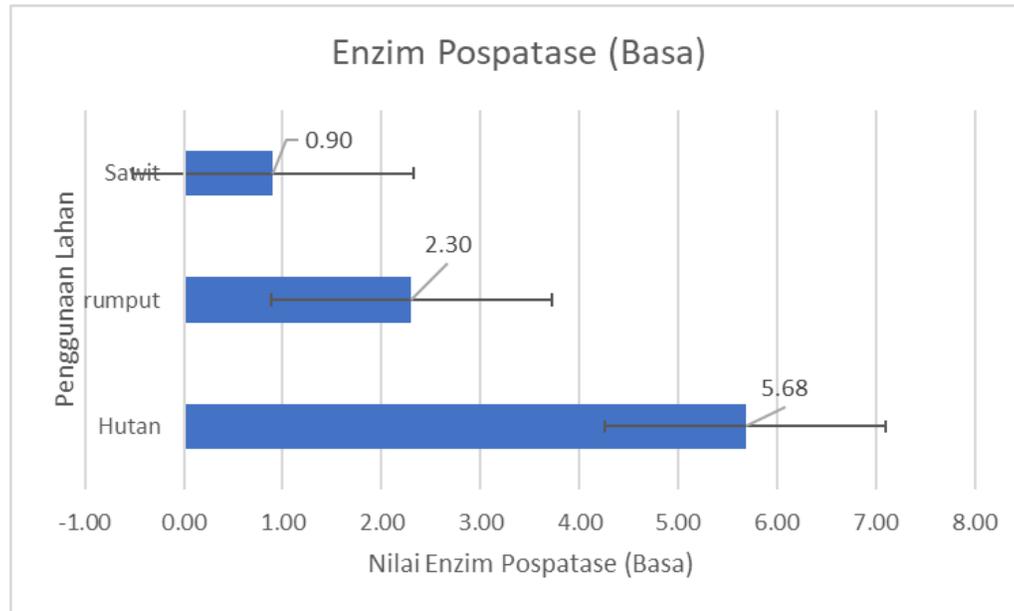
Gambar 3. Jumlah Populasi Bakteri

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Gambar 3, populasi bakteri tanah tertinggi ditemukan pada lahan rumput, yaitu sebesar 6,21 CFU, diikuti oleh lahan hutan dengan 5,92 CFU, dan lahan sawit yang memiliki populasi bakteri terendah sebesar 5,58 CFU. Tingginya populasi bakteri di lahan rumput dapat dijelaskan oleh adanya input karbon organik yang lebih besar dan bahan organik yang lebih mudah terdekomposisi. Pada lahan rumput, bahan organik berasal dari sisa-sisa tanaman yang lebih cepat terurai, memberikan sumber karbon yang lebih cepat tersedia bagi bakteri pengurai. Sebaliknya, pada lahan hutan, meskipun terdapat banyak bahan organik, sebagian besar berasal dari serasah yang lebih kaya lignin dan lebih lambat terurai, sehingga memperlambat proses dekomposisi dan menurunkan ketersediaan sumber karbon bagi mikroorganisme tanah. Di lahan sawit, penggunaan pupuk kimia dan pola pengelolaan yang lebih intensif cenderung mengurangi keanekaragaman bahan organik yang tersedia, yang pada gilirannya membatasi populasi bakteri di tanah.

Selain bahan organik, keberadaan pupuk sintetis juga berperan penting dalam mempengaruhi aktivitas mikroorganisme tanah. Penambahan pupuk ke dalam tanah dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara, yang pada gilirannya merangsang aktivitas dan pertumbuhan populasi mikroba, terutama bakteri yang terlibat dalam proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik. Penelitian yang dilakukan oleh Tian et al. (1997) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme, mempercepat proses dekomposisi, dan mendukung siklus nutrisi di dalam tanah. Namun, penting untuk dicatat bahwa meskipun pupuk sintetis dapat meningkatkan aktivitas mikroba dalam jangka pendek, penggunaan berlebihan dapat menyebabkan ketidakseimbangan mikroorganisme dan degradasi kualitas tanah dalam jangka panjang.

4. Kadar Enzim Pospatase

Enzim pospatase adalah enzim yang berperan dalam proses hidrolisis ester fosfat organik, sehingga melepaskan ion fosfat bebas. Enzim ini terdapat di berbagai organisme, termasuk mikroorganisme tanah, dan memainkan peran penting dalam siklus fosfor. Enzim pospatase tanah disajikan pada gambar 4 dan 5.

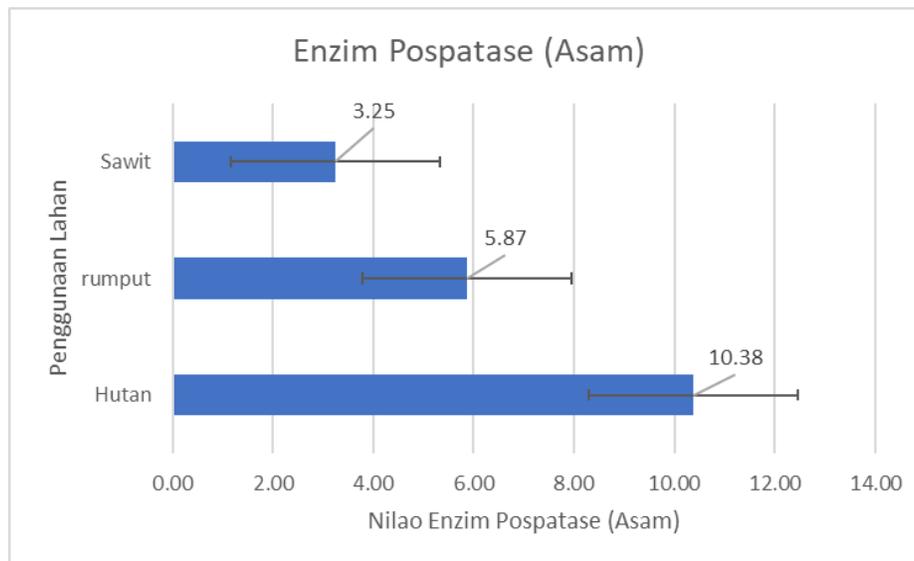


Gambar 4. Enzim pospatase aktif di pH asam

Berdasarkan data yang diperlihatkan pada Gambar 4, aktivitas enzim fosfatase asam menunjukkan bahwa penggunaan lahan berpengaruh signifikan terhadap kinerja enzim ini di dalam tanah. Tanah hutan memiliki nilai aktivitas enzim fosfatase asam tertinggi, yaitu 10,38 $\mu\text{mol/g}$, yang mengindikasikan bahwa kondisi tanah hutan lebih mendukung aktivitas enzim tersebut dibandingkan dengan tanah di lahan sawit dan rumput. Aktivitas enzim fosfatase asam yang tinggi di tanah hutan kemungkinan besar disebabkan oleh tingginya kandungan bahan organik yang terus-menerus terdekomposisi. Bahan organik yang kaya akan karbon dan unsur hara memberikan substrat yang melimpah bagi mikroorganisme tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi produksi enzim-enzim yang berperan dalam proses mineralisasi fosfor, terutama fosfatase, yang berfungsi melepaskan fosfor yang terikat dalam bentuk tidak tersedia bagi tanaman.

Selain itu, keberagaman dan aktivitas mikroorganisme yang tinggi di tanah hutan turut berperan dalam meningkatkan aktivitas enzim fosfatase asam. Mikroorganisme pengurai yang ada di tanah hutan, seperti bakteri dan jamur, memiliki kemampuan untuk memecah bahan organik yang mengandung fosfor, sehingga memperkaya ketersediaan fosfor bagi tanaman. Penelitian terbaru oleh Zhang et al. (2022) menunjukkan bahwa tanah dengan kandungan bahan organik yang lebih tinggi dan populasi mikroorganisme yang lebih beragam cenderung memiliki aktivitas enzim yang lebih intensif dalam mendekomposisi senyawa-senyawa fosfor. Sebaliknya, pada lahan sawit dan rumput, meskipun terdapat pupuk fosfat yang ditambahkan,

tingkat keanekaragaman mikroba dan bahan organik yang lebih rendah membatasi kemampuan tanah untuk mengaktivasi enzim fosfatase dalam jumlah yang signifikan.



Berdasarkan data yang disajikan pada Gambar 5, aktivitas enzim fosfatase pada pH basa juga dipengaruhi oleh jenis penggunaan lahan. Tanah hutan menunjukkan aktivitas enzim fosfatase tertinggi, dengan nilai mencapai 5,68 $\mu\text{mol/g}$, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lahan rumput (2,30 $\mu\text{mol/g}$) dan lahan sawit (0,90 $\mu\text{mol/g}$). Aktivitas enzim yang lebih tinggi pada tanah hutan pada pH basa ini mengindikasikan bahwa kondisi tanah hutan lebih mendukung kinerja enzim fosfatase dalam rentang pH yang lebih tinggi. Hal ini mungkin berkaitan dengan kekayaan nutrisi tanah hutan yang lebih tinggi, yang mendukung keberagaman mikroorganisme yang memproduksi enzim fosfatase. Tanah hutan, yang memiliki kandungan bahan organik yang melimpah, menyediakan banyak substrat bagi mikroorganisme pengurai, termasuk bakteri dan jamur yang menghasilkan enzim fosfatase untuk melepaskan fosfor yang terikat dalam tanah, baik pada pH asam maupun basa.

Selain itu, kondisi tanah hutan yang lebih baik dalam mempertahankan kelembaban juga berperan dalam mendukung aktivitas enzim fosfatase pada pH basa. Kelembaban yang optimal adalah faktor penting dalam memfasilitasi aktivitas mikroorganisme tanah, yang pada gilirannya meningkatkan kinerja enzimatis. Penelitian oleh Smith et al. (2020) menunjukkan bahwa kelembaban tanah yang stabil mendukung proses metabolisme mikroba, sehingga meningkatkan produksi enzim yang terlibat dalam siklus fosfor. Dalam hal ini, tanah hutan yang memiliki kapasitas retensi air yang lebih baik, berkat struktur tanah yang lebih gembur dan kandungan bahan organik yang tinggi, menyediakan kondisi yang lebih ideal untuk aktivitas mikroorganisme penghasil enzim fosfatase. Sebaliknya, pada lahan sawit dan rumput, meskipun terdapat pupuk fosfat, kondisi tanah yang lebih padat dan kurang mampu mempertahankan kelembaban serta ketersediaan bahan organik yang terbatas membatasi potensi aktivitas enzimatis. Secara umum, aktivitas enzim pospatase lebih tinggi pada pH asam dibandingkan dengan pH basa di semua jenis penggunaan lahan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa enzim pospatase lebih efisien dalam memecah fosfor organik pada kondisi asam. Aktivitas tertinggi pada tanah hutan baik pada pH asam maupun basa

mengindikasikan bahwa tanah hutan memiliki lingkungan mikrobiologis yang lebih aktif dan kondusif untuk aktivitas enzim.

KESIMPULAN

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa tiap jenis lahan memberikan dampak berbeda pada aktivitas mikroorganisme, respirasi tanah, biomassa karbon (C-Biomassa), populasi bakteri, dan aktivitas enzim pospatase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan hutan memiliki aktivitas respirasi mikroba tertinggi, yang mencerminkan ekosistem stabil dengan kadar karbon organik tinggi. Lahan rumput memiliki nilai C-Biomassa dan populasi bakteri tertinggi, menunjukkan tingkat kesuburan yang baik. Enzim pospatase juga aktif pada tanah hutan baik pada pH asam maupun basa, menunjukkan kondisi yang mendukung siklus fosfor. Penelitian ini mendukung pentingnya pengelolaan lahan yang berkelanjutan dan praktik pertanian ramah lingkungan untuk menjaga kesehatan ekosistem tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Brady, N.C., & Weil, R.R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., ... & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125.
- Lavelle, P., & Spain, A.V. (2001). *Soil Ecology*. Springer.
- Iswandi, A., D.A. Santosa dan R. Widyastuti. 1995. *Penggunaan Ciri Mikroorganisme dalam Mengevaluasi Degradasi Tanah*. Kongres Nasional VI HITI, 12-15 Desember 1995. Serpong.
- Schinner, F., Ohlinger, R. and Margesin, R. (1996) *Methods in Soil Biology*. Springer Press, Berlin. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-60966-4>
- Sefano, M. A., Maira, L., Darfis, I., Yunanda, W. W., & Nursalam, F. (2023). *Kajian aktivitas mikroorganisme tanah pada rhizosfir jagung (Zea mays L.) dengan pemberian pupuk organik pada ultisol*. *JOURNAL OF TOP AGRICULTURE (TOP JOURNAL)*, 1(1), 31–39. <https://ejournal.bangunharapanbangsa.id/index.php/JTA/article/view/74>
- Tian, G., L. Brussard, B.T., Kang and M.J. Swift. 1997. Soil fauna-mediated decomposition of plant residues under contreined environmental and residue quality condition. In *Driven by Nature Plant Litter Quality and Decomposition*, Department of 30 Biological Sciences. (Eds Cadisch, G. and Giller, K.E.), pp. 125-134. Wey College, University of London, UK.
- Vitousek, P.M., dan Sanford Jr., R.L.. 1985. *Nutrient cycling in moist tropical forest*. Annual Review of Ecology and Systematics.
- Wander, M.M, Gerald L., Walter, Tood M., Nissen, German A. Bollero, Susan S. Andrews dan Deborah A. Cavanaugh-Grant. 2002. *Soil Quality : Science and Procees*. Agron. J. 94 : 23 ±32. Illinois USA.
- Wardle, D.A. (2002). *Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components*. Princeton University Press.