

Studi Karakteristik Kimia Tanah Pada Berbagai Kelerengan di Lahan Agroforestri Berbasis Gaharu (*Aquilaria malaccensis*)

*(Study of Soil Chemical Characteristics at Various Slopes in Agarwood-Based Agroforestry Land (*Aquilaria malaccensis*))*

Hamzah*, Jenny Rumondang, Fawwaz Dinanty, Doani Anggi Safira, Anisatul Farikhah, Dian Nisya, Helmalia Vareira Siregar

Fakultas Kehutanan, Universitas Jambi, Gedung Lab. Terpadu Lt.3, Kampus Pinang Masak, Universitas Jambi, Jl. Raya Jambi-Muara Bulian KM 12, Mendalo Darat

**Corresponding author: hamzhtbr@yahoo.com*

ABSTRACT

*The research was conducted on agarwood agroforestry land (*Aquilaria malaccensis*) in Muaro Pijoan Village, Muaro Jambi Regency, which has an ultisol soil type with a land slope of 3,33% and 7,27%. Agarwood was planted at a distance of 2 x 3 meters on an area of 2 hectares since 2007. Analysis was conducted on various soil chemical properties such as pH, C-Organic, N, P, and K and Cation Exchange Capacity (CEC) in three locations with different slopes. Results showed that soil pH at the study sites ranged from 4-4,05, indicating very high acidity, while C-Organic and CEC contents were low. Nitrogen and phosphorus contents also varied based on slope, potentially affecting agarwood growth. The highest increments in diameter (0,945 cm/year) and height (0,552 m/year) were observed on land with a 7,27% slope. These findings indicate the importance of soil chemistry and slope in supporting agarwood productivity in ultisol agroforestry.*

Keywords: *agarwood, nutrient elements, organic carbon, pH*

ABSTRAK

*Penelitian dilakukan pada lahan agroforestri berbasis gaharu (*Aquilaria malaccensis*) di Desa Muaro Pijoan, Kabupaten Muaro Jambi, yang memiliki jenis tanah ultisol dengan kemiringan lahan 3,33% dan 7,27%. Gaharu ditanam pada jarak 2 x 3 meter di lahan seluas 2 hektar sejak tahun 2007. Analisis dilakukan terhadap berbagai sifat kimia tanah seperti pH, C-Organik, N, P, dan K serta Kapasitas Tukar Kation (KTK) di tiga lokasi dengan kemiringan berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH tanah di lokasi penelitian berkisar pada 4-4,05, menunjukkan tingkat keasaman yang sangat tinggi, sementara kandungan C-Organik dan KTK tergolong rendah. Kandungan nitrogen dan fosfor juga bervariasi berdasarkan kemiringan lahan, yang berpotensi mempengaruhi pertumbuhan gaharu. Riap diameter dan tinggi tanaman gaharu tertinggi ditemukan pada lahan dengan kemiringan 7,27%, dengan riap diameter tahunan rata-rata sebesar 0,945 cm/tanaman/tahun dan riap tinggi sebesar 0,552 m/tanaman/tahun. Temuan ini menunjukkan pentingnya sifat kimia tanah dan kemiringan lahan dalam mendukung produktivitas tanaman gaharu di agroforestri ultisol.*

Kata kunci: *gaharu, unsur hara, karbon organik, pH*

Diterima, 12 November 2024

Disetujui, 26 Desember 2024

Online, 28 Desember 2024

PENDAHULUAN

Tanah memiliki peran penting sebagai media tumbuh bagi tanaman, khususnya dalam menyediakan ruang bagi akar untuk berkembang baik secara horizontal maupun vertikal (Hanafiah, 2012). Pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh kemampuan akar menembus tanah, sehingga kualitas tanah yang baik akan mendukung pertumbuhan yang optimal. Sebaliknya, jika kondisi tanah kurang baik, pertumbuhan tanaman pun akan terganggu (Brady dan Weil, 2017). Desa Muaro Pijoan, Kabupaten Muaro Jambi memiliki jenis tanah ultisol yang memiliki potensi mendukung berbagai vegetasi penghasil produk hasil hutan bukan kayu. Tanaman gaharu sebagai komoditas utama di lahan seluas 2 hektar ditanam sejak tahun 2007, dengan jarak tanam 2 x 3 meter. Setelah pemupukan awal menggunakan NPK Mutiara, tanaman gaharu diharapkan mampu menghasilkan gubal berkualitas saat mencapai usia ± 10 tahun. Namun, pengamatan di lapangan menunjukkan variasi dalam pertumbuhan gaharu yang dipengaruhi oleh karakteristik kimia tanah serta kemiringan lahan (3,33% dan 7,27%). Hal ini menunjukkan adanya perbedaan kondisi tumbuh yang mungkin disebabkan oleh faktor-faktor kimia tanah, seperti pH, kandungan N, P, K, dan C-organik. Mengingat pentingnya sifat kimia tanah dalam menentukan kesuburan lahan dan pertumbuhan tanaman, penelitian ini dilakukan untuk memahami pengaruh perbedaan karakteristik tanah terhadap produktivitas gaharu.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di lahan agroforestri yang vegetasinya terdiri dari alpukat, kelapa, jambu air, durian, jelutung, matoa, gaharu, pinang, jengkol, mangga, kopi, pulai milik salah satu Petani di "Desa Muaro Pijoan Kabupaten Muaro Jambi Kecamatan Jambi Luar Kota Provinsi Jambi. Lahan ini memiliki luas 2 hektar dengan jenis tanah ultisol dan kelerengan 3,33% dan 7,27%. Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain cangkuk, ember, plastik sampel, meteran, tali rafia, kertas label, alat tulis, tali, gunting, parang, aplikasi *open camera*, handphone, *forestry pro*, phi-band. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel tanah.

Sensus pohon dilakukan dengan mengamati tinggi dan diameter pohon utama, serta jumlah spesies pohon yang terdapat pada lahan penelitian. Sampel tanah diambil dari lapisan perakaran menggunakan bor tanah yang diperkirakan 0-60 cm dengan acak dari beberapa titik berdasarkan petak ukur yang telah dibuat dan dengan berat masing-masing sampel yang diambil yaitu 0,5-1 kg dan kemudian dianalisis ke laboratorium. Pengambilan data sampel vegetasi dilakukan dengan pembuatan plot petak ukur 20 x 20

meter, pengukuran diameter menggunakan *phi-band* dan pengukuran tinggi pohon menggunakan alat *forestry pro*. Sifat kimia tanah dianalisis di laboratorium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Sifat Kimia Tanah

Analisis kimia tanah yang ditampilkan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pH tanah di lokasi penelitian berada pada rentang 4 hingga 4,05 di tiga kelerengan yang berbeda, tanpa perbedaan signifikan antar lokasi. Nilai ini termasuk dalam kategori sangat masam, sesuai dengan karakteristik tanah ultisol yang mendominasi wilayah tersebut. Berdasarkan penelitian Syahputra *et al.* (2015), pH tanah ultisol berada pada kisaran 3,73 hingga 5,82, dengan banyak subgrupnya memiliki pH antara 4,3 hingga 4,9.

Tabel 1. Hasil Analisis Sifat Kimia Tanah

Parameter Uji	Hasil Analisa Plot					
	Lereng 3,33%		Lereng 7,27%		Datar	
pH Tanah	4,01	Asam	4,05	Asam	4	Asam
C-Organik (%)	0,9651	SR	0,8921	SR	0,7382	SR
N-Total (%)	0,1047	R	0,1107	R	0,0592	SR
P-tersedia Bray (ppm)	8,59	R	4,8	R	3,51	SR
K total (mg/100g K)	102,39	ST	100,62	ST	59,35	T
Kapasitas Tukar Kation (cmol/kg)	11,53	R	13,27	R	8,22	R

SR : Sangat Rendah
 R : Rendah
 T : Tinggi

Karbon organik (C-Organik) merupakan komponen vital dalam tanah yang berperan penting dalam mempertahankan kesuburannya. Tingkat C-Organik memengaruhi berbagai sifat tanah, seperti struktur tanah, kapasitas retensi air, ketersediaan unsur hara, dan aktivitas mikroorganisme. Kandungan C-organik membantu pembentukan agregat tanah yang stabil, sehingga meningkatkan struktur tanah. Struktur yang baik mendukung aerasi dan drainase tanah, yang penting untuk pertumbuhan akar (Hardjowigeno, 2003). Mikroorganisme tanah menggunakan bahan organik sebagai sumber energi. Tingginya kadar C-organik meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang berperan penting dalam siklus hara dan perombakan bahan organik (Notohadiprawiro, 2006).

Berdasarkan tabel standar nilai kadar C-organik tanah dari Balai Penelitian Tanah (2012), kategori C-organik tanah dibagi sebagai berikut: sangat rendah kadar C-organik < 1,00%, rendah kadar C-organik berada pada rentang 1,00–2,00%, sedang kadar C-organik berada pada rentang 2,01–3,00%, tinggi kadar C-organik berada pada rentang 3,01–5,00%, dan sangat tinggi kadar C-organik > 5,00%. Kategori ini dapat digunakan untuk

menilai tingkat kesuburan tanah berdasarkan kandungan C-organiknya. Berdasarkan analisis C-Organik yang tercantum pada Tabel 1, tiga sampel tanah ultisol yang diambil dari tiga lokasi dengan kelerengan berbeda menunjukkan kadar C-organik berkisar antara 0,7% hingga 0,9%. Hasil ini hampir mirip dengan penelitian Nurrohman *et al.* (2018), yang menemukan bahwa kadar karbon organik sebesar 1% pada tanah di perkebunan kakao, dan tergolong sangat rendah. Rendahnya kadar karbon organik pada tanah ultisol ini dapat dikaitkan dengan sifat alaminya yang miskin bahan organik, sebagaimana dijelaskan oleh Lal (2006), di mana tanah tropis sering kali memiliki kandungan bahan organik rendah akibat dekomposisi cepat dan pencucian unsur hara. Menurut Saidy (2018), kadar minimum C-organik yang ideal untuk menunjang kesuburan tanah adalah 2%. Tanah dengan kadar C-organik di bawah ambang batas ini cenderung mengalami penurunan kekokohan agregat, yang dapat menyebabkan erosi, berkurangnya infiltrasi air, dan degradasi struktur tanah. Oleh karena itu, upaya peningkatan kandungan bahan organik melalui pemberian mulsa atau pupuk organik sangat diperlukan untuk memperbaiki kesuburan dan keberlanjutan produktivitas tanah.

Penelitian Farrasati *et al.* (2020) menunjukkan bahwa kandungan karbon organik dalam tanah di perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara umumnya rendah hingga sedang, dengan fluktuasi yang terjadi selama periode lima tahun. Sedangkan kandungan C-organik di lokasi penelitian pada lahan agroforestri sawit di Bungku, Jambi dianalisis menggunakan 8 perlakuan pada dua lapisan tanah, pada lapisan 0-10 cm, kadar C-organik berkisar antara 0,98% hingga 2,11%, sementara pada lapisan 10-20 cm berada dalam rentang 0,53% hingga 2,12% (Ullyta 2022). Kadar C-Organik tersebut masuk dalam kategori sangat rendah dan rendah.

Berdasarkan data pada Tabel 1, kandungan nitrogen pada kelerengan 3,33% dan 7,27% memiliki nilai yang sama, yaitu sekitar $\pm 0,1\%$, sedangkan kandungan nitrogen pada tanah datar relatif lebih rendah, sekitar 0,05%. Hasil ini sejalan dengan penelitian Syahputra *et al.* (2015), yang menunjukkan pola serupa pada tanah ultisol di dataran rendah Sumatera Utara. Nitrogen sebagai nutrisi esensial bagi pertumbuhan tanaman, memiliki kandungan optimal yang bervariasi tergantung pada karakteristik tanah (Yuliani *et al.* 2017). Harsani (2017) melaporkan bahwa sistem agroforestri di perkebunan kopi dengan banyak pohon peneduh memiliki kandungan nitrogen yang lebih tinggi (0,24%) dibandingkan dengan sistem monokultur atau sistem dengan sedikit pohon peneduh (0,16%). Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan nitrogen dalam tanah sangat dipengaruhi oleh sistem penggunaan lahan. Penelitian Azahra (2021) mengenai kandungan nitrogen pada bibit kopi berdasarkan variasi kepekatan Pupuk Organik Cair (POC) menunjukkan bahwa kandungan nitrogen dalam tanah sangat dipengaruhi oleh metode pengelolaan lahan, iklim, dan penggunaan pupuk. Studi tentang kandungan nitrogen dalam berbagai sistem penggunaan lahan pun menunjukkan perbedaan yang signifikan. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa karakteristik lahan dan praktik

pengelolaan memiliki peran penting dalam menentukan kandungan nitrogen dalam tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi produktivitas tanaman.

Berdasarkan data pada Tabel 1, kandungan P-tersedia di tanah pada kelerengan 3,33% adalah yang tertinggi, yaitu sebesar 8,59 ppm, diikuti oleh kelerengan 7,27% dengan kandungan 4,8 ppm, sedangkan kandungan P-tersedia terendah terdapat pada tanah datar sebesar 3,51 ppm. Akumulasi bahan organik yang berasal dari bagian atas lereng mungkin terjadi di kelerengan 3,33%. Proses mineralisasi bahan organik ini dapat meningkatkan ketersediaan P. Sebaliknya, tanah datar mungkin mengalami kurangnya input bahan organik, sehingga kandungan P-tersedia lebih rendah. Area dengan kelerengan 3,33% jika dikelola dengan lebih baik (misalnya, melalui pemberian pupuk fosfat), kandungan P-tersedia mungkin lebih tinggi, sedangkan di tanah datar, aktivitas manusia seperti pengolahan tanah intensif atau pencucian oleh air permukaan bisa mengurangi kadar P-tersedia. Meski menunjukkan perbedaan, kandungan P pada ketiga kelerengan tersebut tergolong rendah. Kondisi ini diperkirakan terkait dengan pH tanah yang berada pada rentang masam hingga agak masam, yang memengaruhi ketersediaan fosfor dalam tanah. Penelitian serupa di perkebunan kelapa sawit pada lahan gambut menunjukkan bahwa kadar P umumnya sangat rendah hingga rendah pada 10,1% area yang disurvei (Manurung *et al.*, 2022). Sebaliknya, perkebunan gambir mencatat kadar P yang jauh lebih tinggi (111,54 ppm) dibandingkan tanah hutan di sekitarnya (4,87-8,97 ppm) setelah 30 tahun budidaya, kemungkinan besar akibat praktik tebang-bakar yang meningkatkan kapasitas serapan P dalam tanah (Afner *et al.*, 2018).

Hasil analisis pada Tabel 1 menunjukkan bahwa tanah dengan kemiringan 3,33% memiliki kandungan kalium sebesar 102,39 mg/100gK, sementara tanah dengan kemiringan 7,27% mengandung kalium sebanyak 100,62 mg/100gK, dan tanah datar memiliki kandungan kalium terendah, yaitu 59,35 mg/100gK. Kandungan kalium pada kedua kemiringan tersebut tergolong sangat tinggi dan tanah datar tergolong tinggi. Analisis juga mengungkap bahwa KTK pada ketiga jenis kelerengan ini tergolong rendah, dengan nilai berkisar antara 5-16 cmol/kg. KTK pada kemiringan 3,33% dan 7,27% cukup berbeda jauh dari tanah datar, meskipun secara umum kapasitas tukar kation pada semua kemiringan ini tidak terlalu tinggi. Faktor-faktor seperti kandungan koloid tanah dan bahan organik mempengaruhi KTK, karena keduanya berperan penting dalam peningkatan nilai KTK. KTK yang tinggi pada horizon eluviasi berkaitan dengan akumulasi bahan organik pada lapisan tersebut (Suryani 2014).

Perbedaan nilai KTK pada ketiga kelerengan ultisol ini berkaitan dengan kandungan koloid tanah, seperti bahan organik dan mineral liat yang berfungsi sebagai koloid tanah. Tanah dengan kandungan koloid lebih tinggi, baik itu bahan organik maupun mineral liat, akan memiliki KTK lebih besar. Hal ini disebabkan oleh luas permukaan koloid yang besar dan muatan negatifnya yang tinggi, yang mampu mengikat dan menyimpan kation seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan kalium (K^+) (Notohadiprawiro, 2006).

Menurut Mukhlis *et al.* (2011), faktor yang mempengaruhi KTK meliputi tekstur tanah, kadar bahan organik, dan jenis mineral liat, dengan tanah bertekstur liat yang mengandung lebih banyak koloid organik dan liat memiliki KTK lebih tinggi dibandingkan dengan tanah bertekstur pasir. Penelitian sebelumnya oleh Sadono *et al.* (2019) dan Triadiawarman (2013) menunjukkan variasi kandungan kalium dan KTK pada sistem penggunaan lahan yang berbeda, yang mengindikasikan bahwa pengelolaan tanah berperan besar dalam mempengaruhi kandungan kalium dan KTK tanah.

Riap Diameter dan Riap Tinggi Gaharu (*Aquilaria malaccensis*)

Tabel 2. Riap diameter tahunan rata-rata

Plot	Diameter rata-rata (cm)	Umur tanaman (tahun)	Riap diameter (cm/tanaman/tahun)
kelerengan 3,33%	14,886	17	0,875
kelerengan 7,27%	16,071	17	0,945
Datar	13,088	17	0,769
Rata-rata	14,682	17	0,863

Tabel 3. Riap tinggi tahunan rata-rata

Plot	Tinggi rata-rata (m)	Umur tanaman (tahun)	Riap tinggi (m/tanaman/tahun)
kelerengan 3,33%	8,564	17	0,503
kelerengan 7,27%	9,4	17	0,552
datar	8,055	17	0,473
Rata-rata	8,673	17	0,510

Riap menurut Arief (2001) didefinisikan sebagai pertambahan volume pohon atau tegakan per satuan waktu tertentu. Riap dapat digunakan untuk menyatakan pertambahan nilai tegakan atau pertambahan diameter atau tinggi pohon setiap tahun. Pertumbuhan diameter batang merupakan sifat yang sangat penting, karena riap diameter berpengaruh terhadap perkembangan tanaman (Omon 2010). Nilai riap diameter tahunan rata-rata dari 135 pohon paling besar terdapat pada plot kelerengan 7,27% yaitu sebesar 0,945 cm/tanaman/tahun sedangkan yang terkecil diketahui terdapat di plot kelerengan 0-1% yaitu sebesar 0,769 cm/tanaman/tahun. Setiawan (2015) berpendapat bahwa pertumbuhan diameter tanaman terhambat karena produk fotosintesis yang dihasilkan serta kurangnya spektrum matahari yang dapat merangsang aktivitas hormon dalam proses pembentukan sel meristem menuju diameter batang. Efisiensi tumbuhan dalam memanfaatkan cahaya terlihat dari kemampuannya tumbuh pada intensitas cahaya yang rendah, ditunjukkan dengan titik kompensasi cahaya (Nugroho *et al.* 2011). Tanaman yang tahan naungan, titik kompensasi cahaya lebih rendah dibandingkan dengan jenis tanaman yang tidak tahan naungan (Daniel *et al.*, 1979). Gaharu merupakan jenis tanaman yang semi-toleran, sehingga jika terpapar cahaya terlalu tinggi, pertumbuhan tanaman akan

terganggu karena respirasinya lebih tinggi daripada energi yang didapat dari fotosintesis (Nugroho *et al.*, 2011).

Nilai riap tinggi tahunan rata-rata pada masing-masing plot sampel yaitu nilai terendah terdapat pada plot kelerengan 0-1% sebesar 0,473 m/tanaman/tahun sedangkan nilai terbesar terdapat pada plot kelerengan 7,27% sebesar 0,552. Pertumbuhan tinggi menurut Irwanto (2006), sangat berhubungan dengan laju fotosintesis dan respirasi, sedangkan laju fotosintesis sebanding dengan intensitas cahaya yang diterima. Intensitas cahaya dan suhu yang terlalu tinggi dalam jangka waktu yang lama, menyebabkan keseimbangan air pada tanaman akan terganggu. Titik jenuh matahari tidak dapat dimanfaatkan sinar matahari untuk meningkatkan hasil fotosintesis, walaupun cahaya matahari meningkat sehingga spesies dan tahap pertumbuhan yang berbeda memerlukan cahaya yang berbeda (Usuluddin *et al.*). Plot dengan kelerengan 7,27% memiliki nilai riap tinggi tahunan terbesar (0,552 m/tanaman/tahun). Hal ini dapat disebabkan oleh intensitas cahaya yang optimal pada kelerengan tersebut, didukung oleh laju fotosintesis yang lebih baik. Fotosintesis yang efektif menghasilkan lebih banyak energi untuk mendukung pertumbuhan tinggi tanaman. Sebaliknya, pada plot datar (0-1%), riap tinggi tahunan lebih rendah (0,473 m/tanaman/tahun). Hal ini mungkin karena intensitas cahaya di area ini kurang optimal akibat hambatan seperti naungan, aliran udara yang terbatas, yang mengurangi efisiensi fotosintesis. Area dengan kelerengan sedang hingga curam, intensitas cahaya yang diterima lebih bervariasi, memberikan peluang lebih besar bagi tanaman untuk beradaptasi dan memanfaatkan cahaya sesuai kebutuhannya, sehingga mendukung pertumbuhan tinggi. Perbedaan riap diameter dan riap tinggi diduga karena adanya pengaruh faktor internal dari tanaman berupa genetik pada setiap tanaman yang berbeda serta faktor eksternal berupa persaingan hara, tempat tumbuh dan faktor lingkungan sekitar seperti ketersediaan cahaya matahari suhu, dan kelembaban.

Tabel 4. Riap volume tahunan rata-rata

Plot	Volume pohon rata-rata (m ³)	Umur tanaman (tahun)	Riap volume (m ³ /tanaman/tahun)
Kelerengan 3,33%	0,127	17	0,007
Kelerengan 7,27%	0,156	17	0,009
Datar	0,094	17	0,005
Rata-rata	0,126	17	0,007

Tabel 4 menunjukkan bahwa riap volume tahunan rata-rata disetiap plot sampel, jumlah terbesar berada di tempat dengan kemiringan tanah 7,27% sebesar 0,009 m³/tanaman/tahun sementara jumlah terkecil riap volume tahunan rata-rata berada di tempat dengan kemiringan tanah 0-1% yaitu sebesar 0,005 m³/tanaman/tahun. Pertumbuhan pohon dipengaruhi oleh tiga faktor utama: keturunan, lingkungan, dan teknik silvikultur (Kramer dan Kozlowski 1960). Faktor-faktor yang memengaruhi riap tegakan

adalah silvikultur, jenis tanaman, dan kualitas tempat tumbuh (Lai, 1960). Berdasarkan syarat tumbuh gaharu, tanaman gaharu dapat tumbuh dengan baik di daerah rendah, perbukitan, hingga pegunungan, tetapi tanaman gaharu tidak optimal jika ditanam di kelerengan dengan kelerengan di atas 40% (Cipta, 2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelerengan lahan plot penelitian dibawah 40%, sehingga masih dalam kategori lahan yang optimal untuk pertumbuhan gaharu dari segi kemiringan lahan.

KESIMPULAN

Penelitian menunjukkan bahwa tanah ultisol di lokasi penelitian memiliki pH sangat masam (4–4,05), kadar C-organik rendah (0,7–0,9%), nitrogen rendah hingga sedang (0,05–0,1%), fosfor tersedia rendah (3,51–8,59 ppm), dan kapasitas tukar kation (KTK) rendah (5–16 cmol/kg), meskipun kandungan kalium relatif tinggi. Pertumbuhan tanaman gaharu lebih baik pada lahan dengan kemiringan 7,27% dan 3,33% dibandingkan lahan datar, mengindikasikan pengaruh kemiringan terhadap ketersediaan hara dan pertumbuhan tanaman. Pengelolaan tanah diperlukan untuk meningkatkan kesuburan ultisol, terutama pada lahan datar dengan hara terbatas.

DAFTAR PUSTAKA

- Afner SOG, Marta A, Batubara FY. 2018. Perbandingan kandungan fosfor lahan gambir setelah penanaman 30 tahun terhadap lahan hutan sekitar. *Lambung* 17(2): 89–94.
- Arief A. 2001. Hutan dan Kehutanan. Yogyakarta: Kanisius.
- Azahra NR, Mindari W, Santoso SB. 2021. Mineralisasi nitrogen tanah pada berbagai pengelolaan tanaman kopi (*Coffea L.*) di Kecamatan Tukur-Pasuruan. *Plumula: Berkala Ilmiah Agroteknologi* 9 (1): 23-35.
- Brady NC, Weil RR. 2017. *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Amerika: Pearson Education.
- Cipta A. 2015. Studi Kesesuaian Lahan Tanaman Gaharu di Kabupaten Sleman [skripsi]. Yogyakarta: Instiper.
- Daniel TW, Helms JA, Baker FS. 1979. Prinsip-prinsip Silviculture (terjemahan). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Farrasati, R., Pradiko, I., Rahutomo, S., Sutarta, E. S., Santoso, H., & Hidayat, F. 2020. C-organik Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit Sumatera Utara: Status dan Hubungan dengan Beberapa Sifat Kimia Tanah. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 43(2), 157. <https://doi.org/10.21082/jti.v43n2.2019.157-165>.
- Hardjowigeno S. 2003. Ilmu Tanah. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Hanafiah KA. 2012. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Harsani dan Suherman. 2017. Analisis ketersediaan nitrogen pada lahan agroforestri kopi dengan berbagai pohon penayang. *Jurnal Galung Tropika*. 6 (1) : 60 – 65.

- Irwanto. 2006. Pengaruh perbedaan naungan terhadap pertumbuhan semai *Shorea* sp. di persemaian [tesis]. Sekolah Pasca Sarjana, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Kramer PJ, Kozlowski TT. 1960. *Physiology of Trees*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Lai AB. 1960. *Silviculture System and Forest Management*. India: Jugal Kishore & Co.
- Lal R. 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development* 17(2): 197-209.
- Manurung R, Gunawan J, Hazriani R, Suharmoko J. 2022. Pemetaan status unsur hara N, P dan K tanah pada perkebunan kelapa sawit di lahan gambut. *Pedontropika: Jurnal Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan* 3(1): 89-96.
- Mukhlis S, Sarifuddin, Hanum H. 2011. *Kimia Tanah, Teori, dan Aplikasi*. Medan: USU Press.
- Notohadiprawiro T. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Nugroho AW, Junaidah, Azwar F, Muara J. 2011. Pengaruh naungan dan asal benih terhadap daya hidup dan pertumbuhan Ulin (*Eusideroxylon zwageri* T. et B). Balai Penelitian Kehutanan Palembang. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 8(5): 279-286.
- Nurrohman E, Rahardjanto A, Wicaksono S. 2018. Studi hubungan keanekaragaman makrofauna tanah dengan kandungan C-organik dan organofosfat tanah di perkebunan coklat (*Theobroma cacao* L.) Kalibaru Banyuwangi. *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, 4(1):1-10.
- Omon RM. 2010. Kriteria dan indikator mutu bibit terhadap persen hidup dan pertumbuhan tiga jenis meranti merah di areal HPH PT. Sari Bumi Kusuma, Kalimantan Tengah. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa* 4(1): 49-60.
- Sadono R, Soeprijadi D, Wirabuana P. Y. A. P. 2019. Variasi sifat simia tanah pada sistem agroforestri di kawasan hutan tanaman kayu putih. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 17(2): 205-211.
- Saidy AR. 2018. *Bahan Organik Tanah: Klasifikasi, Fungsi dan Metode Studi*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Setiawan A, Mardiansyah M, Sribudiani E. 2015. Respon pertumbuhan semai meranti tembaga (*Shorea leprosula* Miq.) pada medium campuran topsoil dan kompos dengan berbagai tingkat naungan. *Jurnal Penelitian JOM Faperta* 2(2): 1-15.
- Suyana A, Abdurachman M. 2008. Pertumbuhan tanaman *Shorea leprosula* Miq di PT Inhutani I Long Nah Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa* 1(2): 24-24.

- Syahputra E, Fauzi F, Razali R. 2016. The characteristics of the chemical properties of ultisols subgroups in some areas of Northern Sumatra. *Jurnal Agroekoteknologi* 4(1): 1796-1803.
- Triadiawarman D. 2013. Kondisi tanah habitat Ulin (*Eusideroxylon zwageri* T & B) di Preval Taman Nasional Kutai Kabupaten Kutai Timur. *Jurnal Pertanian Terpadu*. 6:11-20
- Usuluddin, Burhanuddin, Muin A. 2018. Pertumbuhan tanaman gaharu (*Aquilaria malaccensis* Lamk) pada tanah aluvial dengan naungan dan tinggi bibit berbeda. *Jurnal Hutan Lestari* 6(3): 605-617.
- Ullyta A. 2022. Analisis karakteristik aliran permukaan pada agroforestri sawit di Bungku, Jambi [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Yuliani S, Daniel, Achmad M. 2017. Analisis kandungan nitrogen tanah sawah menggunakan spektrometer. *Jurnal Agri Techno*. 10(2): 188-202.