

Dampak Revegetasi Hutan dengan Tegakan Meranti di Hutan Penelitian Gunung Dahu Bogor Jawa Barat terhadap Karakteristik dan Kesuburan Tanah (Impact of Forest Revegetation using Meranti Stands in Gunung Dahu Research Forest Bogor West Java on Soil Characteristics and Fertility)

Wahyuni Ferdianti^{1*}, Basuki Wasis², dan/and Yunita Lisnawati³

¹Program Studi Silvikultur Tropika, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga, 16680, Bogor, Jawa Barat, Indonesia; Telp. (0251) 8626806

²Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University, Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga, 16680, Bogor, Jawa Barat, Indonesia; Telp. (0251) 8626806

³Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi, Jl. Raya Jakarta Bogor KM.46.Cibinong. Bogor 16911, Jawa Barat, Indonesia. Telp. +62 82114151229

| | |
|---|--|
| Info artikel: | ABSTRACT |
| Keywords: Degradation, revegetation, soil fertility, <i>Shorea leprosula</i> , <i>Shorea selanica</i> | <i>Revegetation can improve degraded environmental conditions caused by forest conversion. The Gunung Dahu Research Forest Management (GDRF) has carried out revegetation using Shorea leprosula and Shorea selanica, which has improved the GDRF landscape. However, it is not yet known how revegetation impacts the soil conditions in the GDRF. This study aimed to determine the soil properties of S. leprosula and S. selanica stands planted using different planting techniques in GDRF and estimates soil fertility using Soil Fertility Index (SFI) and Soil Evaluation Factor (SEF). Soil samples were taken using purposive sampling, and soil fauna was separated using a Berlese funnel and hand sorting. Comparative data were collected from unvegetated lands (bare lands) and nearby natural forests. The results showed that after 24 years of planting, the soil conditions in the GDRF were better than the soil conditions in the bare land and had approached the soil conditions in natural forests. This is indicated by the high nutrient content, especially the organic C content, which ranges from 3.09% to 3.28%. The diversity of soil fauna in the GDRF is moderate to high. The S. leprosula plots with line planting techniques yielded the second-highest fertility index values just under soil fertility index values of natural forests with SFI of 40.50 and SEF of 62.54. This information is expected to be considered in the next revegetation activities.</i> |
| Kata kunci: Degradasi, kesuburan tanah, revegetasi, <i>Shorea leprosula</i> , <i>Shorea selanica</i> | ABSTRAK Revegetasi dapat memperbaiki kondisi lingkungan yang terdegradasi yang disebabkan oleh konversi hutan. Pengelola Hutan Penelitian Gunung Dahu (HPGD) telah melakukan revegetasi menggunakan <i>Shorea leprosula</i> dan <i>Shorea selanica</i> yang berhasil memperbaiki bentang lahan HPGD. Namun belum diketahui bagaimana dampak revegetasi tersebut terhadap kondisi tanah di HPGD. Penelitian ini bertujuan mengkaji sifat tanah tegakan <i>S. leprosula</i> dan <i>S. selanica</i> yang ditanam menggunakan teknik penanaman berbeda di HPGD serta memperkirakan kesuburan tanah menggunakan <i>Soil Fertility Index</i> (SFI) dan <i>Soil Evaluation Factor</i> (SEF). Pengambilan sampel tanah menggunakan metode <i>purposive sampling</i> dan pemisahan fauna tanah dilakukan menggunakan corong <i>Berlese</i> dan <i>hand sorting</i> . Sebagai pembandingan, pengamatan juga dilakukan pada lahan yang belum direvegetasi (tanah kosong) dan hutan alam terdekat. Hasil penelitian menunjukkan pasca 24 tahun penanaman, kondisi tanah di HPGD lebih baik dari kondisi tanah di tanah kosong dan telah mendekati kondisi tanah di hutan alam. Hal ini ditunjukkan dengan unsur hara yang tinggi terutama kandungan C-organik yang berkisar antara 3,09% hingga 3,28%. Keanekaragaman fauna tanah di HPGD tergolong sedang hingga tinggi. Petak <i>S. leprosula</i> dengan teknik penanaman <i>line planting</i> memiliki indeks kesuburan tanah tertinggi setelah indeks kesuburan tanah hutan alam dengan nilai SFI 40,50 dan SEF 62,54. Informasi ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam kegiatan revegetasi berikutnya. |
| Riwayat artikel: Tanggal diterima: 4 September 2021; Tanggal direvisi: 19 Oktober 2021; Tanggal disetujui: 14 Desember 2021 | |

Editor: Dr. Budi Hadi Narendra, S.Hut., M.Sc

Korespondensi penulis: Wahyuni Ferdianti* (E-mail: wahyuniferdianti98@gmail.com)

Kontribusi penulis: **WF**: Melakukan pengambilan data lapangan berupa sampel tanah, pemisahan serta identifikasi jenis meso dan makrofauna tanah di laboratorium, pengolahan data penelitian, analisis hasil yang diperoleh dan penulisan manuskrip; **BW**: Merancang alur dan metode pengambilan sampel tanah, analisis hasil, dan penulisan manuskrip dan **YL**: Merancang alur dan metode pemisahan fauna tanah, perijinan lokasi penelitian, analisis hasil dan penulisan manuskrip.

<https://doi.org/10.20886/jphka.2022.19.1.49-67>

©JPHKA - 2018 is Open access under CC BY-NC-SA license

1. Pendahuluan

Hutan sebagai suatu ekosistem merupakan hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungan. Fungsi hutan sebagai sistem penyangga kehidupan hanyalah salah satu di antaranya. Indonesia merupakan negara yang memiliki hutan tropis terluas di dunia setelah Brazil dan Kongo (Kusumo, Nur, Bambang, & Izzati, 2016). Namun, hutan Indonesia terus mengalami kerusakan yang sebagian besar diakibatkan oleh kegiatan manusia mulai dari konversi hutan menjadi lahan pertanian, perkebunan, kebakaran, serta perambahan dan pembalakan liar. Tercatat pada tahun 2018 hingga 2019 deforestasi Indonesia dalam kawasan hutan mencapai 375.867 ha/tahun dan angka tersebut meningkat dari tahun sebelumnya (KLHK, 2020). Hal tersebut memicu terjadinya degradasi lahan yang dapat mengancam kondisi lingkungan seperti hilangnya vegetasi yang berakibat pada penurunan bahan organik dan hara tersedia serta diikuti dengan penurunan aktivitas biologi tanah (Indrayatie, 2011; Yudhistira, Hidayat, & Hadiyanto, 2012; Arif, 2016).

Hutan Indonesia didominasi oleh Famili Dipterocarpaceae bernilai ekonomi dan ekologi tinggi (Ulfa et al., 2019). Salah satu marga yang memiliki keanekaragaman paling tinggi yaitu meranti. Sebagai salah satu kayu komersial, meranti telah terkenal di berbagai negara terutama jenis meranti merah. Namun, akibat dari kegiatan deforestasi yang semakin meningkat, keberadaan beberapa jenis meranti seperti *Shorea leprosula* dan *Shorea selanica* mulai terancam (Prayoga & Indriyanto, 2019). Selain itu, terdapat beberapa faktor internal yang menjadi penyebab terjadinya penurunan populasi jenis meranti ini, seperti daur hidup yang lama dan pola reproduksi yang cukup rumit yang membutuhkan polinator khusus dalam penyerbukannya (LIPI, 2017). Revegetasi dapat dijadikan sebagai salah

satu usaha untuk menyelamatkan jenis meranti tersebut dari ancaman kepunahan.

Hutan Penelitian Gunung Dahu (HPGD) berada pada ketinggian 550-900 mdpl dengan luas mencapai ± 250 ha, dan memiliki topografi berbukit dan curam. Berbagai jenis Dipterocarpaceae telah berhasil ditanam di kawasan HPGD. Dua di antara jenis yang ditanam adalah *S. leprosula* dan *S. selanica* dengan menggunakan beberapa teknik penanaman seperti *total planting* dan *line planting*. Teknik penanaman *total planting* merupakan penanaman yang dilakukan secara menyeluruh dengan jarak tanam tertentu, sedangkan *line planting* merupakan teknik penanaman berbentuk jalur terdiri dari jalur yang ditanami dan jalur yang tidak ditanami atau disebut dengan jalur sela (Rachmat, Pamoengkas, Sholihah, Fambayun, & Susilowati, 2020).

Kegiatan revegetasi akan memperbaiki sifat-sifat tanah yang kemudian mempengaruhi tingkat kesuburan tanah (Budiana, Jumani, & Biantary, 2017). Berdasarkan pertumbuhannya, *S. leprosula* dan *S. selanica* telah berhasil memperbaiki bentang lahan di wilayah HPGD yang sebelumnya hanya ditumbuhi oleh semak belukar, sebagian pinus, kayu afrika dan tanaman bambu. Riap rata-rata tahunan tinggi dan diameter *S. leprosula* mencapai 0,77 m/tahun dan 1,11 cm/tahun serta 0,78 m/tahun dan 1,13 cm/tahun pada *S. selanica* (Rachmat, Pamoengkas, Sholihah, Fambayun, & Susilowati, 2020). Namun, belum diketahui secara pasti dampak revegetasi tersebut terhadap kondisi tanah. Sebaliknya, kondisi tanah berupa perpaduan sifat fisik, kimia dan biologi tanah juga dapat menjadi faktor penentu keberhasilan revegetasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik tanah di bawah tegakan *S. leprosula* dan *S. selanica* pada teknik

penanaman berbeda di HPGD. Analisis mencakup sifat fisik, kimia dan biologi tanah (mesofauna dan makrofauna) serta memperkirakan kesuburan tanah menggunakan *Soil Fertility Index* (SFI) dan *Soil Evaluation Factor* (SEF) sehingga dapat dijadikan sebagai acuan dalam kegiatan revegetasi pada lokasi yang berbeda. SFI dan SEF merupakan metode untuk memperkirakan kesuburan tanah yang sebelumnya telah digunakan oleh Abdu et al. (2008) untuk memperkirakan kesuburan dan kualitas lahan pada tegakan Dipterokarpa di hutan yang direhabilitasi serta hutan alam terdekat dijadikan sebagai pembanding dengan nilai SFI 80 dan SEF 50.

2. Metodologi

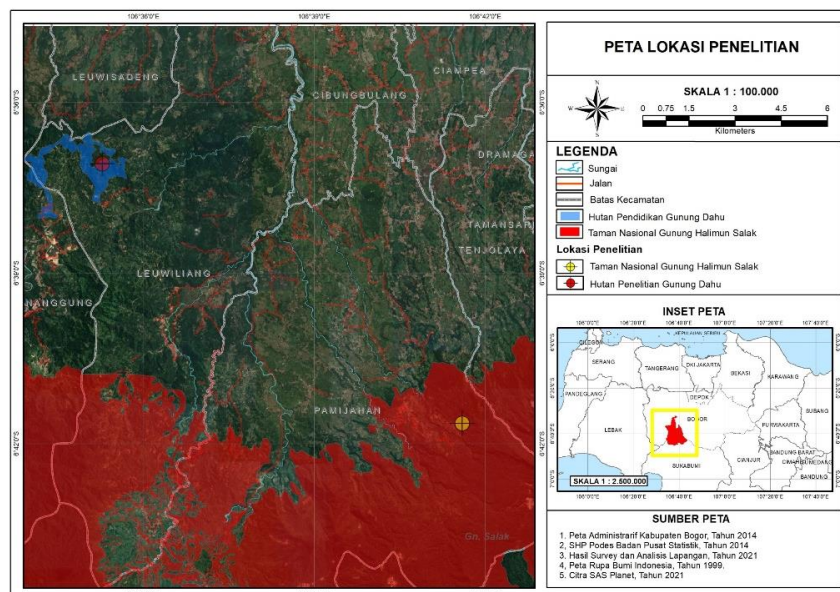
2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari sampai April 2021 di Hutan Penelitian Gunung Dahu (HPGD). Secara administrative, HPGD terletak di Desa Pabangbon (Kecamatan Leuwiliang) dan Desa Bantar Karet (Kecamatan Nanggung), Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Iklim di wilayah HPGD termasuk ke dalam tipe B dengan curah hujan pertahun mencapai 2.500-2.700

mm, topografi berbukit dan curam dengan ketinggian 550 mdpl hingga 900 mdpl. Jenis tanah di HPGD yaitu Inceptisol. Sebagai pembanding pengamatan juga dilakukan pada lahan yang belum direvegetasi berupa tanah kosong di HPGD yang belum ditanami dari tahun 1997 sampai sekarang dan hutan alam terdekat yaitu Taman Nasional Gunung Halimun Salak di Resort PTN Wilayah Gunung Salak II, Kecamatan Pamijahan, Kabupaten Bogor. Pengamatan dilakukan di sekitar jalur pendakian dengan memperhatikan kondisi hutan yang masih alami dan tidak terjamah manusia serta kelereng lokasi pada ketinggian ±1.100 mdpl. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.

2.2. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan adalah pita meter, *Global Position System* (GPS), ring tanah, bor tanah, kantong kain blacu, corong *berlese*, *trashbag*, timbangan digital, oven, mikroskop stereo, optilab, pinset, buku identifikasi dan alat tulis. Bahan yang digunakan yaitu alkohol 70%, contoh tanah serta tegakan *S. leprosula* dan *S. selanica*.



Gambar (Figure) 1. Peta lokasi penelitian (*The research site map*)

2.3. Metode Penelitian

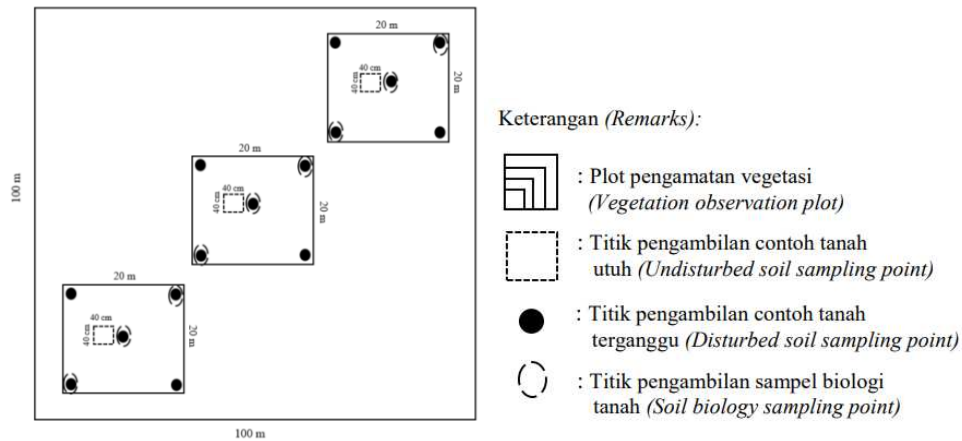
Pengambilan data dilakukan secara *purposive* pada (1) tegakan *S. leprosula* dengan teknik penanaman *total planting* dan *line planting*, (2) tegakan *S. selanica* dengan teknik penanaman *total planting* dan *line planting*, (3) tanah kosong, dan (4) hutan alam dengan luas masing-masing lokasi yang digunakan yaitu 100 × 100 m (1 ha).

Petak yang dipilih pada jenis *S. leprosula* dan *S. selanica* selain memperhatikan teknik penanaman juga mempertimbangkan waktu penanaman, jarak tanam, dan sumber benih yang sama. Pengambilan sampel pada *S. leprosula* berada pada Petak 1 dan Petak 8 sedangkan pada jenis *S. selanica* berada pada Petak 10 dan 17. Petak 1 dan 10 merupakan petak penanaman teknik *total planting* pada jarak tanam 2 × 2 m serta petak 8 dan 17 merupakan *line planting*. Petak teknik penanaman *line planting* menggunakan jarak tanam 2 × 2 m dengan lebar jalur tanam 10 m serta lebar jalur sela 15 dan 20 m. Petak *total planting* berada pada daerah dengan kelerengan tergolong curam yaitu >35% sedangkan petak *line planting* berada pada daerah sangat curam dengan kemiringan lereng >70% (Rachmat et al., 2020). Lokasi lahan yang belum direvegetasi di HPGD berada pada daerah yang relatif datar (0-8%). Sebagian areal pada lahan yang belum direvegetasi berupa tanah kosong diisi oleh rumput dan sebagiannya hanya berupa tanah tanpa vegetasi penutup sedangkan penempatan petak pengamatan di hutan alam dilakukan pada lahan agak curam dengan kelerengan 15-25%. Ditemukan beberapa jenis pohon khas TNGHS (Taman Nasional Gunung Halimun Salak) di lokasi hutan alam seperti *Piper aduncum* (seuseureuhan), *Symplocos fasciculata* (jirak), *Ficus ampelas* (ki hampelas), *Dysoxylum arborescens* (panggung puyuh), *Schima wallichii*

(puspa), *Pinus merkusii* (Pinus), *Quercus gemeliflora* (pasang), *Altingia excelsa* (rasamala), *Melicope denhamii* (ki sampang), *Hevea brasiliensis* (Karet), dan *Castanopsis javanica* (saninten). Pohon pada petak teknik penanaman di HPGD ditanam tahun 1997 menggunakan bibit yang berasal dari perbanyakan stek menggunakan metode KOFFCO (Komatsu-FORDA *Fog Cooling system*) yang khusus dikembangkan untuk perbanyakan jenis lokal (Rachmat, Subiakto, & Susilowati, 2018).

Setiap lokasi dibuat tiga plot contoh berukuran 20 × 20 m dengan jarak antar plot yaitu 28 m yang dibuat secara diagonal untuk mewakili satu petak teknik penanaman, lahan yang belum direvegetasi dan hutan alam terdekat seluas 100 × 100 m (1 ha). Pengambilan sampel tanah terganggu dilakukan menggunakan bor tanah dengan metode *purposive sampling* pada kedalaman 0-20 cm sebanyak lima titik pada setiap plot contoh kemudian dikompositkan hingga merata dan dimasukkan kedalam plastik bening dan dibawa ke laboratorium (Gunawan, Wijayanto, & Budi, 2019). Sedangkan pengambilan sampel tanah utuh dilakukan di 3 titik pada masing-masing plot contoh menggunakan ring sampel standar.

Pengamatan terhadap biologi tanah dilakukan di tanah dan serasah pada sub plot berukuran 40 × 40 cm. Tanah dikeruk hingga kedalaman 5 cm kemudian dimasukkan ke dalam kantong blacu kemudian serasah dan tanah dibawa ke laboratorium (Chotimah, Wasis, & Rachmat, 2020). Fauna tanah yang diamati yaitu kelompok mesofauna dan makrofauna. Pemisahan fauna dari tanah dan serasah dilakukan dengan menggunakan metode *hand sorting* dan corong *Berlese* (Oliveira, Afonso, Carolino, & Frizzas, 2021). Adapun Layout pengambilan data disajikan pada Gambar 2.



Gambar (Figure) 2. Layout pengambilan data (Data collection layout)

Analisis kimia tanah terhadap sampel tanah terganggu dilakukan di Laboratorium Tanah dan Tanaman SEAMEO BIOTROP. Nilai pH ditetapkan menggunakan pH meter dengan perbandingan tanah dan pelarut 1:1. C-organik ditetapkan menggunakan metode Walkley and Black, N total menggunakan metode Kjeldahl dan P tersedia menggunakan ekstraksi Bray. Analisis basa-basa yang dapat ditukar (Ca, Mg, K dan Na) dan KTK dilakukan dengan ekstrak amonium asetat 1.0 N pH 7.0 (Eviati & Sulaeman, 2009).

Analisis fisik tanah pada sampel tanah utuh berupa analisis *Bulk density* (BD) dan porositas dilakukan di Laboratorium Pengaruh Hutan Fakultas Kehutanan IPB dengan metode ring sampel. Sampel tanah utuh dioven selama 24 jam dengan suhu 105 °C kemudian tanah beserta ring ditimbang. Selanjutnya ring dibersihkan dan ditimbang kembali sehingga didapatkan berat ring tanpa tanah. Volume total diperoleh dengan mengukur volume ring. Perhitungan BD dan porositas dilakukan dengan merujuk pada Baso, Hasanah, & Monde (2014).

Pemisahan dan identifikasi fauna tanah dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Tanah Fakultas Pertanian dan Laboratorium Entomologi Fakultas Kehutanan IPB. Morfologi fauna tanah diamati menggunakan mikroskop stereo kemudian dicocokkan dengan kunci

identifikasi yang berpedoman pada Borror, Triplehorn, & Johnson, (1996).

2.4. Analisis Data

Analisis keanekaragaman fauna tanah dilakukan dengan menghitung indeks kekayaan jenis Margalef, indeks keanekaragaman jenis dan indeks pemerataan jenis yang merujuk pada Magurran (1988). Uji Komponen Utama (PCA) dan biplot digunakan untuk menganalisis faktor yang mempengaruhi kesuburan tanah serta melihat hubungan indeks kesuburan dengan fisik dan biologi tanah. Guna mengetahui kesesuaian kedua indeks untuk diterapkan pada lokasi penelitian, dilakukan uji korelasi antara indeks kesuburan tanah (SFI dan SEF) dengan skor PC1 yang diperoleh dari PCA (Abdu et al., 2008). Data dianalisis menggunakan *Xlstat* 2015. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghiung SFI (Moran et al., 2000) dan SEF (Lu, Moran, & Mausel, 2002) adalah sebagai berikut:

$$SFI = pH + \text{Bahan organik (\%)} + P \text{ tersedia (ppm)} + K\text{-dd (me/100 g)} + Ca \text{ dd (me/100 g)} + Mg\text{-dd (me/100 g)} - Al\text{-dd (me/100 g)} + \dots \dots \dots (1)$$

$$SEF = [Ca\text{-dd (me/100 g)} + Mg\text{-dd (me/100 g)} + K\text{-dd (me/100 g)} -$$

$$\log \{1 + \text{AI-dd (me/100 g)}\} \times \text{bahan organik (\%)} + 5 \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan (*Remarks*):
 SFI : *Soil Fertility Index*
 SEF: *Soil Evaluation Factor*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Tapak Lokasi

Permukaan tanah pada masing-masing petak teknik penanaman dan hutan alam ditumbuhi oleh berbagai jenis tumbuhan bawah dengan total kerapatan tumbuhan bawah yang berbeda yaitu 49.167 ind./ha pada Petak 1, 57.500 ind./ha pada Petak 8 serta 38.333 ind./ha dan 46.667 ind./ha pada Petak 10 dan 17. Sedangkan pada tanah kosong hanya sebagian area yang tertutupi tumbuhan yaitu ditumbuhi *Setaria barbata* dengan kerapatan 33.333 ind./ha dan hutan alam

50.833 ind./ha. Keberadaan tumbuhan bawah yang menutupi permukaan tanah sangat berpengaruh terhadap suhu dan kelembaban tanah yang sekaligus mempengaruhi keberadaan fauna tanah.

Biomassa serasah dapat dijadikan sebagai acuan untuk menduga masukan bahan organik dari tanaman untuk kesuburan tanah. Bahan organik memiliki peran penting dalam kesuburan tanah diantaranya yaitu dapat memperbaiki sifat fisik tanah dan meningkatkan aktivitas biologi tanah. Masing-masing lokasi memiliki jenis tumbuhan bawah dan besaran biomassa serasah yang bervariasi. Adapun jenis tumbuhan bawah dan besarnya biomassa serasah pada lokasi penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel (*Table*) 1. Jenis tumbuhan bawah dan biomassa serasah (*Understorey species and litter biomass*)

| No | Lokasi (<i>Location</i>) | Nama Jenis (<i>Species</i>) | Jumlah individu (<i>Number of Individual</i>) | Kerapatan (<i>Density</i>) (ind./ha) | Biomassa Serasah (<i>Litter Biomass</i>) (ton/ha) |
|----|---|-------------------------------|---|--|---|
| 1 | | <i>Cyathea glabra</i> | 14 | 11.666 | |
| 2 | | <i>Nephrolepis biserrata</i> | 16 | 13.333 | |
| 3 | | <i>Etilingera sp.</i> | 11 | 9.166 | |
| 4 | Hutan Alam (<i>Natural Forest</i>) | <i>Cheilocostus speciosus</i> | 3 | 2.500 | 22,42 |
| 5 | | <i>Piper aduncum</i> | 5 | 4.166 | |
| 6 | | <i>Clidemia hirta</i> | 5 | 4.166 | |
| 7 | | <i>Salacca sp.</i> | 5 | 4.166 | |
| 8 | | <i>Spathiphyllum wallisii</i> | 2 | 1.666 | |
| 1 | Petak 1 (<i>Plot 1</i>) | <i>Gleichenia linearis</i> | 15 | 12.500 | 23,00 |
| 2 | | <i>Clidemia hirta</i> | 14 | 11.666 | |
| 3 | | <i>Dioscorea Cf. japonica</i> | 8 | 6.666 | |
| 4 | | <i>Selaginella caudata</i> | 3 | 2.500 | |
| 5 | | <i>Nephrolepis biserrata</i> | 16 | 13.333 | |
| 6 | | <i>Lycopodium clavatum</i> | 3 | 2.500 | |
| 1 | Petak 8 (<i>Plot 8</i>) | <i>Gleichenia linearis</i> | 51 | 42.500 | 30,92 |
| 2 | | <i>Miconia gleasoniana</i> | 4 | 3.333 | |
| 3 | | <i>Lycopodium clavatum</i> | 7 | 5.833 | |
| 4 | | <i>Clidemia hirta</i> | 3 | 2.500 | |
| 5 | | <i>Selaginella caudata</i> | 4 | 3.333 | |

| No | Lokasi (Location) | Nama Jenis (Species) | Jumlah individu (Number of Individual) | Kerapatan (Density) (ind./ha) | Biomassa Serasah (Litter Biomass) (ton/ha) |
|----|-----------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|--|
| 1 | Petak 10 (Plot 10) | <i>Gleichenia linearis</i> | 7 | 5.833 | 14,32 |
| 2 | | <i>Clidemia hirta</i> | 17 | 14.166 | |
| 3 | | <i>Selaginella caudata</i> | 3 | 2.500 | |
| 4 | | <i>Setaria barbata</i> | 12 | 10.000 | |
| 5 | | <i>Dioscorea Cf. japonica</i> | 2 | 1.666 | |
| 6 | | <i>Miconia gleasoniana</i> | 2 | 1.666 | |
| 7 | | <i>Taenitis blechnoides</i> | 3 | 2.500 | |
| 1 | Petak 17 (Plot 17) | <i>Clidemia hirta</i> | 14 | 11.666 | 13,22 |
| 2 | | <i>Dioscorea Cf. japonica</i> | 15 | 12.500 | |
| 3 | | <i>Selaginella caudata</i> | 5 | 4.166 | |
| 4 | | <i>Jatropha curcas</i> | 1 | 833 | |
| 5 | | <i>Pandanus sp.</i> | 2 | 1.666 | |
| 6 | | <i>Gleichenia linearis</i> | 6 | 5.000 | |
| 7 | | <i>Setaria barbata</i> | 8 | 6.666 | |
| 8 | Tanah Kosong (Wasteland) | <i>Pteris vittata</i> | 1 | 833 | 0 |
| 9 | | <i>Taenitis blechnoides</i> | 3 | 2.500 | |
| 10 | | <i>Fotoua villosa</i> | 1 | 833 | |
| 1 | Tanah Kosong (Wasteland) | <i>Setaria barbata</i> | 40 | 33.333 | 0 |

Keterangan (Remarks): HA: Hutan Alam (natural forest), Petak 1 (Plot 1): *S. leprosula* teknik tanam (planting technique) total planting, Petak 8 (Plot 8): *S. leprosula* teknik tanam (planting technique) line planting, Petak 10 (Plot 10): *S. selanica* teknik tanam (planting technique) total planting, Petak 17 (Plot 17): *S. selanica* teknik tanam (planting technique) line planting, TK: Tanah Kosong (bare land), INP: Indeks Nilai Penting (Important Value Index)

Biomassa serasah terbesar terdapat pada Petak 8 yaitu mencapai 30,92 ton/ha. Kondisi serasah pada Petak 8 sebagian besar berasal dari tumbuhan bawah yang sudah mati dan mengering yaitu jenis *Gleichenia linearis* yang mendominasi di Petak 8 dengan kerapatan mencapai 42.500 ind./ha dan sebagian serasah bambu. Biomassa tertinggi selanjutnya terdapat pada Petak 1 yaitu 23 ton/ha dan nilai tersebut lebih besar dibanding hutan alam yaitu 22,42 ton/ha. Berdasarkan hasil pengamatan terhadap serasah pada lantai hutan alam, didapati bahwa sebagian besar serasah telah mengalami dekomposisi diduga proses dekomposisi pada hutan alam berlangsung lebih cepat dibanding hutan tanaman seperti HPGD. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya perbedaan

jenis serasah di kedua lokasi. Serasah pada hutan alam merupakan serasah campuran dari beberapa jenis tumbuhan, sedangkan serasah di HPGD umumnya hanya didominasi oleh satu atau dua jenis tumbuhan saja. Hal ini sejalan dengan Devianti & Tjahjaningrum (2017) yang menyatakan bahwa dekomposisi serasah pada lantai hutan dengan jenis serasah campuran lebih cepat dibanding hanya satu jenis serasah.

Sama halnya dengan Petak 8, lantai Petak 17 juga diisi dengan serasah vegetasi lain selain *Shorea*. Berbeda dengan petak teknik penanaman lainnya, Petak 10 merupakan petak yang memiliki tumbuhan bawah paling sedikit sehingga lantai Petak 10 sebagian besar hanya diisi oleh tumpukan serasah dari *S. selanica* yang telah mengering.

3.2. Sifat Fisik dan Kimia Tanah

Kondisi fisik tanah seperti *bulk density* dan porositas berhubungan dengan ketersediaan air dan udara yang secara tidak langsung mempengaruhi ketersediaan unsur hara di dalam tanah. Sedangkan kondisi kimia tanah berhubungan dengan tingkat kesuburan tanah. Sifat fisik dan kimia tanah disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Bulk density (BD) dan porositas merupakan sifat fisik tanah yang saling berkaitan satu dengan lainnya. Tanah dengan nilai kepadatan tinggi akan mengganggu sirkulasi air dan udara yang ditandai dengan semakin sedikitnya ruang pori. Aerasi yang buruk pada tanah padat dapat menekan perkembangan akar, penurunan infiltrasi, dan aktivitas biologi tanah (Cambi et al., 2018). Semakin tinggi BD maka porositas akan semakin rendah dan sebaliknya (Harjadi & Paimin, 2013). Hasil analisis menunjukkan petak 8 memiliki porositas terbesar di HPGD yaitu mencapai 75,53% dan BD 0,65 g/cm³. Hal tersebut dapat terjadi karena tingginya bahan organik berupa serasah sebagai sumber energi bagi fauna tanah di mana keberadaan dan aktivitas fauna di dalam

tanah berdampak positif terhadap kepadatan dan porositas tanah.

Adapun sifat fisik tanah lain yang berperan dalam mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyimpan air dan unsur hara adalah tekstur tanah. Tekstur tanah pada petak teknik penanaman didominasi oleh kadar liat yang tinggi sehingga Petak 1 dan Petak 8 tergolong pada kelas tekstur *clay* (liat), Petak 10, 17 dan tanah kosong tergolong pada kelas tekstur *silty clay* (liat berdebu) sedangkan hutan alam *silty clay loam* (lempung liat berdebu). Tanah bertekstur liat mempunyai luas permukaan yang besar sehingga memiliki kemampuan menahan dan menyimpan unsur hara yang tinggi. Muatan listrik yang terdapat pada liat dapat menahan ion-ion penting yang berguna bagi pertumbuhan tanaman. Hal tersebut selaras dengan Surya, Nuraini, & Widiyanto (2017) yang menyebutkan liat mempunyai koloid yang mampu melakukan kapasitas tukar kation yang tinggi. Namun, harus tetap diperhatikan bahwa kadar liat yang terlalu tinggi dan tidak diimbangi dengan keberadaan bahan organik akan berdampak pada kondisi aerasi tanah yang kurang baik.

Tabel (Table) 2. Sifat fisik tanah (*Soil physical properties*)

| Sifat Tanah (<i>Soil Properties</i>) | Lokasi (<i>Location</i>) | | | | | |
|--|--|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | HA | Petak 1 (<i>Plot 1</i>) | Petak 8 (<i>Plot 8</i>) | Petak 10 (<i>Plot 10</i>) | Petak 17 (<i>Plot 17</i>) | TK |
| <i>Bulk Density</i> (g/cm ³) | 0,38 | 0,69 | 0,65 | 0,80 | 0,72 | 1,25 |
| Porositas (<i>Porosity</i>) (%) | 85,62 | 74,03 | 75,53 | 69,85 | 73,01 | 52,80 |
| Pasir (<i>Sand</i>) (%) | 11,2 | 9,2 | 8,7 | 10,1 | 9,3 | 12,7 |
| Debu (<i>Silt</i>) (%) | 54,1 | 39,0 | 39,1 | 40,6 | 42,0 | 41,0 |
| Liat (<i>Clay</i>) (%) | 34,7 | 51,8 | 52,2 | 49,3 | 48,7 | 45,5 |
| Kelas Tekstur (<i>Texture Class</i>) | <i>Silty clay loam</i> (Lempung liat berdebu) | <i>Clay</i> (Liat) | <i>Clay</i> (Liat) | <i>Silty clay</i> (Liat berdebu) | <i>Silty clay</i> (Liat berdebu) | <i>Silty clay</i> (Liat berdebu) |
| Keterangan (<i>Remarks</i>): | HA: Hutan Alam (<i>natural forest</i>), Petak 1 (<i>Plot 1</i>): <i>S. leprosula</i> teknik tanam (<i>planting technique</i>) total planting, Petak 8(<i>Plot 8</i>): <i>S. leprosula</i> teknik tanam (<i>planting technique</i>) line planting, Petak 10 (<i>Plot 10</i>): <i>S. selanica</i> teknik tanam (<i>planting technique</i>) total planting, Petak 17 (<i>Plot 17</i>): <i>S. selanica</i> teknik tanam (<i>planting technique</i>) line planting, TK: Tanah Kosong (<i>bare land</i>) | | | | | |

Tabel (Table) 3. Sifat kimia tanah (*Soil chemical properties*)

| Sifat Tanah (<i>Soil Properties</i>) | Lokasi (<i>Location</i>) | | | | | |
|--|----------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| | HA | Petak 1 (<i>Plot 1</i>) | Petak 8 (<i>Plot 8</i>) | Petak 10 (<i>Plot 10</i>) | Petak 17 (<i>Plot 17</i>) | TK |
| pH | 5,2** | 4,5* | 4,6 | 4,6 | 4,5* | 4,7 |
| C-organik (%) | 13,73** | 3,28 | 3,19 | 3,09 | 3,2 | 2,24* |
| KTK (me/100 g) | 22,31 | 28,45 | 30,04** | 27,85 | 28,41 | 21,28* |
| KB (%) | 50,10** | 34,3 | 37,2 | 36,8 | 33,70* | 40,5 |
| Al (me/100 g) | 0,81* | 2,14** | 1,93 | 1,77 | 2,02 | 1,72 |
| N-Total (%) | 0,94** | 0,27 | 0,26 | 0,23 | 0,27 | 0,17* |
| P tersedia (ppm) | 14,8 | 17,8 | 21,40** | 16,3 | 13,9 | 8,30* |
| K (me/100 g) | 0,84 | 0,92 | 0,95** | 0,88 | 0,9 | 0,68* |
| Ca (me/100 g) | 5,38 | 5,03 | 5,83** | 5,18 | 5,21 | 4,23* |
| Mg (me/100 g) | 4,68** | 3,55 | 4,15 | 3,97 | 3,22* | 3,52 |
| Na (me/100 g) | 0,27** | 0,26 | 0,24 | 0,22 | 0,24 | 0,19* |
| H (me/100 g) | 0,27* | 0,94 | 0,82 | 0,76 | 0,91 | 1,03** |

Keterangan (*Remarks*): *: Nilai terendah (*lowest value*), **: Nilai tertinggi (*highest value*), HA: Hutan Alam (*natural forest*), Petak 1 (*Plot 1*): *S. leprosula* teknik tanam (*planting technique*) total planting, Petak 8 (*Plot 8*): *S. leprosula* teknik tanam (*planting technique*) line planting, Petak 10 (*Plot 10*): *S. selanica* teknik tanam (*planting technique*) total planting, Petak 17 (*Plot 17*): *S. selanica* teknik tanam (*planting technique*) line planting, TK: Tanah Kosong (*bare land*)

Serapan unsur hara dipengaruhi oleh tingkat kemasaman tanah, umumnya tanaman dapat menyerap unsur hara secara optimal pada pH netral (Gunawan, Wijayanto, & Budi, 2019). Berdasarkan hasil yang diperoleh, pH pada setiap petak di HPGD berkisar antara 4,5-4,6 yang tergolong masam dan diikuti oleh kejenuhan basa yang rendah (Eviati & Sulaeman, 2009). Masamnya tanah pada suatu tegakan dapat disebabkan karena belum matangnya bahan organik tanah. Bahan organik yang belum terdekomposisi dengan baik ini masih melepaskan ion asam-asam organik sehingga menyebabkan proses peningkatan pH menjadi lambat. Kemasaman tanah juga dapat dijadikan sebagai petunjuk adanya unsur beracun dalam tanah seperti Aluminium (Al). Semakin masam tanah maka semakin tinggi kandungan Al dalam tanah. Hal tersebut mengakibatkan rendahnya tingkat ketersediaan unsur Fosfor (P) karena adanya fiksasi sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman (Soltangheisi et al., 2019; Ginting, Pradiko, Farrasati, & Rahutomo, 2020). Meski demikian, kandungan Al pada lokasi penelitian

tergolong aman untuk kedua jenis *Shorea* karena masih tergolong rendah.

Umumnya, *Shorea* dapat tumbuh pada tanah masam dengan kandungan hara rendah karena berasosiasi dengan fungi mikoriza yang dapat meningkatkan serapan hara dan air oleh akar di dalam tanah serta terlindung dari berbagai jenis patogen (Handayani, Riniarti, & Bintoro, 2018; Yang, Li, Wang, Liu, & Zhu, 2021). Adapun salah satu jamur ektomikoriza yang berasosiasi dengan *S. leprosula* dan *S. selanica* yaitu *Elaphomyces tropicalis* sp. yang baru ditemukan di Hutan Penelitian Haurbentes, Jawa Barat (Sukarno, Listiyowati, Rahayu, & Nara, 2019).

Kandungan C-organik di HPGD tergolong tinggi yaitu berkisar antara 3,09% hingga 3,28% (Eviati & Sulaeman, 2009). C-organik dalam tanah sangat mempengaruhi kesuburan tanah yaitu berperan dalam perbaikan sifat-sifat tanah dan sumber energi bagi kehidupan organisme tanah. Organisme ini meningkatkan proses dekomposisi serta reaksi-reaksi lain seperti pelarutan P dan fiksasi N (Afandi, Siswanto, & Nuraini, 2015; Nurrohman, Abdulkadir, &

Wahyuni, 2018). Ketersediaan hara di dalam tanah dapat diketahui dari kemampuan tanah untuk menahan dan mempertukarkan kation-kation (KTK). KTK tanah pada seluruh petak teknik penanaman tergolong tinggi. Kandungan liat dan bahan organik menjadi faktor yang mempengaruhi KTK tanah (Darlita, Joy, & Sudirja, 2017). KTK menggambarkan kation-kation tanah seperti Ca, Mg, dan Na yang dapat ditukar dan diserap oleh tanaman (Herawati, 2015).

Terdapat perbedaan kandungan unsur hara yang signifikan antara petak penanaman di HPGD dengan tanah kosong (Tabel 3). Merujuk pada Eviati & Sulaeman (2009), unsur N di HPGD tergolong sedang berkisar antara 0,23-0,27%, sedangkan pada hutan alam tergolong sangat tinggi dan tanah kosong tergolong rendah. Kandungan hara P, K dan Ca tertinggi terdapat pada Petak 8. Tingginya kandungan hara pada Petak 8 dapat berasal dari masukan bahan organik yang besar dari serasah dimana serasah yang telah mengalami dekomposisi dapat menambah masukan hara ke dalam tanah (Susanti & Halwany, 2017). Sedangkan kandungan hara yang rendah pada tanah kosong diduga karena sedikitnya vegetasi penutup tanah sehingga erosi dan pencucian tidak dapat dihindari.

Berbeda dengan unsur hara sebelumnya, Na merupakan salah satu hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan Na pada setiap petak di HPGD tergolong rendah (Eviati & Sulaeman, 2009). Rendahnya kandungan Na di dalam tanah tidak menjadi masalah serius, karena kandungan Na yang tinggi berpengaruh terhadap produktivitas tanah yaitu dapat menyebabkan tanah terdispersi (Fourie et al., 2021). Shorea memiliki kemampuan tumbuh yang baik pada lahan kritis, seperti yang dilaporkan oleh Sari, Handayani, & Karmilasanti (2019) di Taman Nasional Bukit Tiga Puluh di

mana *S. leprosula* mampu tumbuh pada pH masam, hara yang rendah (terutama unsur C-organik, N total, P tersedia, Ca-dd, Mg-dd dan Na-dd) dan KTK rendah sampai sedang dengan unsur hara mikro yang tersedia tidak melebihi batas tingkat toksisitas dalam tanah. Karena alasan inilah maka Shorea menjadi salah satu alternatif untuk kegiatan revegetasi.

3.3. Makrofauna dan Mesofauna Tanah

Fauna tanah berperan penting dalam perbaikan sifat-sifat tanah melalui proses imobilisasi dan humifikasi. Proses humifikasi akan membentuk tanah yang gembur dan bersifat porus (Lisnawati, Suprijo, Poerdjarahajoe, & Musyafa, 2014; Wibowo & Slamet, 2017). Adapun jenis makro dan mesofauna yang ditemukan pada masing-masing lokasi disajikan pada Tabel 4.

Keberadaan makro dan mesofauna tanah sangat penting karena menyangkut jaring-jaring makanan yang berhubungan dengan keseimbangan ekosistem. Total individu fauna tanah pada hutan alam, Petak 1, Petak 8, Petak 10 dan Petak 17 berturut-turut adalah 542, 188, 194, 102, dan 157 individu, sedangkan pada lokasi tanah kosong tidak ditemukan satupun individu fauna tanah. Keberadaan fauna tanah berkorelasi positif dengan bahan organik. Hal tersebut dapat terjadi karena sifat alamiah dari makhluk hidup yang cenderung akan mencari tempat tinggal dengan sumber makanan yang melimpah. Selain itu, bahan organik juga dapat melindungi fauna tanah dari berbagai ancaman termasuk serangan predator. Tidak ditemukannya fauna tanah di lokasi tanah kosong diduga karena tidak tersedianya sumber makanan yang cukup bagi fauna tanah serta sedikitnya vegetasi penutup tanah menyebabkan terciptanya kondisi lingkungan yang tidak optimum bagi fauna tanah. Secara keseluruhan ditemukan 42 jenis dari 26 famili fauna tanah di HPGD sedangkan pada hutan alam ditemukan 35 jenis dari 22 famili.

Fauna tanah yang paling banyak ditemukan diantaranya yaitu kelompok fauna dari famili *Staphylinidae*, *Formicidae*, *Carabidae* serta beberapa

Acari, dan *Collembola*. Hasil analisis keanekaragaman fauna tanah disajikan pada Tabel 5.

Tabel (Table) 4. Jenis makrofauna dan mesofauna (*Species of macrofauna and mesofauna*)

| Kelas/ Sub Kelas (Class/ Sub class) | Ordo (Order) | Famili (Family) | Nama Jenis (Name of Species) | Lokasi (Location) | | | | |
|--|-------------------|-------------------|--|-------------------|----|----|----|-----|
| | | | | 17 | 10 | 8 | 1 | HA |
| Insecta | Dermaptera | Anisolabididae | <i>Euborellia cf. annulata</i> | 16 | 13 | 4 | 35 | - |
| | | | <i>Euborellia annulipes</i> | - | - | 5 | - | - |
| Arachnida | Trombidiformes | Bdellidae | <i>Bdella</i> sp | - | - | - | - | 1 |
| | | | Carabidae 1 | 1 | - | - | 3 | - |
| | | | <i>Cryptocephalomorp-ha ovalis</i> | - | - | 1 | 1 | - |
| Insecta | Coleoptera | Carabidae | Carabidae 2 | 1 | - | 5 | 3 | 5 |
| | | | <i>Pterostichus madidus</i> | - | - | 4 | 4 | 3 |
| Insecta | Blattodea | Ectobiidae | <i>Blattella germanica</i> | 4 | 2 | 5 | - | - |
| Collembola | Entomobryomorpha | Entomobryidae | <i>Ascocyrtus</i> sp | 10 | 2 | 4 | 2 | - |
| Acari | Sarcoptiformes | Euzetidae | <i>Euzetes</i> sp | - | - | 1 | 3 | - |
| | | | <i>Brachyponera chinensis</i> | 6 | 8 | 45 | 50 | 50 |
| | | | <i>Pseudolasius cf. zamrood</i> | 25 | 18 | 20 | 8 | 70 |
| | | | <i>Pseudolasius</i> sp | - | - | - | - | 10 |
| | | | <i>Camponotus</i> sp | 5 | 10 | - | - | 12 |
| Insecta | Hymenoptera | Formicidae | <i>Pheidole indica</i> | - | - | - | - | 10 |
| | | | <i>Pheidole javana</i> | - | - | 15 | - | - |
| | | | <i>Pheidole dentata</i> | - | - | 15 | 10 | 25 |
| | | | <i>Odontomachus denticulata</i> | 4 | 3 | 6 | 5 | 5 |
| Arachnida | Pseudoscorpiones | Garypidae | <i>Garypus</i> sp | 11 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| Insecta | Orthoptera | Grillidae | <i>Gryllus</i> sp | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| Collembola | Odonata | Isotomidae | <i>Isotomiella</i> sp | 6 | 4 | - | - | - |
| | | | <i>Folsomia cf. octoculata</i> | - | - | - | - | 235 |
| Arachnida | Ixodida | Ixodidae | <i>Ixodida</i> 1 | - | - | - | - | 1 |
| Diplopoda | Julida | Juliidae | <i>Ophiulus pilosus</i> | - | 3 | 3 | - | 2 |
| Arachnida | Araneae | Linyphiidae | Linyphiidae | 1 | - | - | 1 | - |
| Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | <i>Lumbricus terrestris</i> | 4 | 2 | 8 | 6 | 10 |
| Insecta | Hymenoptera | Mymaridae | <i>Anaphes</i> sp | - | - | - | - | 2 |
| Arachnida | Araneae | Nicodamidae | Nicodamidae 1 | - | - | - | - | 2 |
| Collembola | Poduromorpha | Onychiuridae | <i>Onychiurus Gervais</i> | - | - | - | 3 | - |
| Arachnida | Araneae | Oonopidae | <i>Grymeus</i> sp | - | - | - | 2 | - |
| Diplopoda | Polydesmida | Paradoxosomatidae | <i>Oxidus gracilis</i> | 18 | - | 13 | 11 | - |
| Acari | Mesostigmata | Parasitidae | <i>Parasitus</i> sp | 1 | - | - | 2 | - |
| Insecta | Hemiptera | Pseudococcidae | <i>Paracoccus marginatus</i> | - | 2 | 6 | 10 | 4 |
| | | | Nimfa Reduviidae | - | - | - | - | 1 |
| Insecta | Hemiptera | Reduviidae | Nimfa Reduviidae | - | - | - | - | 1 |
| | | | <i>Subterranean termites</i> | - | 8 | 9 | 7 | 10 |
| Chilopoda | Scolopendrimorpha | Scolopendridae | <i>Scolopendra</i> sp | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| | | | <i>Euconnus Nodocconnus cf. gomyanus</i> | - | - | - | - | 3 |
| | | | | - | - | - | - | 3 |
| Collembola | Entomobryomorpha | Entomobryidae | <i>Heteromurus</i> sp | 2 | - | - | - | - |
| Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Staphylinidae 1 | 1 | - | - | - | 1 |

| Kelas/ Sub Kelas (Class/ Sub class) | Ordo (Order) | Famili (Family) | Nama Jenis (Name of Species) | Lokasi (Location) | | | | |
|--|----------------|-----------------|------------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | | | 17 | 10 | 8 | 1 | HA |
| | | | Staphylinidae 2 | - | - | - | - | 10 |
| | | | <i>Parapyxidicerus</i> sp | - | - | - | - | 14 |
| | | | <i>Pyxidicerina</i> sp | 1 | - | - | 1 | - |
| | | | cf. <i>Protandroconnus</i> | 5 | - | - | - | 3 |
| | | | <i>Zethopsus</i> sp | 5 | 2 | 1 | - | - |
| | | | <i>Pyxidicerina</i> sp | 4 | - | - | - | - |
| | | | <i>Paederus</i> sp | 9 | - | 12 | 11 | 9 |
| | | | <i>Pyxidicerina</i> sp | - | - | - | - | 8 |
| | | | <i>Styloniscus dorsal</i> | 3 | 6 | 2 | 1 | 5 |
| | | Telemidae | Telemidae 1 | 1 | 1 | - | - | - |
| | Araneae | Theraphosidae | <i>Phlogiellus aper</i> | - | 10 | - | - | 5 |
| Arachnida | | | <i>Phlogiellus</i> sp | 3 | 3 | 3 | 3 | - |
| | Trombidiformes | Trombidiidae | <i>Trombidium</i> sp | - | - | - | - | 2 |
| | Araneae | Zodariidae | <i>Cryptothele sundaica</i> | 3 | - | - | - | - |
| Insecta | Hymenoptera | Formicidae | <i>Ponera</i> sp | - | - | 2 | - | - |
| Collembola | Poduromorpha | Neanuridae | Neanuridae 1 | - | - | - | 1 | - |
| Insecta | Coleoptera | Phalacridae | <i>Litostilbus</i> sp | - | - | - | - | 5 |
| Acari | Mesostigmata | | | - | - | - | - | 10 |
| | | | | - | - | - | - | 1 |
| Total individu | | | | 542 | 188 | 194 | 102 | 157 |

Keterangan (Remarks): 1: Petak *S. leprosula* teknik tanam (planting technique) total planting, 8: Petak *S. leprosula* teknik tanam (planting technique) line planting, 10: Petak *S. selanica* teknik tanam (planting technique) total planting, 17: Petak *S. selanica* teknik tanam (planting technique) line planting, HA: Hutan Alam (natural forest)

Tabel (Table) 5. Nilai indeks kekayaan jenis (DMg), indeks keanekaragaman jenis (H'), indeks pemerataan jenis (E) makrofauna dan mesofauna (The value of species richness index (Dmg), species diversity index (H'), and species evenness index (E) macrofauna and mesofauna)

| Lokasi (Location) | DMg | H' | E |
|--------------------|---------|---------|---------|
| HA | 5,401** | 2,297* | 0,646* |
| Petak 1 (Plot 1) | 4,965 | 2,590 | 0,786 |
| Petak 8 (Plot 8) | 4,746 | 2,760 | 0,847 |
| Petak 10 (Plot 10) | 4,108* | 2,653 | 0,885 |
| Petak 17 (Plot 17) | 5,340 | 2,929** | 0,879** |

Keterangan (Remarks): *: Nilai terendah (lowest value), **: Nilai tertinggi (highest value), HA: Hutan Alam (natural forest), Petak 1 (Plot 1): *S. leprosula* teknik tanam (planting technique) total planting, Petak 8 (Plot 8): *S. leprosula* teknik tanam (planting technique) line planting, Petak 10 (Plot 10): *S. selanica* teknik tanam (planting technique) total planting, Petak 17 (Plot 17): *S. selanica* teknik tanam (planting technique) line planting

Merujuk pada Magurran (2004), hutan alam memiliki indeks kekayaan jenis (DMg) terbesar dan masuk pada kategori tinggi. Tingginya DMg pada hutan alam diduga karena tingginya bahan organik tanah (Tabel 3). Karyaningsih, Hendrayana, & Kustiawan

(2021) menjelaskan bahwa keragaman fauna tanah sangat ditentukan oleh bahan organik tanah, semakin tinggi kandungan bahan organik maka semakin beranekaragam fauna tanah yang terdapat dalam suatu ekosistem. Selain sebagai sumber makanan bagi fauna tanah,

keberadaan bahan organik juga dapat memberikan kondisi mikrohabitat yang optimum bagi kelangsungan hidupnya. Namun demikian, hutan alam memiliki nilai indeks keanekaragaman (H') dan pemerataan jenis (E) terendah, sedangkan nilai H' dan E tertinggi dimiliki oleh tanah di Petak 17. Hal tersebut dapat terjadi karena pada hutan alam di lokasi studi ditemukan satu jenis individu yang mendominasi dibanding jenis lain yaitu *Folsomia* cf. *Octoculata*. Adanya dominasi suatu jenis individu menyebabkan total seluruh individu pada hutan alam menjadi tidak proporsional (Nahlunnisa, Zuhud, & Santosa, 2016; Wahyuningsih, Faridah, Budiadi, & Syahbudin, 2019). Meski demikian, nilai H' seluruh lokasi tergolong sedang dan E tergolong tinggi (Magurran 2004).

Berdasarkan ketiga indeks yang diperoleh, keanekaragaman fauna tanah di HPGD tergolong sedang hingga tinggi. Artinya, penyebaran individu jenis makro dan mesofauna di HPGD tergolong merata sehingga memiliki komunitas yang relatif stabil. Komunitas yang stabil menggambarkan proses aliran energi atau rantai makanan berjalan dengan baik dan mampu bertahan dari gangguan. Hal tersebut dapat terjadi karena terbentuk banyak simbiosis serta adanya interaksi yang semakin luas. Keanekaragaman berkaitan dengan kestabilan suatu ekosistem, semakin tinggi keanekaragaman suatu ekosistem maka semakin stabil kondisi ekosistem tersebut (Husamah, Rohman, & Sutomo, 2016).

3.4. Soil Fertility Index (SFI) dan Soil Evaluation Factor (SEF)

Soil Fertility Index (SFI) dan *Soil Evaluation Factor* (SEF) menggambarkan status kesuburan tanah. Adapun hasil SFI dan SEF disajikan pada Tabel 6.

Indeks SFI pertama kali digunakan pada hutan suksesi di Amazon oleh Moran et al. (2000) kemudian disempurnakan dengan indeks SEF oleh Lu et al. (2002). Berdasarkan Tabel 4, nilai

SFI dan SEF tertinggi dimiliki oleh hutan alam, kemudian diikuti oleh nilai SFI dan SEF di Petak 8. Nilai SFI dan SEF terendah dimiliki oleh tanah kosong. Terdapat permasalahan kompleks yang menjadi penyebab dari rendahnya kesuburan tanah pada lokasi tanah kosong. Hal ini bermula dari sedikitnya vegetasi penutup tanah, dan akar vegetasi yang ada tidak mampu untuk menciptakan kondisi fisik tanah yang optimum, sedangkan perpanjangan akar ke dalam tanah akan meningkatkan porositas tanah. Sedikitnya pori tanah menyebabkan drainase dan aerasi menjadi terganggu yang dibuktikan dengan tingginya nilai *bulk density* (Tabel 2). Tanah yang demikian tidak disukai fauna tanah sehingga aktivitas biologi tanahpun tidak berjalan dengan baik. Tingginya kesuburan tanah di hutan alam dan Petak 8 disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kandungan C-organik tanah (Tabel 3).

Tingginya C-organik pada Petak 8 diduga berasal dari besarnya masukan bahan organik oleh serasah resam (*Gleichenia linearis*) yang menutupi jalur sela serta tanaman bambu yang tumbuh diantara *S. leprosula* pada jalur tanam. Jalur sela yang sengaja tidak ditanami pada teknik penanaman *line planting* menyebabkan tingginya intensitas cahaya yang masuk menembus lantai tanah sehingga menstimulasi tumbuhnya vegetasi lain seperti tumbuhan bawah. Hal ini berbeda dengan teknik *total planting* yang ditanam secara penuh dengan menggunakan jarak tanam 2×2 m kemungkinan intensitas cahaya yang masuk hanya sedikit karena tajuk-tajuk pohon yang rapat dan saling menutupi satu sama lain menghalangi cahaya matahari untuk masuk ke permukaan tanah. Keberadaan vegetasi tumbuhan bawah ini dapat memperkecil erosi dan pencucian hara, bahkan setelah vegetasi tersebut mati dan mengering akan menambah akumulasi biomassa serasah

pada lantai hutan yang ikut berperan dalam menjaga kesuburan tanah.

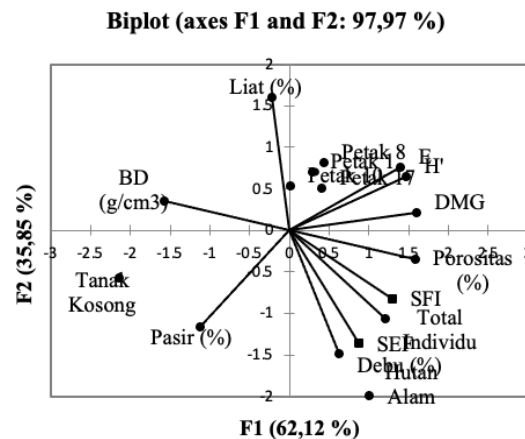
Kesuburan tanah dipengaruhi oleh sifat fisik, kimia dan biologi tanah yang saling bersinergi. Persamaan dari indeks kesuburan tanah SFI dan SEF tidak melibatkan aspek fisik dan biologi tanah

secara spesifik. Oleh karena itu, dilakukan analisis PCA (*Principal Component Analysis*) dan biplot untuk mengetahui hubungan antara SFI dan SEF dengan faktor fisik serta biologi tanah. Adapun bentuk dari hubungan tersebut disajikan pada Gambar 3.

Tabel (Table) 6. Hasil perhitungan SFI dan SEF (*The calculation results of SFI and SEF*)

| Lokasi (Location) | SFI | SEF |
|--------------------|-------|--------|
| HA | 53,66 | 256,91 |
| Petak 1 (Plot 1) | 35,31 | 55,91 |
| Petak 8 (Plot 8) | 40,50 | 62,54 |
| Petak 10 (Plot 10) | 34,49 | 56,07 |
| Petak 17 (Plot 17) | 31,23 | 53,82 |
| TK | 23,57 | 35,88 |

Keterangan (Remarks): HA: Hutan Alam (*natural forest*), Petak 1 (Plot 1): *S. leprosula* teknik tanam (*planting technique*) total planting, Petak 8 (Plot 8): *S. leprosula* teknik tanam (*planting technique*) line planting, Petak 10 (Plot 10): *S. selanica* teknik tanam (*planting technique*) total planting, Petak 17 (Plot 17): *S. selanica* teknik tanam (*planting technique*) line planting, TK: Tanah Kosong (*bare land*)



Gambar (Figure) 3. Biplot hubungan indeks kesuburan tanah dengan fisik dan biologi tanah (*Biplot of the relationship between soil fertility index, soil physics and soil biology*)

Gambar 3 menunjukkan keragaman yang dapat diterangkan oleh kedua komponen utama sebesar 97,97% atau dengan kata lain biplot menggambarkan 97,97% keadaan asli di lapangan. Total individu fauna tanah berkorelasi positif dan kuat dengan SFI sedangkan SEF berkorelasi positif dan kuat dengan partikel debu. Hal ini ditunjukkan dengan sudut pencerminan yang terbentuk antara variabel tersebut dengan indeks kesuburan tanah merupakan sudut yang

terkecil bila dibanding dengan sudut pencerminan yang dibentuk oleh variabel lain. Selain itu, kedua indeks kesuburan tanah berkorelasi kuat dan berlawanan arah dengan BD. Hubungan berlawanan arah artinya semakin tinggi nilai BD maka kesuburan tanah akan semakin rendah dan sebaliknya. Hal ini terjadi karena BD yang tinggi dapat mengakibatkan terjadinya penurunan kemampuan tanah dalam meloloskan air karena sedikitnya ruang pori. Kondisi ini

mengakibatkan air hujan yang jatuh akan langsung menjadi limpasan permukaan yang membawa partikel-partikel tanah beserta unsur hara yang ada.

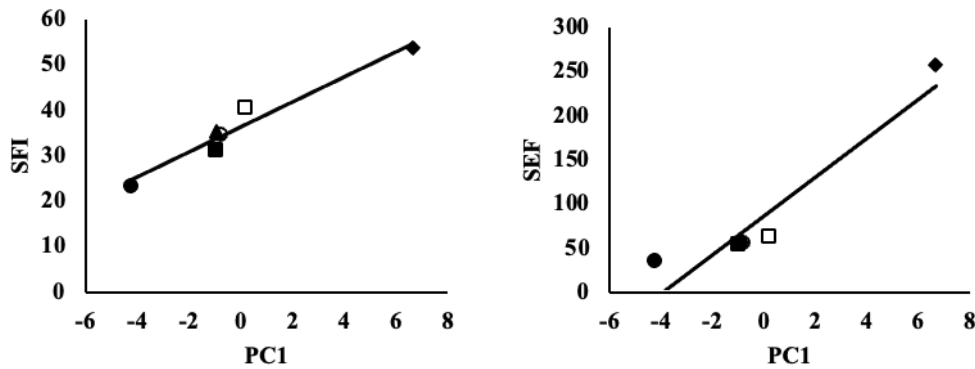
Secara keseluruhan, Gambar 3 menunjukkan bahwa SFI dan SEF juga berkorelasi positif dengan faktor-faktor biologi tanah seperti DMg, H' dan E. Hal tersebut berarti, semakin tinggi keanekaragaman fauna tanah yang ditunjukkan dengan tingginya nilai DMg, H' dan E, maka akan semakin tinggi pula tingkat kesuburan tanah. Masing-masing fauna tanah memiliki peran yang berbeda, oleh karena itu tingginya keanekaragaman fauna tanah memungkinkan proses mineralisasi dan penyediaan hara akan semakin cepat. Hal tersebut dapat terjadi karena aktivitas fauna di dalam tanah dapat mempengaruhi keberadaan mikro-organisme yang ikut andil dalam proses dekomposisi bahan organik tanah. Tingginya aktivitas fauna tanah berdampak pula pada tingginya porositas dengan terbentuknya rongga-rongga di dalam tanah sehingga aerasi dan drainase di dalam tanah menjadi lebih optimal.

Analisis PCA juga dilakukan untuk mengetahui faktor kunci dari kesuburan tanah di lokasi penelitian. PCA menghasilkan dua komponen yang paling signifikan. Keragaman yang dapat diterangkan oleh komponen pertama sebesar 51,82% dan komponen kedua sebesar 42,10%, sehingga secara keseluruhan keragaman yang dapat dijelaskan oleh kedua komponen tersebut sebesar 93,92%. Komponen pertama (PC1) terdiri dari pH, C-organik, KB, N total, Mg, Na, Debu (%), porositas, total individu fauna tanah menunjukkan pemuatan faktor positif, dan AI, H, Liat (%), BD menunjukkan pemuatan faktor negatif. Sedangkan komponen kedua

(PC2) terdiri dari P tersedia, K, Ca, KTK, DMg, H', E menunjukkan pemuatan faktor negatif, dan Pasir (%) menunjukkan pemuatan faktor positif. Hasil analisis tersebut merupakan gambaran mengenai kemampuan kedua komponen utama dalam kesuburan tanah pada seluruh lokasi.

Indeks kesuburan tanah SFI dan SEF telah diterapkan di beberapa tempat, namun perlu diketahui apakah indeks tersebut dapat diterapkan pada lokasi lain dengan jenis tanah dan kondisi lingkungan yang berbeda. Oleh karena itu maka dilakukan uji korelasi antara skor PC1 dan SFI serta SEF untuk memastikan bahwa kedua indeks tersebut sesuai untuk mengevaluasi status kesuburan tanah pada lokasi penelitian. Perlu dilakukan uji korelasi untuk mengetahui kesesuaian indeks yang digunakan dengan lokasi yang akan dievaluasi. Semakin banyak lokasi yang sesuai dengan indeks ini akan menunjang kegiatan evaluasi lahan menjadi lebih efisien. Evaluasi lahan dapat dilakukan dengan perhitungan sederhana dengan hanya menggunakan 5 dan 7 karakteristik kimia tanah.

Hasil uji korelasi pada Gambar 4 menunjukkan bahwa skor PC1 berkorelasi positif dengan SFI dan SEF. Nilai korelasi antara PC1 dengan SFI yaitu 0,97 dan 0,94 dengan SEF. Hal tersebut berarti, baik SFI maupun SEF dapat diterapkan untuk memperkirakan kesuburan tanah di lokasi penelitian. Studi Doi dan Sakurai (2004) di Sakaerat *Environmental Research Station* (SERS) Thailand menunjukkan bahwa SEF lebih cocok untuk diterapkan karena memiliki sensitifitas yang lebih baik terhadap perubahan kualitas tanah dibanding SFI yang ditandai dengan kemiringan garis yang lebih tajam.



Gambar (Figure) 4. Hubungan antara skor PC 1 yang berasal dari analisis PCA dan indeks SFI serta SEF (*Relationship between PC 1 score from PCA analysis and the SFI and SEF*): hutan alam (*natural forest*) (◆), Petak 1 (▲), Petak 8 (□), Petak 10 (○), Petak 17 (■) dan tanah kosong (*bare land*) (●)

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Kegiatan revegetasi di HPGD dengan menggunakan *Shorea leprosula* dan *Shorea selanica* telah berhasil memperbaiki kesuburan tanah yang ditunjukkan dengan kandungan unsur hara yang tinggi terutama C-organik yaitu berkisar antara 3,09% hingga 3,28%. Pasca 24 tahun penanaman, kondisi tanah di Hutan Penelitian Gunung Dahu (HPGD) jauh lebih baik bila dibandingkan dengan kondisi tanah di tanah kosong. Bahkan kondisi tanah di HPGD telah mendekati kondisi tanah di hutan alam. Rata-rata status keanekaragaman makro dan mesofauna tanah di HPGD tergolong sedang sampai tinggi. Ditemukan 42 jenis dari 26 famili fauna tanah di HPGD dan 36 jenis dari 22 famili pada hutan alam. Petak *S. leprosula* teknik penanaman *line planting* memiliki indeks kesuburan tanah tertinggi bila dibandingkan dengan indeks kesuburan tanah di hutan alam dengan nilai SFI mencapai 40,50 dan SEF 62,54. Informasi mengenai kondisi tanah pada tegakan *S. leprosula* dan *S. selanica* ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan pada pemilihan jenis tanaman dan teknik penanaman di kegiatan revegetasi untuk mengembalikan kesuburan tanah yang terdegradasi.

4.2. Saran

Studi lanjutan diperlukan untuk mengetahui pengaruh penanaman menggunakan jenis yang sama dengan teknik silvikultur berbeda terhadap perbaikan kesuburan tanah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staff Laboratorium Pengaruh Hutan dan Laboratorium Entomologi Hutan Fakultas Kehutanan dan lingkungan IPB serta Laboratorium Bioteknologi Tanah Fakultas Pertanian IPB atas bantuannya dalam penelitian ini. Terima kasih juga kepada Pusat Standardisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan, serta Balai Taman Nasional Gunung Halimun Salak khususnya Resort PTN Wilayah Gunung Salak II, Kecamatan Pamijahan, Kabupaten Bogor yang telah memberikan ijin lokasi penelitian.

Daftar Pustaka

Abdu, A., Tanaka, S., Jusop, Majid, N. M., Ibrahim, Z., Wasli, M. E., & Sakurai, K. (2008). Assesment on soil fertility status and growth performance of planted Dipterocarp species in Perak, Peninslar Malaysia. *Journal of Applied Sciences*, 8(21), 3795-3805.

- Afandi, F. N., Siswanto, B., & Nuraini, Y. (2015). Pengaruh pemberian berbagai jenis bahan organik terhadap sifat kimia tanah pada pertumbuhan dan produksi tanaman ubi jalar di Entisol Ngrangkah Pawon, Kediri. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 2(2), 237-244.
- Arif, A. (2016). Analisis yuridis pengrusakan hutan (deforestasi) dan degradasi hutan terhadap lingkungan. *Jurisprudentie*, 3(1), 33-41.
- Baso, M. S. G., Hasanah, U., & Monde, A. (2014). Variabilitas sifat fisik tanah dan C-organik pada lahan hutan dan perkebunan kakao (*Theobroma cacao* L.) di Desa Sejahtera Kecamatan Palolo Kabupaten Sigi. *e-J. Agrotekbis*, 2(6), 565-572.
- Borrer, D. J., Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (1996). *Pengenalan Pelajaran Serangga Edisi ke-6*. Yogyakarta: Gajahmada Univ Press.
- Budiana, G. E., Jumani., & Biantary, M. P. (2017). Evaluasi tingkat keberhasilan revegetasi lahan bekas tambang batubara di PT Kitadin Site Embalut Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Jurnal Agrifor*, 16(2), 195-208.
- Cambi, M., Mariotti, B., Fabiano, F., Maltoni, A., Tani, A., Foderi, C., ... Marchi, E. (2018). Early response of *Quercus robur* seedlings to soil compaction following germination. *Land Degradation and Development*, 29(4), 916-925.
- Chotimah, T., Wasis, B., & Rachmat, H. H. (2020). Populasi makrofauna, mesofauna, dan tubuh buah fungi ektomikoriza pada tegakan *Shorea leprosula* di hutan Penelitian Gunung Dahu Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 17(1), 79-98.
- Darlita, R. R., Joy, B., & Sudirja, R. (2017). Analisis beberapa sifat kimia tanah terhadap peningkatan produksi kelapa sawit pada tanah pasir di perkebunana kelapa sawit Selangku. *Jurnal Agrikultura*, 28(1), 15-20.
- Devianti, O. K. A. & Tjahjaningrum, I. T. D. 2017. Studi laju dekomposisi serasah pada hutan pinus di Kawasan Wisata Taman Safari Indonesia II Jawa Timur. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 6(2), 87-91.
- Doi, R., & Sakurai, K. (2004). Principal components derived from soil physico-chemical data explained a land degradation gradient, and suggested the applicability of new indexes for estimation of soil productivity in the Sakaerat Environmental Research Station, Thailand. *International Journal of Sustainable Development World Ecology*, 11, 298-311.
- Eviati & Sulaeman. (2009). *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman Air, dan Pupuk Edisi ke-2*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Fourie, J. C., Howell, C. L., & Masekwana, N. (2021). Selection of grass and broadleaf crops as catch crops where winery wastewater is used for irrigation: A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 42(1), 10-18.
- Ginting, E. N., Pradiko, I., Farrasati, R., & Rahutomo, S. (2020). Pengaruh rock phosphate dan dolomit terhadap distribusi perakaran tanaman kelapa sawit pada tanah Ultisols. *Jurnal Agrikultura*, 31(1), 32-41.
- Gunawan, Wijayanto, N., & Budi, S. W. (2019). Karakteristik sifat kimia tanah dan status kesuburan tanah pada agroforestri tanaman sayuran berbasis *Eucalyptus* sp. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 10(2), 63-69.
- Handayani, I., Riniarti, M., & Bintoro A. (2018). Pengaruh dosis inokulum spora *Scleroderma columnare* terhadap kolonisasi ektomikoriza dan pertumbuhan semai damar mata

- kucing. *Jurnal Sylva Lestari*, 6(1), 9-15.
- Harjadi, B. & Paimin. (2013). Teknik identifikasi daerah yang berpotensi rawan longsor pada satuan wilayah daerah aliran sungai. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 10(2), 163-174.
- Herawati, M. S. (2015). Kajian status kesuburan tanah di lahan kakao Kampung Klain Distrik Mayamuk Kabupaten Sorong. *Jurnal Agroforestri*, 10, 201-208.
- Husamah, Rohman, F., & Sutomo, H. (2016). Struktur komunitas Collembola pada tiga tipe habitat sepanjang daerah aliran sungai Brantas Hulu Kota Batu. *Bioedukasi*, 9(1), 45-50.
- Indrayatie, E. R. (2011). Dampak pasca penambangan intan terhadap kualitas tanah dan air di Kelurahan Palam, Kecamatan Cempaka Kota Banjarbaru Kalimantan Selatan. *Jurnal Hutan Tropika*, 12(31), 15-25.
- Karyaningsih, I., Hendrayana, Y., & Kustiawan, I. (2021). Keanekaragaman makrofauna tanah di zona rehabilitasi Taman Nasional Gunung Ciremai Blok Pasirbatang Desa Karang Sari Kabupaten Kuningan. *Quagga: Jurnal Pendidikan dan Biologi*, 13(1), 60-67.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [KLHK]. (2020). *Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2019*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kusumo, A., Nur, Bambang, A., & Izzati, M. (2016). Struktur vegetasi kawasan hutan alam dan hutan terdegradasi di Taman Nasional Tesso Nilo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(1), 19-26.
- Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia [LIPI]. (2017). *Tumbuhan Langka Indonesia: 50 Jenis Tumbuhan Terancam Punah/Rugayah*. Kusumadewi, S., Yulita, K. D., Afriani, D., Rustiami, H., & Girmansyah, D., (Eds.). Jakarta (ID): LIPI Press.
- Lisnawati, Y., Suprijo, H., Poedjirahajoe, E., & Musyafa. (2014). Hubungan kedekatan ekologis antara fauna tanah dengan karakteristik tanah gambut yang didrainase untuk HTI *Acacia crassicarpa*. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 12(2), 170-178.
- Lu, D., Moran, E., & Mausel, P. (2002). Linking amazonian secondary succession forest growth to soil properties. *Land Degradation & Development*, 13, 331-343.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. London: Chapman and Hall
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Malden: Blackwell Science.
- Moran, E. F., Brondizio, E. S., Tucker, J. M., Silva, F., McCracken, S., & Falesi, I. (2000). Effect of soil fertility and land-use on forest succession in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 139, 93-108.
- Nahlunnisa, H., Zuhud, E. A. M., & Santosa, Y. (2016). Keanekaragaman spesies tumbuhan di areal Nilai Konservasi Tinggi (NKT) perkebunan kelapa sawit Provinsi Riau. *Media Konservasi*, 21(1), 91-98.
- Nurrohman, E., Abdulkdir, R., & Wahyuni, S. (2018). Studi hubungan keanekaragaman makrofauna tanah dengan kandungan C-organik dan organophosfat tanah di perkebunan coklat (*Theobroma cacao* L.) Kalibaru Banyuwangi. *Bioeksperimen*, 4(1), 1-10.
- Oliveira, C. M., de Afonso, G. T., Carolino de Sá, M. A., & Frizzas, M. R. (2021). Diversity of soil arthropods in sugarcane in the

- Brazilian Cerrado: Influence of tillage systems, extraction methods, and sampling time. *European Journal of Soil Biology*, 103, 1-5.
- Prayoga, R. & Indriyanto. (2019). Keanekaragaman jenis meranti (*Shorea* spp.) di Resor Pemerihan Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterocarpa*, 5(2), 71-78.
- Rachmat, H. H., Subiakto, A., & Susilowati. (2018). Mass vegetative propagation of rare and endangered tree species of Indonesia by shoot cuttings by KOFFCO method and effect of container type on nursery storage of rooted cuttings. *Biodiversitas*, 19(6), 2353-2358.
- Rachmat, H. H., Pamoengkas, P., Sholihah, L., Fambayun, R. A., & Susilowati, A. (2020). The effect of planting technique on the growth of two *Shorea* species in Gunung Dahu, Bogor, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(9), 4131-4138.
- Sari, N., Handayani, R., & Karmilasanti. (2019). Karakteristik tanah di bawah tegakan *Shorea leprosula* Miq. di Taman Nasional Bukit Tiga Puluh, Provinsi Riau. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterocarpa*, 5(1), 1-10.
- Soltangheisi, A., de Moraes, M. T., Cherubin, M. R., Alvarez, D. O., de Souza, L. F., Bieluczyk, W., ... de Camargo, P. B. (2019). Forest conversion to pasture affects soil phosphorus dynamics and nutritional status in Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, 194.
- Sukarno, N., Listiyowati, S., Rahayu, N., & Nara, K. (2019). *Elaphomyces tropicalis* sp. nov: A new ectomycorrhizal fungus associated with dipterocarps from tropical Indonesia. *Mycoscience*, 60(2), 83-88.
- Surya, J. A., Nuraini, Y., & Widiyanto. (2017). Kajian porositas tanah pada pemberian beberapa jenis bahan organik di perkebunan kopi robusta. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 4(1), 463-471.
- Susanti, D. S. & Halwany, W. (2017). Dekomposisi serasah dan keanekaragaman makrofauna tanah pada Hutan Tanaman Industri nyawai (*Ficus variegata*. Blume). *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 11, 212-223.
- Ulfa, M., Faridah E., Lee, S. S., Sumardi., Roux, C. L., Galiana, A., ... Ducouso, M. (2019). Multi inang fungi ektomikoriza pada Dipterocarpaceae di hutan tropis. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 13, 56-59.
- Wahyuningsih, E., Faridah, E., Budiadi, & Syahbudin, A. (2019). Komposisi dan keanekaragaman tumbuhan pada habitat ketak (*Lygodium circinatum* (BURM. (SW.) di Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Hutan Tropis*, 7(1), 92-105.
- Wibowo, C. & Slamet, A. S. (2017). Keanekaragaman makrofauna tanah pada berbagai tipe tegakan di areal bekas tambang silica di Holcim Educational Forest, Sukabumi, Jawa Barat. *Jurnal Silviculture Tropika*, 8(1), 26-34.
- Yang, W., Li, S., Wang, X., Liu, F., Li, X., & Zhu, X. (2021). Soil properties and geography shape arbuscular mycorrhizal fungal communities in black land of China. *Applied Soil Ecology*, 167.
- Yudhistira, Y., Hidayat, W. K., & Hadiyanto, A. (2012). Kajian dampak kerusakan lingkungan akibat kegiatan penambangan pasir di desa keningar daerah kawasan Gunung Merapi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(2), 76-84.