

**KELIMPAHAN POPULASI DAN DIVERSITAS BAKTERI SELULOLITIK PADA
BERBAGAI JENIS TUTUPAN LAHAN DI UB FOREST**

SKRIPSI

Oleh
VIRNA ERSALLY



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2019**

**KELIMPAHAN POPULASI DAN DIVERSITAS BAKTERI SELULOLITIK PADA
BERBAGAI JENIS TUTUPAN LAHAN DI UB FOREST**

Oleh
VIRNA ERSALLY
125040201111269

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2019**

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan dosen pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar dari perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitir dalam naskah ini dan pendapat atau karyanya disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Juli 2019

Virna Ersally



LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

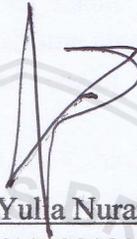
MAJELIS PENGUJI

Penguji I



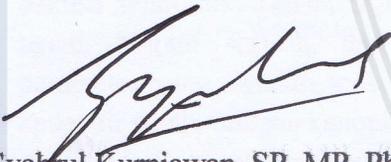
Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 195405011981031006

Penguji II



Dr. Ir. Yulla Nuraini, MS
NIP. 196111091985032001

Penguji III

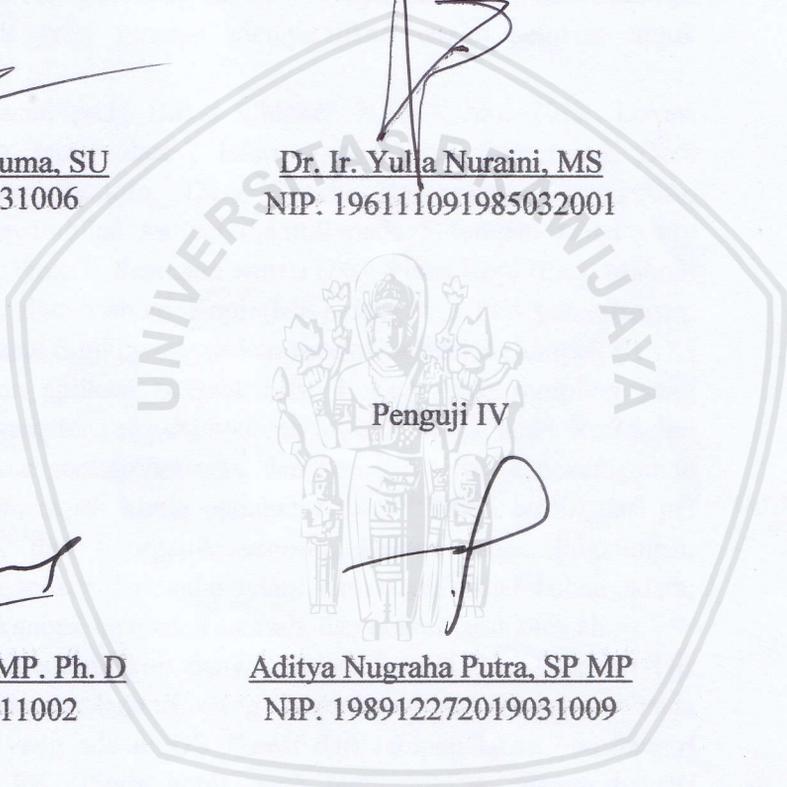


Syahrul Kurniawan, SP. MP. Ph. D
NIP. 197910182005011002

Penguji IV



Aditya Nugraha Putra, SP MP
NIP. 198912272019031009



Tanggal Lulus : ... 31 JUL 2019

RINGKASAN

Virna Ersally. 125040200111142. Kelimpahan Populasi Dan Diversitas Bakteri Selulolitik Pada Berbagai Jenis Tutupan Lahan Di UB Forest. Di bawah bimbingan Yulia Nuraini sebagai Pembimbing Utama

Setiap tahun jumlah penduduk di Indonesia semakin meningkat. Hal tersebut menyebabkan kebutuhan lahan untuk tempat tinggal dan kebutuhan pangan meningkat sehingga masyarakat memanfaatkan lahan hutan dengan mengalihgunakannya menjadi lahan pertanian untuk memenuhi kebutuhan hidup. Alihguna lahan hutan menjadi lahan pertanian dengan sistem agroforestri seperti yang ada di UB Forest tentunya dapat mempengaruhi kesuburan tanah, karena perubahan vegetasi yang ada. Berkurangnya vegetasi dapat mempengaruhi kerapatan tajuk dan masukan bahan organik ke dalam tanah. Bahan organik berupa serasah merupakan tempat hidup bagi mikroorganisme tanah salah satunya yaitu bakteri selulolitik yang mampu menghasilkan enzim selulase untuk mendegradasi selulosa.

Penelitian dilakukan pada Bulan Oktober 2018 - Juni 2019. Lokasi penelitian di UB forest, terdiri dari 2 lokasi yaitu Dusun Sumpersari, Desa Tawangargo dan Dusun Buntoro, Desa Bocek, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang. Pengambilan sampel diambil pada 5 tutupan lahan yaitu Kawasan Lindung (KL), Pinus + Semusim wortel (PS), Pinus Kopi (PK), Mahoni + Semusim talas (MS), dan Mahoni Kopi (MK) dengan 3 kali pengulangan, kemudian data yang didapat diuji menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dan diolah menggunakan aplikasi Genstat edisi 4. Luas area sampling yang digunakan 20 x 20m. Parameter yang diamati dari aspek biologis tanah terdiri dari kadar lignin serasah, kadar serasah selulosa, dan populasi serta keanekaragaman bakteri selulolitik. Dalam aspek kimia parameter yang diamati terdiri dari pH tanah, N-total serasah, dan C-organik serasah. Dalam aspek lingkungan, parameter yang diamati terdiri dari suhu udara dan tanah, kelembaban udara, kadar air tanah, tutupan kanopi, ketebalan serasah, dan nekromassa serasah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Isolasi bakteri dari lahan di UB Forest menunjukkan adanya bakteri yang berkemampuan selulolitik. Pada berbagai tutupan lahan yang ada di UB Forest dari tutupan lahan agroforestri ditunjukkan pada plot PK (Pinus kopi) yang menunjukkan adanya bakteri selulolitik paling tinggi yaitu dengan total populasi bakteri sebesar $55,44 \times 10^6$ CFU/ml. Pada plot tutupan lahan KL (kawasan lindung) terdapat 4 isolat, pada PS (pinus semusim) terdapat 5 isolat, pada PK (Pinus kopi) terdapat 2 isolat, pada MS (mahoni semusim) terdapat 4 isolat, dan pada MK (mahoni kopi) terdapat 5 isolat. Kondisi faktor lingkungan pH dan suhu dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri selulolitik. Tutupan lahan di UB Forest dari masing-masing plot memiliki rata-rata pH tanah 4-5 yang termasuk pH masam.

SUMMARY

Virna Ersally. 125040200111142. Population Abundance and Diversity of Cellulolytic Bacteria In Various Types of Land Cover In UB Forest. Under the guidance Yulia Nuraini as Senior Advisor

Every year the population in Indonesia is increasing. This causes the need for land for housing and food needs to increase so that people use forest land by diverting it into agricultural land to meet their daily needs. The conversion of forest land into agricultural land with agroforestry systems such as those in UB Forest is certainly done by land cultivation which can affect to soil fertility. The use of land certainly changes the existing vegetation. Reduced vegetation can affect the density of the canopy and input organic matter into the soil. Organic material in the form of litter is a place of life for soil microorganisms, one of which is cellulolytic bacteria that can produce cellulase enzymes to degrade cellulose.

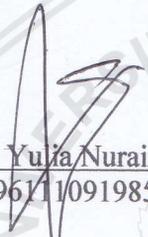
The research activity was started in October 2018 until June 2019. The research location at UB forest consisted of 2 locations: Dusun Summersari, Tawangargo Village and Dusun Buntoro, Bocek Village, Karangploso District, Malang Regency. Sampling was taken at 5 land uses that is combination of Pine + Seasonal plants (PS), combination of Pine + Coffee plants (PK), combination of Mahogany plants + Seasonal plants (MS), and combination of Mahogany + Coffee plants (MK) with 3 repetitions to produce 15 combinations of treatments, then the data obtained were tested using a randomized block design (RBD) and processed using the Genstat 4th edition application.. The sampling area used is 20 x 20m. Parameters observed from the biological aspects of the soil consisted of lignin levels of litter, litter cellulose levels, and the population and diversity of cellulolytic bacteria. In the chemical aspects the parameters observed consisted of soil pH, N-total litter, and C-organic litter. In the environmental aspects the parameters observed consisted of air and soil temperature, air humidity, soil water content, canopy cover, litter thickness, and litter necromass.

The results showed that bacterial isolation from the land in UB Forest showed the presence of cellulolytic-capable bacteria. On various land uses in UB Forest from agroforestry land use, shown in PK (combination of Pine + Coffee plants) plots which showed the highest cellulolytic bacteria with a total bacterial population of 55.44×10^6 CFU / ml. In the land use KL plot (protected area) there were 4 isolates, in PS plot (combination of Pine + Seasonal plants) there were 5 isolates, in PK plot (combination of Pine + Coffee plants) there were 2 isolates, in MS plot (Mahogany plants + Seasonal plants) there were 4 isolates, and in MK plot (combination of Mahogany + Coffee plants) there are 5 isolates. The environmental conditions of pH and temperature could influence the growth of cellulolytic bacteria. The land use in UB forest from each other treatment has an average soil pH of 4-5 which includes acidic pH.

LEMBAR PERSETUJUAN

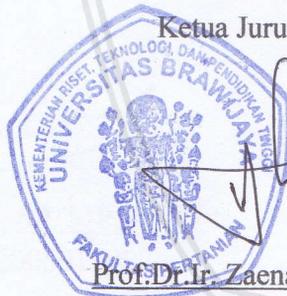
Judul Skripsi : Kelimpahan Populasi dan Diversitas Bakteri Selulolitik Pada Berbagai Jenis Tutupan Lahan di UB Forest
Nama : Virna Ersally
NIM : 125040201111269
Jurusan : Tanah
Program Studi : Agroekoteknologi
Laboratorium : Biologi Tanah

Disetujui
Pembimbing Utama,


Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS.
NIP.196711091985032001

Diketahui,
a.n Dekan

Ketua Jurusan Tanah




Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU.
NIP.195405011981031006

Tanggal Persetujuan: 22 JUL 2019

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Virna Ersally dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 21 September 1994 sebagai anak ke dua dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Imam Suwarno dan Ibu Wresti Agustin. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Kertajaya 5, Kecamatan Gubeng, Kelurahan Kertajaya, kota Surabaya pada tahun 2000 dan selesai pada tahun 2006. Setelah lulus dari SDN Kertajaya 5 penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 19 Surabaya pada tahun 2006 hingga 2009. Kemudian pada tahun 2009 penulis melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi di SMAN 20 Surabaya dan selesai pada tahun 2012. Kemudian pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata-1 Laboratorium Biologi Tanah, Minat Manajemen Sumber Daya Lahan, Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang melalui jalur SNMPTN undangan.

Selama menjadi mahasiswa di Universitas Brawijaya, penulis menjadi peserta GATRAKSI (Galang Mitra dan Kenal Profesi) pada tahun 2014. Kemudian pada tahun yang sama, penulis mengikuti acara GALIFU (Geomorfologi Analisis Landscape dan Interpretasi Foto Udara). Pada tahun 2015, penulis melakukan kegiatan magang di BALITJESTRO (Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika), Tlekung, Kota Batu, Jawa Timur. Penulis aktif di kepanitiaan GATRAKSI (Galang Mitra dan Kenal Profesi) pada tahun 2016.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan penelitian dengan Topik “Kelimpahan Populasi dan Diversitas Bakteri Selulolitik Pada Berbagai Jenis Tutupan Lahan di UB Forest”. Pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penyusunan laporan penelitian.
2. Bapak Prof.Dr.Ir. Zaenal Kusuma, MS. selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
3. Kedua orang tua dan keluarga di rumah yang selalu memberikan semangat dan do'a sehingga terselesaikannya laporan penelitian ini.
4. Rekan-rekan mahasiswa fakultas pertanian yang selalu memberikan bantuan dan semangatnya sehingga terselesaikannya laporan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga masukan dan kritik sangat dibutuhkan oleh penulis. Semoga laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat baik bagi rekan-rekan mahasiswa, instansi pemerintah, masyarakat umum, dan berbagai pihak yang lainnya sekedar sebagai bahan ilmu pengetahuan serta bermanfaat bagi penulis khususnya.

Malang, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

RINGKASAN.....	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Hipotesis.....	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Alur Pikir.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Alih Guna Lahan	5
2.2 Mikroba Tanah	5
2.3 Bakteri Selulolitik.....	6
2.4 Selulosa	7
2.5 Diversitas Bakteri Selulolitik	8
III. METODE PENELITIAN.....	9
3.1 Waktu dan Tempat.....	9
3.2 Alat dan Bahan	10
3.3 Rancangan dan Parameter Penelitian.....	10
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	12
3.5 Analisis Data	16
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Karakteristik Lingkungan di UB Forest.....	18
4.2 Karakteristik Kimia Tanah di UB Forest	25
4.3 Karakteristik Biologi Tanah di UB Forest	30
4.4 Hubungan Antar Parameter Pengamatan	40
V. KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	58

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia tidak dapat dihindari. Selama rentang tahun 2010-2015, kenaikan jumlah penduduk Indonesia sebesar 1,49% per tahun (BKKBN, 2015). Hal ini menyebabkan kebutuhan lahan untuk tempat tinggal dan kebutuhan pangan meningkat, sehingga masyarakat memanfaatkan lahan hutan menjadi lahan pertanian untuk memenuhi kebutuhan hidup dengan melakukan kerjasama dengan pihak perhutani. Salah satu contohnya yaitu terjadi di Malang, Jawa Timur.

Pada tahun 2016, Universitas Brawijaya (UB) diberi mandat oleh Menteri Kehutanan dan Lingkungan Hidup Republik Indonesia untuk mengelola hutan produksi seluas 544 ha yang sebelumnya dikelola oleh Perum Perhutani sebagai Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus untuk Pendidikan (KHDTK), dan dikenal dengan nama UB Forest. UB Forest terletak di kaki lereng gunung Arjuna yang berbatasan dengan Kota Batu dan Kabupaten Malang (Kecamatan Karangploso dan Kecamatan Singosari). Saat ini, UB Forest aktif digunakan sebagai tempat pendidikan dan penelitian.

Alihguna lahan hutan menjadi lahan pertanian dengan penanaman secara agroforestri kompleks maupun agroforestri sederhana terdapat di UB Forest. Jenis tutupan lahan yang ada di UB Forest bervariasi yaitu kawasan lindung, lahan agroforestri dengan tegakan pinus atau mahoni dan tanaman kopi atau tanaman semusim.

Pengolahan lahan dapat mempengaruhi kualitas tanah. Pengolahan tanah yang intensif dapat mengakibatkan kualitas tanah yang menurun, hal itu tentunya dapat mempengaruhi produktifitas tanaman budidaya. Pada sistem agroforestri, kondisi lahan dapat menyerupai hutan tetapi tidak benar-benar sama dengan hutan karena adanya campur tangan manusia yang lebih memilih menanam tanaman produksi sehingga diversitas vegetasi berkurang. Berkurangnya vegetasi dapat mempengaruhi lebar tajuk pohon sebagai penutup lahan, sehingga dapat mempengaruhi iklim mikro seperti suhu dan kelembaban udara.

Perbedaan tutupan lahan dapat berpotensi mempengaruhi masukan bahan organik yang berasal dari serasah (daun, cabang, ranting yang gugur) dan dari akar-akar yang telah mati. Mahmudi *et al.*, (2008) menyatakan bahwa partikel-partikel organik atau serasah menjadi tempat hidup bagi bakteri, jamur dan mikroorganisme lainnya. Bakteri akan mendegradasi substrat serasah tumbuhan yang ada pada sedimen tanah dengan menggunakan enzimnya (Sutiknowati, 2010). Salah satu jenis bakteri yang dapat mendegradasi substrat serasah tumbuhan yaitu bakteri selulolitik yang dapat menghasilkan enzim selulase untuk mendegradasi selulosa. Kesuburan tanah juga dapat berpengaruh terhadap diversitas dan populasi bakteri selulolitik.

Banyaknya daun yang gugur di permukaan tanah memungkinkan bahwa kandungan selulosa di tanah tersebut tinggi, maka jumlah bakteri pendegradasi selulosa juga tinggi. Ashwani *et al.*, (2014) menjelaskan bahwa sampel tanah hutan yang kaya akan serasah tumbuhan dimanfaatkan oleh bakteri selulolitik dalam mendekomposisi bahan organik. Menurut Reanida *at al.* (2012), bakteri di dalam tanah akan mendegradasi selulosa menjadi molekul monosakarida yang lebih mudah diserap oleh tanaman yang kemudian akan digunakan untuk pertumbuhannya. Jumlah total bakteri pendegradasi selulosa yang tinggi pada tanah memberikan nutrient yang besar untuk kelangsungan hidup tumbuhan. Selulosa pada tanah didegradasi oleh bakteri selulolitik menjadi glukosa untuk dimanfaatkan tumbuhan sebagai cadangan makanan pada proses fotosintesis (Sing *at al.*, 1995).

Penelitian terkait bakteri selulolitik di kawasan hutan lindung dan agroforestri belum banyak diteliti. Maka perlu penelitian lebih lanjut tentang jumlah total bakteri selulolitik di UB Forest yang dapat dikaitkan dengan jumlah selulosa yang terkandung dalam serasah, sehingga penelitian ini penting untuk dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah bakteri hasil isolasi dari tanah di UB Forest mempunyai kemampuan selulolitik?
2. Bagaimana diversitas dan populasi bakteri selulolitik pada berbagai jenis tutupan lahan di UB Forest?

3. Bagaimana pengaruh lingkungan terhadap diversitas dan populasi bakteri selulolitik di berbagai jenis tutupan lahan yang ada di UB Forest?

1.3 Tujuan

1. Menganalisis dan mempelajari kemampuan selulolitik bakteri hasil isolasi dari tanah di UB Forest.
2. Menganalisis dan mempelajari diversitas dan populasi bakteri selulolitik pada berbagai jenis tutupan lahan di UB Forest.
3. Menganalisis dan mempelajari pengaruh lingkungan terhadap diversitas dan populasi bakteri selulolitik di berbagai jenis tutupan lahan yang ada di UB Forest.

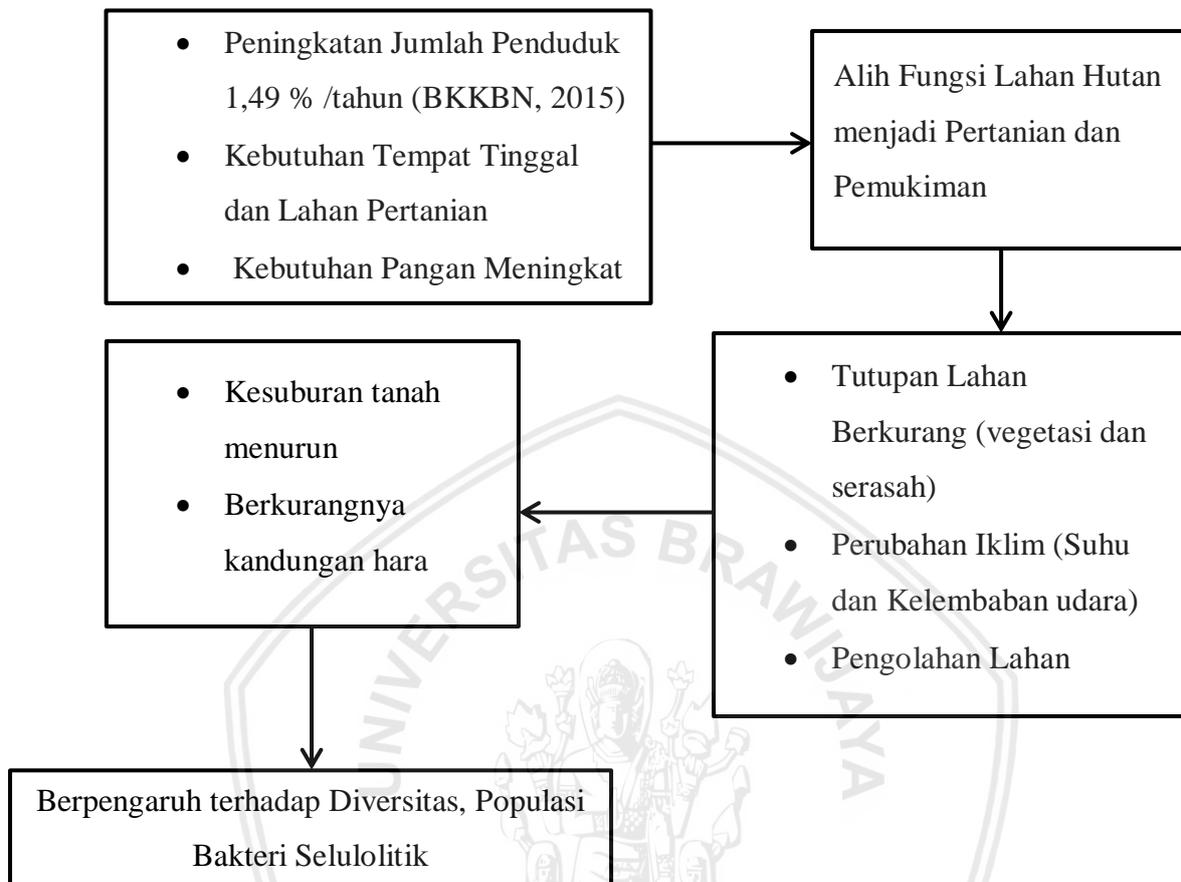
1.4 Hipotesis

1. Bakteri hasil isolasi dari tanah di UB Forest dengan berbagai jenis tutupan lahan mempunyai kemampuan selulolitik.
2. Terdapat kelimpahan diversitas dan populasi bakteri selulolitik pada berbagai jenis tutupan lahan di UB Forest.
3. Terdapat pengaruh lingkungan terhadap diversitas dan populasi bakteri selulolitik di berbagai jenis tutupan lahan yang ada di UB Forest.

1.5 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai bakteri selulolitik yang berada pada tanah di UB Forest dengan berbagai jenis tutupan lahan diantaranya lahan Kawasan Lindung, lahan yang ditanami Pinus dan kopi, lahan yang ditanami Pinus dan Tanaman semusim (wortel), lahan yang ditanami Mahoni dan kopi, serta lahan yang ditanami Mahoni dan Tanaman Semusim (talas).

1.6 Alur Pikir



Gambar 1. Alur Pikir Penelitian

I. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alih Guna Lahan

Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian di Indonesia terjadi karena perubahan pola tanam petani dari pertanian subsisten ke pertanian komersial. Kebutuhan akan lahan pertanian bertambah dikarenakan hasil panen tidak hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan sendiri melainkan juga untuk dijual. Hal inilah yang mengakibatkan semakin luasnya alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian.

Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian dapat menimbulkan banyak masalah seperti penurunan kesuburan tanah, erosi, banjir dan kepunahan flora dan fauna. Agroforestri adalah salah satu sistem pengelolaan lahan yang mungkin dapat ditawarkan untuk mengatasi masalah yang timbul akibat adanya alih guna lahan tersebut. Menurut Conway dalam Salikin (2003), agroforestri merupakan pola tanam tumpang sari antara tanaman tahunan, khususnya tanaman hutan, dan tanaman semusim, misalnya tanaman pangan atau obat-obatan. Tanaman tahunan mampu menyimpan banyak air dan menghasilkan humus serasah dedaunan, serta memberikan naungan bagi tanaman semusim. Begitu pula sebaliknya, tanaman semusim dapat menahan laju erosi permukaan tanah.

2.2 Mikroba Tanah

Jasad hidup yang ukurannya kecil sering disebut sebagai mikroba atau jasad renik. Sumarsih (2003) menyatakan bahwa jasad renik disebut sebagai mikroba bukan hanya karena ukurannya yang kecil, sehingga sukar dilihat dengan mata, tetapi juga pengaturan kehidupannya yang lebih sederhana dibandingkan dengan jasad tingkat tinggi. Mikroba yang hidup di dalam tanah sering disebut sebagai mikroba tanah dapat ditemukan di daerah perakaran tumbuhan.

Keberadaan mikroba tanah sangat mempengaruhi kesuburan tanah, oleh karena itu mikroba tanah merupakan salah satu aspek penting yang berperan dalam suatu ekosistem. Menurut Winding *et al.* (2005), aktivitas mikroba tanah dapat digunakan untuk memantau kualitas dari ekosistem tanah. Mikroba tanah juga bertanggung jawab atas pelapukan bahan organik dan pendaauran unsur hara,

dengan demikian mikroba tanah mempunyai pengaruh terhadap sifat kimia dan fisik tanah (Anas, 1989).

2.3 Bakteri Selulolitik

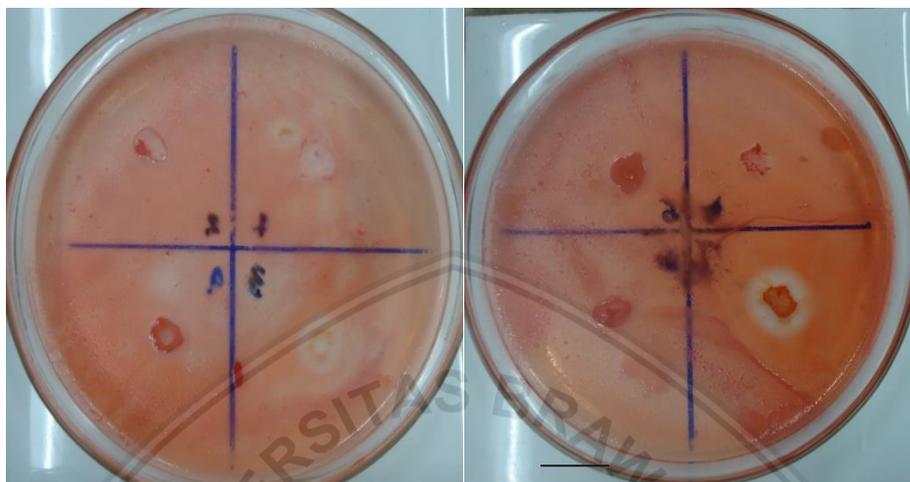
Bakteri selulolitik merupakan bakteri penghasil enzim selulase sehingga mampu mendegradasi selulosa. Menurut Lamid *et al.* (2011), bakteri selulolitik merupakan bakteri heterotrof yang termasuk golongan saprofit atau bakteri yang memanfaatkan sisa-sisa tumbuhan yang mati untuk memenuhi kebutuhannya. Bakteri saprofit memerlukan karbohidrat, nitrogen organik, fosfor, dan garam-garam mineral dalam jumlah tertentu sebagai sumber energi, serta beberapa asam amino, vitamin dan sterol untuk memenuhi kebutuhan sel. Menurut Baharuddin *et al.* (2010), bakteri selulolitik merupakan salah satu mikroba pendegradasi selulosa potensial karena memiliki tingkat pertumbuhan yang lebih cepat dibanding kelompok mikroba lainnya, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk produksi enzim selulase lebih singkat.

Bakteri selulolitik memiliki syarat tumbuh pada kondisi lingkungan tertentu agar dapat tumbuh dan berkembang biak dengan baik. Suhu optimum bagi bakteri selulolitik selama mendekomposisi substrat yaitu 24-30°C. Sebagian besar mikroorganisme khususnya bakteri mempunyai kisaran pH netral yaitu 7 untuk dapat tumbuh secara optimal (Nurfitriani dan Eko, 2017).

Metode perhitungan bakteri memiliki prinsip yaitu jika sel jasad renik yang masih hidup ditumbuhkan pada medium agar, maka sel jasad renik akan berkembangbiak dan membentuk koloni yang dapat dilihat langsung dan dihitung dengan mata langsung tanpa bantuan mikroskop. Bahan yang akan diinokulasikan dalam hitungan total bakteri mengandung lebih dari 300 sel jasad renik per mililiter atau per gram atau per centimeter serta memerlukan plot pengenceran sebelum ditumbuhkan pada media agar (Fardiaz, 1992).

Hasil analisis mikrobiologi dengan metode hitung koloni menggunakan standar TPC (*Total Plate Count*) dengan sistematika koloni yang tumbuh berjumlah di atas 30 dan kurang dari 300, beberapa koloni yang bergabung menjadi satu dihitung sebagai satu koloni dan bentuk koloni sangat besar dimana jumlah koloni yang diragukan dapat dihitung sebagai satu koloni (Fardiaz, 1992). TPC (*Total Plate Count*) merupakan salah satu metode perhitungan bakteri tanpa

menggunakan mikroskop. Hasil perhitungan menggunakan metode TPC ini tidak menunjukkan jumlah sel yang sebenarnya, karena beberapa sel yang berdekatan mungkin membentuk satu koloni (Fardiaz, 1992). Berikut adalah contoh gambar sampel bakteri selulolitik pada media agar CMC (Gambar 2.)

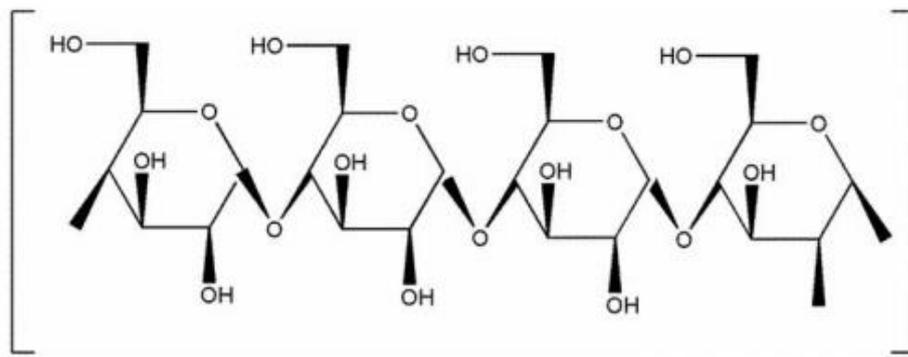


Gambar 2. Kenampakan Isolat Bakteri Pada Media Agar CMC (Nurfitriani dan Eko, 2017)

2.4 Selulosa

Selulosa adalah polimer alam berupa zat karbohidrat (polisakarida) yang mempunyai serat dengan warna putih, tidak dapat larut dalam air dan pelarut organik. Selulosa tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni di alam, tetapi selalu berasosiasi dengan polisakarida lain seperti lignin, pectin, hemiselulosa, dan xilan (Fitriani, 2003). Selulosa memiliki struktur kimia berupa rantai tanpa cabang dan tersusun atas satuan-satuan β -D-glukopiranos, dengan ikatan glikosida 1,4. Selulosa berupa rantai-rantai panjang sejajar yang terikat menjadi satu oleh ikatan hidrogen, sehingga menyebabkan selulosa berbentuk serat-serat panjang (Buselli *et al.*, 2007).

Selulosa adalah suatu polimer glukosa berantai sangat panjang yang penting sebagai pendukung struktur tanaman. Bersamaan dengan lignin, hemisolulosa, dan pektin, selulosa adalah komponen dinding sel tanaman. Di dalam tanaman, selulosa merupakan cadangan karbon primer hasil fotosintesis. Selulosa sering kali mengandung lebih banyak daripada 50% total karbon tanaman. Proporsi selulosa paling banyak terdapat dalam bagian vegetatif atau kayu tanaman dan paling sedikit dalam bagian bijian (Shiddieq *at al.*, 2018). Adapun struktur dari selulosa disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Selulosa (Chanzy, 2002).

2.5 Diversitas Bakteri Selulolitik

Bakteri selulolitik secara alami terdapat pada lahan pertanian, hutan, kompos, tanaman yang telah melapuk, atau pada serasah daun. Beberapa bakteri yang tergolong dalam bakteri selulolitik antara lain spesies dari *Cellulomonas* seperti *Clostridium thermocellum* dan beberapa strain dari *Pseudomonas* dan *Ruminococcus* (Singleton, 1992). Genus bakteri yang mampu memanfaatkan komponen bahan organik selulosa antara lain *Achromobacter*, *Angiococcus*, *Bacillus*, *Cellfalcicula*, *Cellulomonas*, *Cellvibrio*, *Clostridium*, *Cytophaga*, *Polyangium*, *Pseudomonas*, *Sorangium*, *Sporocytophaga*, dan *Vibrio* (Rao, 1994).

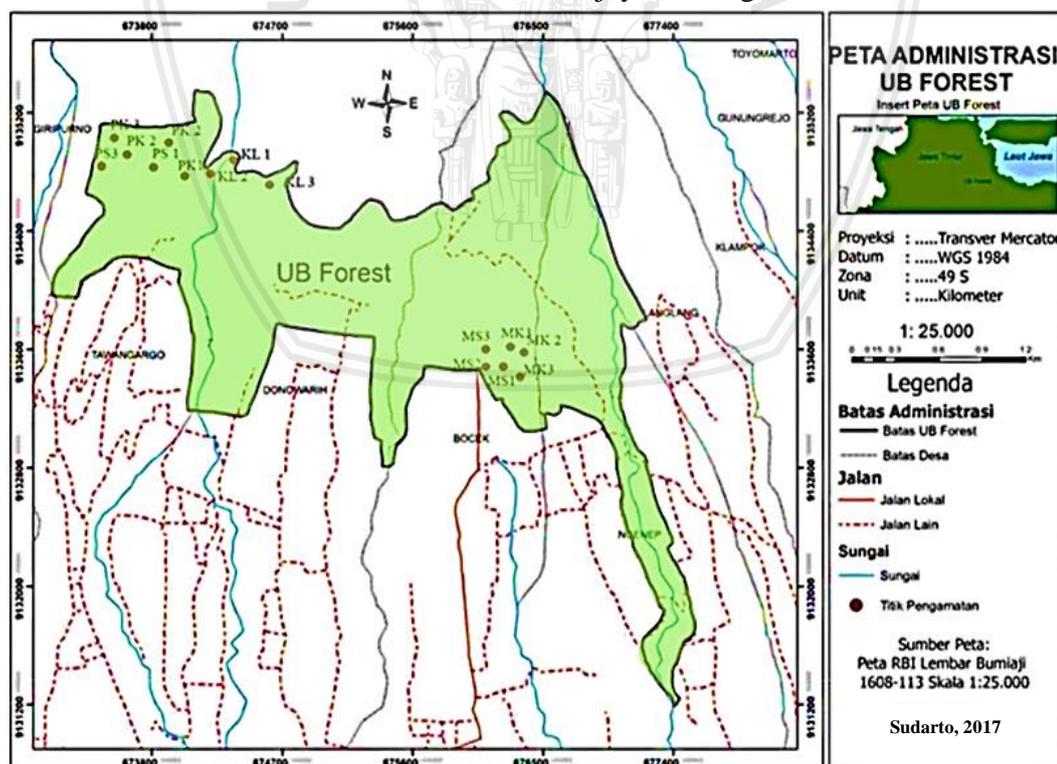
Penentuan diversitas bakteri selulolitik dilakukan berdasarkan karakteristik morfologi, fisiologi dan potensi dari bakteri selulolitik tersebut dengan mengamati bentuk koloni, ukuran koloni, tepian koloni, warna koloni (pigment atau tidak), elevasi, permukaan koloni (licin atau kasar), pewarnaan Gram, pewarnaan spora, bentuk sel serta uji enzimatik (Sari *et al.*, 2012). Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam mengidentifikasi jenis bakteri selulolitik serta mengetahui potensi dari bakteri tersebut dalam mendegradasi selulosa.

II. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada Bulan Oktober 2018 - Juni 2019. Kegiatan penelitian meliputi pengambilan sampel tanah, analisis laboratorium, dan uji kemampuan isolat bakteri. Kegiatan pengambilan sampel tanah dilakukan pada bulan Oktober di wilayah UB Forest (koordinat $7^{\circ}49'300''$ - $7^{\circ}51'363''$ LS dan $112^{\circ}34'378''$ - $112^{\circ}36'526''$ BT) yang terletak di Dusun Summersari, Desa Tawangargo dan Dusun Buntoro, Desa Bocek, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang.

Analisis bakteri selulolitik dilakukan di Laboratorium Biologi Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang. Analisis sampel serasah dilakukan di laboratorium Biologi Tanah dan Laboratorium Kimia Tanah, Jurusan Ilmu Tanah – Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang. Sedangkan untuk analisis sampel tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Jurusan Ilmu Tanah – Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.



Gambar 4. Sketsa Sebaran Titik Sampling Di UB Forest: Dusun Summersari, Desa Tawangargo dan Dusun Buntoro, Desa Bocek, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang. (Sumber: Lab. PSISDL Jurusan Tanah FP-UB)

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk survei dan pembuatan plot adalah kompas, GPS, tali rafia, meteran. Peralatan yang digunakan untuk pengamatan dan pengambilan sampel tanah dan serasah adalah termometer, frame serasah, gunting, kantong plastik, spidol, kertas label, penggaris, kamera, dan peralatan tulis. Sedangkan peralatan untuk analisis di laboratorium adalah *Laminar Air Flow Cabinet (L AFC)*, autoklaf, bunsen, timbangan analitik, pipet mikro, jarum ose, mikroskop, dan *glassware* untuk kegiatan isolasi. Nampan plastik, timbangan, erlemeyer, kertas label, cawan, timbangan *glassware* untuk kegiatan analisis sifat kimia sampel.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah dan serasah yang berasal dari berbagai jenis tutupan lahan di UB Forest. Media biakan yang digunakan untuk isolasi bakteri adalah media agar selektif, yaitu *Carboxymethyl Cellulose (CMC)*.

3.3 Rancangan dan Parameter Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode survei analitis. Metode survei analitis merupakan metode yang digunakan untuk menggambarkan dan menjelaskan mengenai suatu situasi. Survei analitis mempelajari hubungan beberapa variabel penelitian untuk menjawab rumusan masalah penelitian atau menguji hipotesis penelitian. Hasil survei memungkinkan peneliti untuk menguji hubungan diantara variabel dan menarik kesimpulan dari hubungan tersebut (Morissan, 2012). Lokasi plot pengambilan sampel terdapat pada berbagai sistem tutupan lahan di kawasan UB Forest terdiri dari dua daerah yaitu, Dusun Summersari dan Buntoro. Terdapat lima plot tutupan lahan dalam penelitian, antara lain:

1. Kawasan hutan lindung sebagai kontrol (KL),
2. Agroforestri pinus + Tanaman semusim (wortel) (PS),
3. Agroforestri pinus + kopi (PK),
4. Agroforestri mahoni + Tanaman semusim (talas) (MS), dan
5. Agroforestri mahoni + kopi (MK).

Setiap tutupan lahan dibuat plot perwakilan berukuran $(20 \times 20) \text{ m}^2$, masing-masing memiliki 3 ulangan sehingga keseluruhan terdapat 15 plot penelitian. Pemilihan jenis tutupan lahan didasarkan pada tutupan lahan yang mendominasi di kawasan UB Forest dan variasi pengelolaan tanah seperti pemupukan, penyiangan, dan pengolahan tanah. Lahan yang mendominasi adalah agroforestri pinus atau mahoni dengan kopi atau tanaman semusim. Tanaman pinus dan mahoni ditanam pada tahun 1977 termasuk dalam kelompok umur (KU) 8 yaitu berkisar umur 40 tahun. Plot penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Plot Sistem Tutupan Lahan

Nomor SPL	Plot	Ulangan	Kode
1	Kawasan Lindung (KU 8)	1	KL
		2	
		3	
2	Pinus (KU 8) + Tanaman semusim (wortel)	1	PS
		2	
		3	
3	Pinus (KU 8) + kopi (3-5 tahun)	1	PK
		2	
		3	
4	Mahoni (KU 8) + Tanaman Semusim (talas)	1	MS
		2	
		3	
5	Mahoni (KU 8) + kopi (3-5 tahun)	1	MK
		2	
		3	

Parameter utama yang diteliti adalah jumlah total bakteri selulolitik yang terdapat pada tanah berbagai jenis tutupan lahan di UB Forest. Parameter penunjang dalam penelitian ini yaitu nilai kualitas tanah dan serasah pada berbagai jenis tutupan lahan di UB Forest. Parameter pengamatan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Pengamatan

Objek	Parameter	Metode/Alat	Satuan
Lingkungan	Temperatur Udara dan Tanah	Termometer	°C
	Kelembaban Udara	Termohygrometer	% RH
	Kadar Air Tanah	Gravimetri	w/w
Tanaman	Kerapatan Tajuk	Pixel	%
	Ketebalan Serasah	Penggaris	Cm
	Nekromassa Serasah	Oven	t/ha
Kimia	pH Tanah	pH meter	-
	C-Organik Serasah	Walkley dan Black	%
	N-Total Serasah	Kjeldahl	%
	C/N Ratio Serasah	Perhitungan C-organik / N-total	-
Biologi	Kadar Lignin Serasah	Goering & Van Soest (1970) (Acid Detergent Fiber)	%
	Kadar Selulosa Serasah	Chesson (1981) (Datta)	%
	Jumlah Populasi Bakteri Selulolitik	CMC (<i>Carboxymethyl Cellulose</i>)	Cfu/ml
	Diversitas Bakteri Selulolitik	Pengamatan Mikroskopis dan Makroskopis Morfologi Bakteri	Isolat

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari 10 tahap, yaitu : (1) persiapan, (2) survei plot penelitian, (3) pengamatan di lapangan, (4) pengukuran kerapatan tajuk, (5) pengambilan sampel tanah, (6) pengamatan serasah, (7) isolasi bakteri, (8) perhitungan populasi mikroba tanah, (9) pemurnian, (10) diversitas bakteri.

3.4.1 Persiapan

Kegiatan yang dilakukan dalam tahap persiapan meliputi: pengumpulan data sekunder berupa peta UB Forest dan titik koordinat plot, survei pendahuluan, dan pembuatan plot penelitian. Semua informasi dan peta diperoleh dari Laboratorium Sistem Informasi Geografis, Jurusan Tanah, FP – UB.

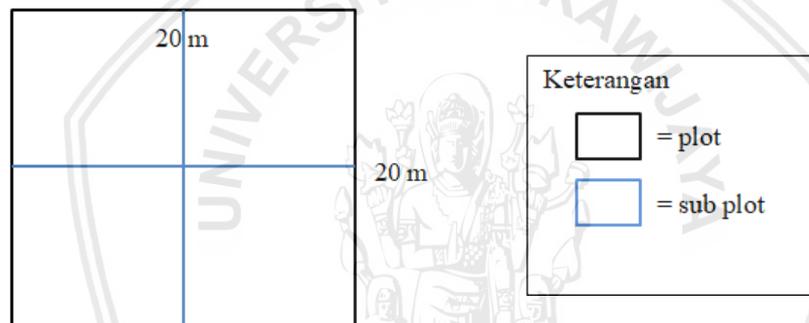
3.4.2 Survei Plot Penelitian

Kegiatan selanjutnya adalah survei plot penelitian untuk pengecekan tutupan lahan dan pengelolaannya sebagai dasar dalam menentukan plot penelitian. Berdasarkan survei ditetapkan 5 macam tutupan lahan dengan 3 kali ulangan. Ulangan didapatkan dari karakteristik tutupan lahan dan tanaman bawah serta

pengelolaan lahan yang sama (dapat dilihat di 3.3 rancangan penelitian) dan jarak setiap ulangan ± 200 m. Pada plot pengamatan akan diamati kerapatan pohon yang meliputi tutupan tajuk, pengambilan nekromassa serasah, suhu, dan kelembaban, pengambilan contoh tanah untuk analisis biologi dan kimia tanah.

3.4.3 Pengamatan Di Lapangan

Pengamatan di lapangan meliputi macam-macam tutupan lahan dan tumbuhan bawah yang ditanam serta pengelolaannya. Setiap tutupan lahan dibuat plot perwakilan berukuran 20×20 m = 400 m². Penentuan pembuatan plot perwakilan dipilih bagian lahan yang datar dan dapat mewakili aspek pengamatan. Kemudian dibagi 4 kuadran sebagai sub plot (Indriyanto, 2012). Berikut desain pembuatan plot (Gambar 5).



Gambar 5. Desain Plot Pengamatan.

Pada plot pengamatan akan diamati kerapatan pohon yang meliputi tutupan tajuk, pengambilan nekromassa serasah, suhu, dan kelembaban, pengambilan contoh tanah untuk analisis biologi dan kimia tanah.

3.4.4 Pengukuran Kerapatan Tajuk

Kerapatan merupakan proporsi permukaan tanah yang tertutup oleh tumbuhan atau luasan daerah yang dapat ditempati oleh tumbuhan dan dapat dinyatakan dalam tutupan tajuk (*Canopy cover*) dan penutupan basal (*basal cover*) dengan satuan individu per hektar. (Gopal *at al.*, 1979 : Indriyanto, 2012).

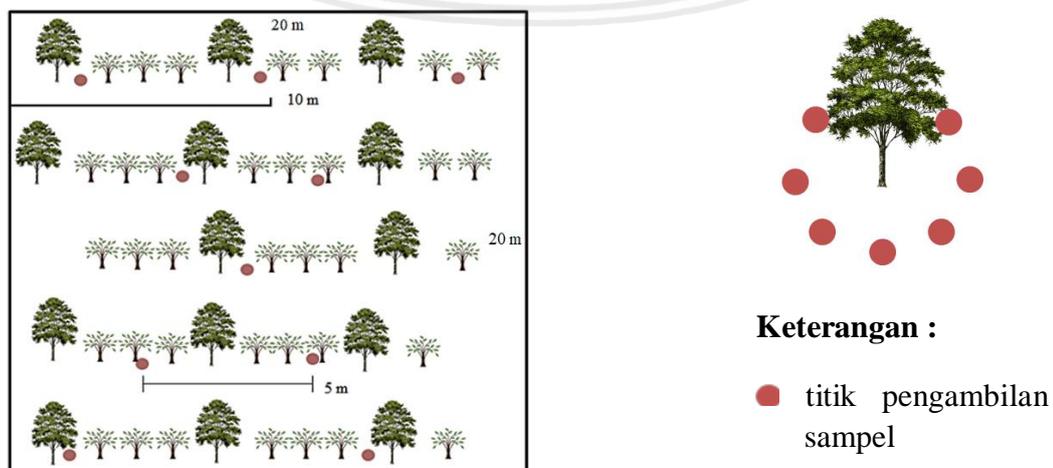
Tutupan tajuk dapat diperoleh dari proyeksi tajuk tumbuhan dan dinyatakan dalam bentuk persen (%). Untuk mengukur persentase tutupan tajuk pohon pada suatu luasan dapat dilakukan dengan menggunakan metode pixel dengan kamera digital. Persentase tutupan lahan oleh tautan tajuk pohon dalam

sistem diproyeksikan dalam pixel gelap terang dan dihitung per total pixel gambar yang diperoleh. Pengambilan gambar sebanyak 10 titik pada setiap sistem. (Prabowo *at al.*, 2017)

3.4.5 Pengambilan Sampel Tanah

Kegiatan pengambilan sampel tanah dilakukan dengan mengambil secara acak dan mewakili masing-masing kondisi tutupan lahan yang berbeda karakteristiknya. Pengambilan sampel tanah dilakukan secara acak pada masing-masing tegakan untuk mengetahui populasi maksimum, dan potensi bakteri selulolitik. Pengambilan sampel tanah sesuai dengan 8 arah mata angin (prinsip keterwakilan). Kedalaman pengambilan sampel disesuaikan dengan jenis tanaman. Pada tanaman tegakan pengambilan sampel tanah dilakukan pada kedalaman 30cm, sedangkan pada tanaman semusim pengambilan sampel tanah pada kedalaman 10-15cm. Penentuan kedalaman berdasarkan kedalaman akar karena pada umumnya bakteri mudah dijumpai pada daerah tersebut, tetapi tidak terlalu dalam karena serasah sebagai sumber nutrisi bagi bakteri berada di permukaan tanah.

Sampel tanah dikompositkan tiap plot pengamatan dan diambil tepat pada jarak 50-100 cm dari titik tengah tautan tetes tajuk terluar dari masing-masing tanaman, selanjutnya sampel dipisahkan menjadi 2 yaitu untuk indikator kimia dan sampel untuk indikator biologi dimasukkan ke dalam plastik. Sampel ditransportasikan dan disimpan dalam cooling box yang diberi es balok sehingga diharapkan kegiatan metabolisme mikroorganisme menurun.

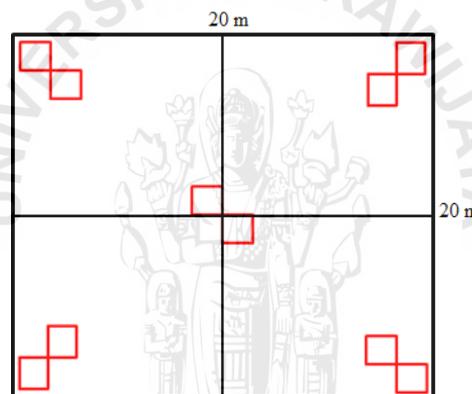


Gambar 6. Metode Pengambilan Sampel Tanah

3.4.6 Pengamatan Serasah

Pengamatan serasah bertujuan untuk mengetahui pengaruh nekromassa serasah terhadap kandungan C-Organik serasah. Pengamatan serasah menggunakan frame berukuran 50 cm x 50 cm dalam satu plot diambil 5 posisi dan 10 titik pengambilan kemudian diamati.

Serasah yang didapat ditimbang total berat basah pada tiap frame kemudian dipisahkan berdasarkan jenisnya yang meliputi serasah kasar (tertinggal di ayakan 5 mm), serasah halus (lolos ayakan antara 5 dan 2 mm), daun, ranting, *understorey* yang kemudian dioven selama 48 jam dengan suhu 75 °C (Hairiah *et al.*, 2011). Setelah itu, serasah ditimbang berat kering dan dicatat hasilnya. Serasah yang telah lolos ayakan dapat digunakan untuk analisis C-Organik, N-Total, lignin, dan selulosa untuk mengetahui kualitas serasah.



Gambar 7. Pengamatan Serasah Pada Plot 20 x 20 m

3.4.7 Isolasi Bakteri Selulolitik Dari Tanah

Sampel tanah ditimbang seberat 25 g dan dimasukkan ke dalam larutan garam fisiologis sebanyak 225 ml. Kemudian dihomogenkan untuk mendapatkan pengenceran 10^{-1} . Setelah padatan pada pengenceran pertama mengendap, diambil sampel cair sebanyak 1 ml dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi 9 ml garam fisiologis untuk membuat pengenceran kedua, kemudian dihomogenkan. Pengenceran dilakukan hingga seri pengenceran 10^{-7} dengan cara yang sama (Nugraha *at al.*, 2014). Selanjutnya, media *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) agar sebanyak kurang lebih 15 ml dituangkan ke dalam cawan petri. Setelah media agar pada cawan petri mengeras ditambahkan 1 ml sampel dari masing-masing seri pengenceran (Lamid *et al.*, 2011). Media tersebut kemudian diinkubasi selama 4-5 hari (96 jam) pada suhu 30°C. Setelah isolat tumbuh dilakukan

inokulasi koloni tunggal pada media agar CMC baru dengan metode *quadran streak* untuk mendapatkan isolat murni (Nugraha *at al.*, 2014).

3.4.8 Perhitungan Populasi Mikroba Tanah

Hasil analisis mikrobiologi dengan metode hitung koloni menggunakan standar TPC (*Total Plate Count*) dengan sistematika koloni yang tumbuh berjumlah diatas 30 dan kurang dari 300, beberapa koloni yang bergabung menjadi satu dihitung sebagai satu koloni dan bentuk koloni sangat besar dimana jumlah koloni yang diragukan dapat dihitung sebagai satu koloni (Fardiaz, 1992). TPC (*Total Plate Count*) merupakan salah satu metode perhitungan bakteri tanpa menggunakan mikroskop. Hasil perhitungan menggunakan metode TPC ini tidak menunjukkan jumlah sel yang sebenarnya, karena beberapa sel yang berdekatan mungkin membentuk satu koloni (Fardiaz, 1992). Perhitungan koloni bakteri menggunakan standar TPC (*Total Plate Count*). Koloni yang tumbuh dihitung secara langsung tanpa menggunakan mikroskop. Jumlah koloni dalam cawan Petri dapat dihitung sebagai berikut (Fardiaz, 1992) :

$$\text{Koloni per ml atau per gram} = \text{Jumlah Koloni per Cawan} \times \frac{1}{\text{Faktor Pengenceran}}$$

3.4.9 Pemurnian

Ambil sedikit koloni bakteri dari media CMC pada cawan menggunakan jarum ose steril ke cawan agar CMC steril yang lain. Gores koloni pada permukaan agar steril yang sebelumnya dibagi menjadi 4 kuadran. Sel tunggal bebas kontaminan dapat dipindahkan 2-4 hari setelah inkubasi. Koloni murni akan muncul dan dilakukan pengamatan.

3.4.10 Diversitas Bakteri

Penentuan diversitas bakteri dilakukan dengan cara isolat yang telah tumbuh pada media CMC dan telah dimurnikan, kemudian dilakukan uji sifat morfologinya dengan mengamati sifat-sifat koloni seperti bentuk, elevasi, tepian dan warna.

3.5 Analisis Data

Percobaan ini dilakukan dengan metode Survei dengan rancangan RAK dengan 5 plot dan 3 kali ulangan sehingga didapatkan 15 kombinasi plot. Data yang diperoleh dari hasil penelitian, ditabulasi menggunakan Microsoft Office

Excel 2010, dianalisis keragaman (ANOVA) uji F taraf 5%. Data diolah dengan menggunakan program aplikasi GenStat edisi 4. Jika diperoleh perbedaan nyata, maka dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5%. Untuk mengetahui hubungan antar variabel, maka dilakukan uji korelasi. Jika terdapat hubungan yang erat, maka dilanjutkan dengan uji regresi.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Lingkungan di UB Forest

4.1.1 Suhu dan Kelembaban Udara di UB Forest

Pengaruh tutupan lahan terhadap suhu dan kelembaban udara di UB Forest dari hasil uji beda nyata terkecil taraf 5% memiliki hasil yang berbeda nyata pada tiap plot (Tabel Lampiran 11 dan 12). Nilai rata-rata tertinggi dari suhu udara berada pada plot PS (Pinus + Tan. Semusim Wortel) dengan nilai 26,33°C dan nilai rata-rata terendahnya berada pada plot MK (Mahoni Kopi) dengan nilai 21,53°C. Hal ini dapat dipengaruhi oleh rapatnya tajuk sehingga lahan menjadi ternaungi. Hasil analisis suhu dan kelembaban udara di UB Forest disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rerata Suhu dan Kelembaban Pada Berbagai Tutupan Lahan Di UB Forest

No.	Plot	Suhu Udara (°C)	Kelembaban Udara (%)
1.	KL	26,27 b	41,00 a
2.	PS	26,33 b	43,33 a
3.	PK	22,20 a	57,67 b
4.	MS	22,33 a	63,00 b
5.	MK	21,53 a	58,67 b

Keterangan: Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda pada kolom yang sama memiliki hasil yang berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. (KL: Kawasan Lindung, PS: Pinus + Tan. Semusim Wortel, PK: Pinus Kopi, MS: Mahoni + Tan. Semusim Talas, MK: Mahoni Kopi).

Nilai rata-rata tertinggi dari Kelembaban Udara berada pada plot MS (Mahoni + Tan. Semusim Talas) dengan nilai 63,00% dan nilai rata-rata terendahnya berada pada plot KL (Kawasan Lindung) dengan nilai 41,00%. Hasil analisis ragam menunjukkan masing-masing plot adanya perbedaan yang nyata terhadap suhu dan kelembaban pada lahan di UB Forest.

Hasil nilai kelembaban pada masing-masing plot didapatkan hasil yang berbeda-beda, dimana nilai kelembaban tertinggi pada tanaman MS (Mahoni + Tanaman Semusim) dan untuk nilai kelembaban terendah pada plot KL (kawasan lindung) hal ini dapat disebabkan karena berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kondisi kelembaban tanaman. Faktor lingkungan maupun faktor dari tanaman itu sendiri. Tanaman memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda dalam pertumbuhannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kelembaban

yang tinggi plot tanaman MS tidak mengalami kerusakan atau kematian sehingga diduga tanaman ini memiliki kemampuan pada kelembaban yang tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelembaban pada lahan tanaman antara lain dekomposisi bahan organik seperti bahan dan jenis tanaman; umur tanaman dan komposisi kimia; suhu; udara dan kondisi iklim dapat mempengaruhi kelembaban (Naby, 2000). Menurut Ardi (2010), kondisi iklim terutama suhu dan kelembaban udara dipengaruhi oleh curah hujan dalam menentukan keragaman organisme tanah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Jayanthi *at al.*, (2017), suhu dan kelembaban udara mempengaruhi jatuhnya serasah tumbuhan. Naiknya suhu udara akan menyebabkan menurunnya kelembaban udara sehingga transpirasi akan meningkat, dan untuk mengurangnya maka daun harus segera digugurkan. Perbedaan laju dekomposisi pada setiap serasah disebabkan beberapa faktor seperti kandungan jasad renik tanah, kelembaban tanah (leaching atau pencucian oleh air hujan) dan temperatur tanah, dan perbedaan nilai C/N (Nisbah karbon-Nitrogen) pada setiap serasah.

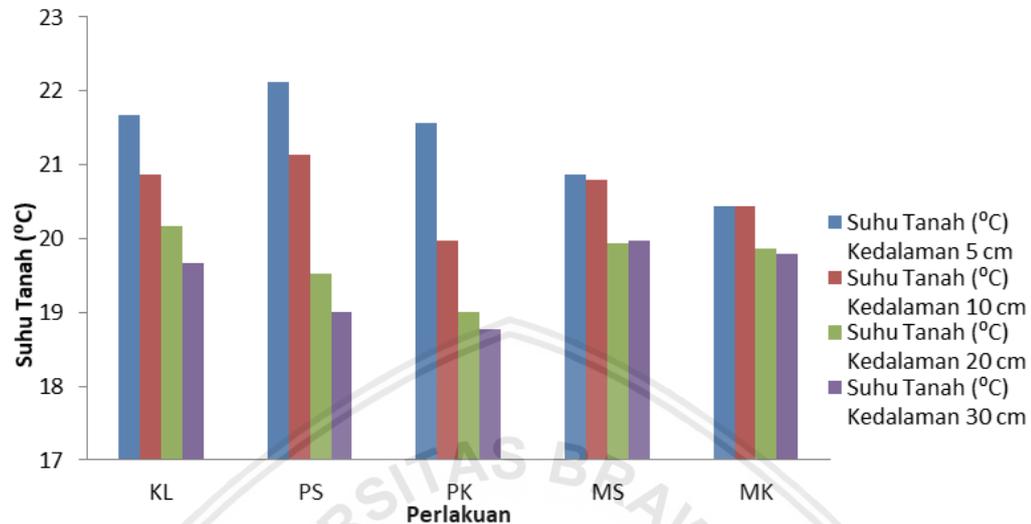
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sanger *at al.*, (2016), suhu udara dibawah naungan pohon cenderung lebih kecil bila dibandingkan dengan suhu udara lahan terbuka. Hal ini disebabkan karena pohon memiliki tajuk yang dapat menyebarkan sinar matahari sehingga suhu area disekitarnya dapat direduksi dengan baik sedangkan semak memiliki area tajuk yang lebih kecil bila dibandingkan dengan pohon, sehingga kemampuan mereduksi suhu udaranya juga lebih rendah. Struktur vegetasi rumput memiliki suhu udara yang paling tinggi karena rumput menerima langsung sinar matahari tanpa terhalangi oleh apapun sehingga dipantulkan ke area sekitarnya.

4.1.2 Suhu Tanah

Suhu tanah pada berbagai tutupan lahan di UB Forest tentunya memiliki perbedaan lokasi dan kerapatan tajuk yang dapat mempengaruhi iklim mikro. Hasil analisis suhu tanah di UB Forest disajikan pada Gambar 8.

Hasil plot tanah dalam suhu berbeda di lokasi penelitian tidak berbeda nyata, terlihat pada diagram dibawah. Pada kedalaman 5 cm tanah mengalami kenaikan pada plot PS (Pinus + Tan. Semusim Wortel) yang merupakan hasil

rerata tertinggi dengan nilai 22,13°C dan hasil rerata terendah terdapat pada plot MK (Mahoni Kopi) dengan nilai 20,43°C. Sedangkan tanah pada kedalaman 10 cm, 20 cm, dan 30 cm terdapat perbedaan signifikan.



Gambar 8. Rerata Suhu Tanah di UB Forest. Keterangan: KL= Kawasan Lindung, PS= Pinus+Tan. Semusim Wortel, PK= Pinus Kopi, MS= Mahoni+Tan. Semusim Talas, MK= Mahoni Kopi.

Hasil tertinggi nilai suhu pada tanah dengan kedalaman 10 cm berada pada plot PS (Pinus + Tan. Semusim Wortel) dengan nilai rata-rata 21,13°C dan hasil terendahnya terdapat pada plot PK (Pinus Kopi) dengan nilai rata-rata 19,97°C. Tanah kedalaman 20 cm memiliki nilai tertinggi pada plot KL (Kawasan Lindung) dengan nilai rata-rata 20,17°C dan terendah pada plot PK (Pinus Kopi) dengan nilai rata-rata 19°C. Pada tanah kedalaman 30 cm memiliki nilai tertinggi pada plot MS (Mahoni + Tan. Semusim Talas) dengan nilai rata-rata 19,97°C, terendah pada plot PK (Pinus Kopi) dengan nilai rata-rata 18,77°C.

Kondisi suhu yang ada pada lahan di Forest UB memiliki suhu yang optimal antara 21 – 26°C. Suhu ini merupakan suhu optimal pada lahan yang digunakan untuk proses penanaman. Suhu tanah merupakan salah satu faktor tumbuh tanaman yang penting, dimana suhu lingkungan mempengaruhi aktivitas mikroba tanah, suhu optimum aktivitas biota tanah yang menguntungkan antara suhu 18-30°C. Suhu tanah memiliki intensitas atau tingkat panas yang berfungsi sebagai indikator perkembangan mikoba untuk pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian yang dilakukan pada lahan UB Forest menunjukkan nilai suhu yang pada suhu optimal untuk pertumbuhan dari masing-masing plot.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Karyati *at al.* (2016), menunjukkan bahwa suhu tanah di dalam hutan pada kedalaman 10 cm adalah berkisar 25,8-27,2°C. Beredi (2010) menyebutkan suhu tanah pada kedalaman 10 cm di tegakan jati umur 3 tahun berkisar 27,4- 28,2°C, sedangkan pada tegakan jati umur 6 tahun berkisar 26,8-26,0°C. Kisaran suhu tanah rata-rata pada lahan agroforestri campuran kelapa sawit dan jati sebesar 27,9°C pada kedalaman 10 cm (Purwoto, 2007). Nilai suhu tanah yang didapatkan bisa dipengaruhi oleh waktu dan cuaca ketika pengamatan.

Suhu lahan tanaman dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan maupun jenis tanaman itu sendiri. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi suhu lingkungan adalah intensitas cahaya matahari, cuaca, curah hujan, kecepatan angin dan kelembaban udara. Sedangkan faktor untuk lahan tanaman dapat dipengaruhi adanya struktur tanah, kadar air tanah, kandungan bahan organik. Semakin tinggi suhu makan semakin cepat pertumbuhan pada tanaman (Ardhana *et al.*, 2012).

4.1.3 Kerapatan Tajuk

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa terdapat tutupan lahan berpengaruh nyata terhadap kerapatan tajuk. Uji beda nyata terkecil (BNT) menunjukkan hasil berbeda nyata (Tabel Lampiran 14). Hasil analisis kerapatan tajuk di UB Forest disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase Kerapatan Tajuk Pada Berbagai Tutupan Lahan Di UB Forest

No.	Plot	Kerapatan Tajuk (%)
1.	KL	94,20 b
2.	PS	72,94 a
3.	PK	77,56 a
4.	MS	94,19 b
5.	MK	93,42 b

Keterangan: Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda pada kolom yang sama memiliki hasil yang berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. (KL: Kawasan Lindung, PS: Pinus + Tan. Semusim Wortel, PK: Pinus Kopi, MS: Mahoni + Tan. Semusim Talas, MK: Mahoni Kopi).

Hasil rerata nilai kanopi kerapatan tajuk pada berbagai tutupan lahan yang ada di UB Forest terlihat berbeda nyata. Tajuk yang memiliki kerapatan paling tinggi berada pada plot KL (Kawasan Lindung) sebesar 94,20% dan tajuk yang kurang rapat terdapat pada plot PS (Pinus + Tan. Semusim Wortel) dengan nilai

72,94%. Kerapatan tajuk akan mempengaruhi serasah dan berkaitan erat dengan masukan bahan organik tanah. Pada plot MS (Mahoni + Tan. Semusim Talas) memiliki kerapatan tajuk yang lebih tinggi dibandingkan dengan plot MK (Mahoni Kopi), hal ini terjadi dikarenakan jarak tanam pohon mahoni di plot MS lebih rapat.

Lahan agroforestri merupakan tutupan lahan yang paling efektif dalam mencegah erosi karena memiliki daun-daunnya lebat dan banyak. Kerapatan tajuk dan serasah dapat memberikan efek lembab pada permukaan tanah. Rapatnya tajuk dan lebarnya tajuk dapat menjaga kondisi suhu udara tanah. Kondisi tanah yang lembab akan semakin banyak mikrobiologi yang tumbuh pada tanah (Hardjowigeno, 2007). Menurut Sanger *at al.* (2016), naungan secara langsung berpengaruh terhadap intensitas cahaya yang sampai di permukaan tajuk tanaman. Kelembaban udara paling tinggi dimiliki oleh vegetasi pohon dibandingkan dengan lahan terbuka, hal ini disebabkan karena pohon yang satu dengan yang lainnya letaknya berdekatan dan cukup rindang. Faktor yang mempengaruhi keadaan tersebut yaitu kemampuan evapotranspirasi lebih baik karena tajuk pepohonan yang rapat sehingga kandungan uap air di bawah pohon lebih banyak.

4.1.4 Ketebalan Serasah

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa tutupan lahan berpengaruh nyata terhadap ketebalan serasah. Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% menunjukkan hasil yang berbeda nyata (Tabel Lampiran 21). Hasil analisis ketebalan serasah di UB Forest disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rerata Ketebalan Serasah Pada Berbagai Tutupan Lahan Di UB Forest

No.	Plot	Ketebalan Serasah (cm)
1.	KL	1,63 ab
2.	PS	0,53 a
3.	PK	2,04 b
4.	MS	1,60 ab
5.	MK	1,39 a

Keterangan: Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda pada kolom yang sama memiliki hasil yang berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. (KL: Kawasan Lindung, PS: Pinus + Tan. Semusim Wortel, PK: Pinus Kopi, MS: Mahoni + Tan. Semusim Talas, MK: Mahoni Kopi).

Rata-rata ketebalan serasah tertinggi terletak pada plot Pinus Kopi (PK) dengan nilai 2,04 cm. Tebalnya serasah pada plot PK berasal dari tanaman kopi

yang daunnya gugur. Kemudian diikuti nilai rata-rata tertinggi pada Kawasan Lindung (KL) dengan nilai 1,63 cm, Mahoni Semusim Talas (MS) dengan nilai 1,60 cm, dan Mahoni Kopi (MK) dengan nilai 1,39 cm. Ketebalan serasah terendah berada pada plot Pinus Semusim Wortel (PS) dengan nilai 0,53 cm. Hasil analisis ragam menunjukkan dari setiap plot memiliki pengaruh berbeda nyata terhadap ketebalan serasah. Ketebalan serasah yang demikian masih termasuk rendah bila ditinjau dari rapatnya naungan yang tinggi. Hal tersebut dapat terjadi karena dipengaruhi proses pengelolaan lahan yang dilakukan masyarakat serta adanya pengaruh absisi daun dan ranting dari tegakan. Proses absisi terjadi disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya faktor air, nutrisi, serta hormon pada tumbuhan (Agung, 2016).

Serasah merupakan seluruh bahan organik yang berada di permukaan tanah (lahan) yang belum terdekomposisi secara sempurna yang masih ditunjukkannya dengan bentuk dedaunan dan ranting yang masih utuh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah ketebalan serasah paling tinggi pada plot pinus kopi, hal ini menunjukkan bahwa semakin rapat tajuk maka ketebalan serasah juga akan semakin meningkat. Serasah dipermukaan tanah lama kelamaan akan terdekomposisi dengan sendirinya dan menjadi partikel yang semakin kecil, hal ini menyebabkan adanya tambahan bahan organik sehingga unsur hara dapat tersedia. Pelepasan unsur C dan N akan mengalami perubahan sebagai bukti yang nyata dengan adanya penyaluran unsur hara dari serasah tanaman ke dalam tanah. Ketebalan serasah akan berkaitan dengan kondisi pertumbuhan utama atau vegetasi. Menurut Rindyastuti *et al.* (2010), berat serasah paling tinggi yaitu pada lokasi multikultur agroforestri dengan tanaman beragam yang didominasi pinus kopi dan mindi memiliki serasah yang lebih tinggi hal ini disebabkan karena pohon merupakan tanaman tahunan yang memiliki tajuk lebar dan menyumbangkan banyak serasah dibandingkan dengan lainnya seperti pada tanaman semusim.

Tanaman memberikan bahan organik melalui daun-daun, cabang dan ranting yang gugur dan juga melalui akar yang telah mati. Serasah yang jatuh dipermukaan tanah dapat melindungi permukaan tanah dari air hujan dan mengurangi penguapan. Tinggi rendahnya peranan serasah dipengaruhi dari

kualitas bahan organik juga. Semakin rendah kualitas bahan maka semakin lama bahan mengalami pelapukan sehingga terjadi akumulasi serasah yang cukup tebal pada permukaan tanah (Hairiah *et al.*, 2011). Serasah yang jatuh ke permukaan tanah tidak akan lama tertimbun di tanah namun akan segera mengalami dekomposisi sehingga dapat segera diserap kembali oleh tanaman. Laju dekomposisi serasah berbeda antara satu jenis tanaman dengan tanaman lainnya, proses dekomposisi juga dipengaruhi oleh kelembaban udara banyaknya mikroba maupun kandungan kimia dari serasah (Wiharto, 2011).

4.1.5 Nekromassa Serasah

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa tutupan lahan berpengaruh nyata terhadap berat serasah. Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% menunjukkan hasil yang berbeda nyata (Tabel Lampiran 22). Hasil analisis nekromassa serasah di UB Forest disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rerata Nekromassa Serasah Pada Berbagai Tutupan Lahan Di UB Forest

No.	Plot	Nekromassa Serasah (ton/ha)
1.	KL	2,21 a
2.	PS	2,93 a
3.	PK	8,54 ab
4.	MS	20,40 b
5.	MK	6,22 ab

Keterangan: Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda pada kolom yang sama memiliki hasil yang berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. (KL: Kawasan Lindung, PS: Pinus + Tan. Semusim Wortel, PK: Pinus Kopi, MS: Mahoni + Tan. Semusim Talas, MK: Mahoni Kopi).

Rata-rata berat serasah tertinggi sebesar 20,40 t ha⁻¹ pada plot Mahoni Semusim Talas (MS) diikuti dengan Pinus Kopi (PK) 8,54 t ha⁻¹, Mahoni Kopi (MK) 6,22 t ha⁻¹, Pinus Semusim Wortel (PS) 2,93 t ha⁻¹, dan rata-rata berat serasah terendah 0,37 t ha⁻¹ pada plot Kawasan Lindung (KL). Rendahnya berat serasah pada kawasan lindung disebabkan karena terjadinya longsor di kawasan tersebut.

Serasah meliputi bagian tanaman yang telah gugur berupa daun dan ranting-ranting yang ada di atas permukaan tanah atau nekromassa yang terdiri dari serasah kasar dan serasah halus. Serasah kasar seperti ranting dan daun yang masih utuh yang berada dipermukaan tanah, sedangkan serasah halus berupa bahan organik lainnya yang telah terdekomposisi. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa nekromassa tertinggi pada plot PK (Pinus kopi) hal ini menunjukkan bahwa PK lebih banyak menghasilkan nekromassa serasah dan banyak melakukan dekomposisi sehingga banyaknya endapan di tanah. Pinus kopi lebih banyak melakukan dekomposisi serasah sehingga hasil endapan akan lebih banyak dihasilkan dan dimanfaatkan oleh mikoba pada tanah.

Kecepatan dekomposisi serasah daun hingga dapat menyatu kedalam tanah juga tergantung pada faktor fisik dan jenis tumbuhan. Sedangkan kualitas serasah ditentukan dengan melihat morfologi terutama yang berasal dari daun yang gugur untuk mengasumsikan kecepatan dekomposisinya. Kecepatan pelapukan daun ditentuka oleh warna, sifatnya ketika diremas dan kelenturannya. Kualitas yang beragam akan menentukan tingkat penutupan permukaan tanah oleh serasah. Kualitas serasah berkaitan dengan kecepatan pelapukan serasah (dekomposisi). Semakin lambat proses pelapukan maka keberadaan serasah dipermukaan tanah menjadi lebih lama. Jenis-jenis pohon mati (nekromassa) yang dijumpai pada setiap kondisi hutan disebut (*primary forest, logged over area, secondary forest, dan degraded forest*) dapat menentukan jenis-jenis nekromassa dominan dari keempat kondisi hutan. Penentuan jenis nekromassa dominan berdasarkan pada intensitas banyak sedikitnya pohon mati yang sering dijumpai pada setiap plot (Suin, 2012). Pada penelitian Perdhana (2009), sampel pohon yang diambil berasal dari pohon yang baru ditebang sehingga kayunya masih dalam kondisi segar. Pohon mati yang telah mengalami proses pelapukan akan memiliki nilai berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan berat jenis kayu yang baru ditebang karena bahan-bahan kimia (zat ekstraktif) yang terdapat dalam kayu sudah banyak yang hilang oleh perubahan iklim dan serangan jamur pembusuk.

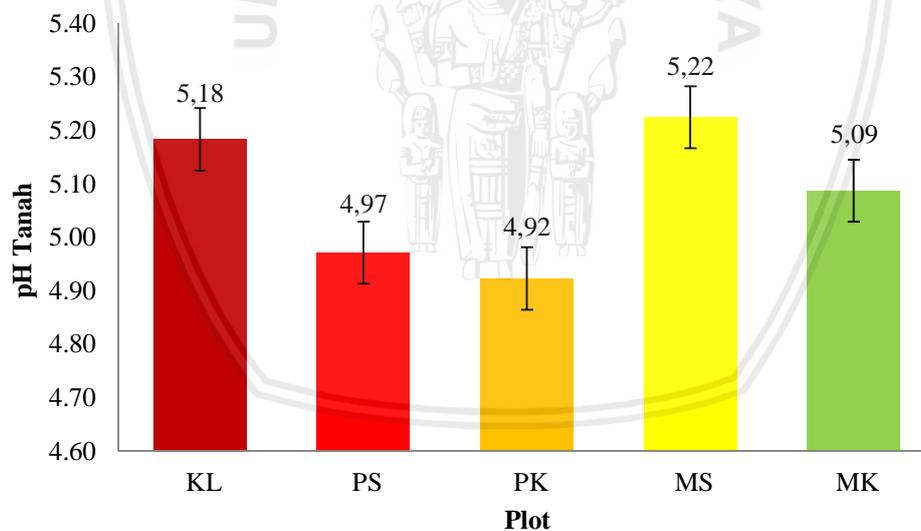
4.2 Karakteristik Kimia Tanah dan Serasah di UB Forest

4.2.1 Nilai pH Tanah

Nilai pH antar plot pada akhir pengamatan tidak berbeda nyata (Gambar 9). Nilai pH tertinggi terdapat pada plot MS (Mahoni + Tan. Semusim Talas) dengan nilai 5,22 sedangkan nilai terendah 4,92 terdapat pada plot PK (Pinus + Kopi). Peningkatan pH disebabkan dari aktivitas mikroorganisme dalam penguraian bahan organik yang menghasilkan asam-asam organik berupa gugus karboksil (COOH) dan fenolitik (OH⁻) yang bermuatan negatif yang dapat

mengikat ion H^+ sehingga kandungan H^+ berkurang dan pH menjadi naik. Asam-asam organik yang terdapat gugus $COOH$ dan OH^- fenolitik dalam molekulnya termasuk asam-asam fenolat. Komponen BO utama dalam pembentukan asam fenolat adalah lignin (Gusnidar *et al.*, 2010). Menurut Wijayanti *et al.* (2018), Nilai pH memiliki peranan penting terhadap aktivitas mikroorganisme dalam proses penguraian bahan organik. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Fikrinda *et al.*, (2000) menunjukkan bahwa bakteri penghasil selulase dapat ditemukan pada pH berkisaran antara 4 hingga 11. Mikroorganisme di dalam tanah melakukan proses penguraian bahan organik yang berasal dari serasah yang berada di permukaan tanah. Pada penelitian yang dilakukan oleh Wijayanti *et al.*, (2018), pH akan menjadi masam karena bahan organik diurai menjadi asam organik.

pH tanah menunjukkan sifat keasaman tanah. Hasil pengukuran pH pada tutupan lahan maupun cara pengolahan tanah yang berbeda di lokasi penelitian termasuk dalam kategori asam, dengan pH antara 4,92-5,22. Hasil analisis nilai pH di UB Forest disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Rerata pH Tanah di UB Forest. Keterangan: KL= Kawasan Lindung, PS= Pinus+Tan. Semusim Wortel, PK= Pinus Kopi, MS= Mahoni+Tan. Semusim Talas, MK= Mahoni Kopi

Pada tutupan lahan mahoni semusim Talas (MS) mempunyai nilai pH tertinggi, hal ini dapat dipengaruhi oleh adanya nekromassa serasah. Nekromassa berasal dari bagian-bagian tumbuhan yang telah mati. Tumbuhan penutup tanah dapat menghasilkan serasah, semakin banyak tumbuhan penutup tanah maka

semakin banyak pula serasah yang dihasilkan. Pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Siahaan *et al.*, (2018), semakin tinggi persentase tumbuhan penutup tanah akan menyebabkan pH tanah semakin masam. Hal tersebut tergambar pada areal koleksi yang tertutup tumbuhan penutup tanah seperti rumput menyebabkan pH tanah lebih rendah dibandingkan areal koleksi tanpa penutup tanah. Untuk mengetahui kriteria nilai pH pada masing-masing tutupan lahan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Analisis Kimia Di Berbagai Tutupan Lahan Di UB Forest

No.	Plot	pH Tanah	Kriteria	C-Organik Serasah (%)	Kriteria	N Total Serasah (%)	Kriteria	C/N Ratio
1.	KL	5,18a	am	14,12 b	st	1,84 bc	st	7,99a
2.	PS	4,97a	m	17,42 b	st	1,13 a	st	15,87a
3.	PK	4,92a	m	17,91 b	st	2,26 c	st	8,67a
4.	MS	5,22a	am	11,79 ab	st	1,33 ab	st	9,25a
5.	MK	5,09a	am	6,50 a	st	1,51 ab	st	4,38a

Keterangan: Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda pada kolom yang sama memiliki hasil yang berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. (KL: Kawasan Lindung, PS: Pinus + Tanaman Semusim, PK: Pinus Kopi, MS: Mahoni + Tanaman Semusim, MK: Mahoni Kopi). (Kriteria: am: agak masam, m: masam, st: sangat tinggi)

Perbedaan dalam tutupan lahan atau cara saat melakukan pengelolaan tanah pada setiap lokasi yang digunakan dalam penelitian dapat mempengaruhi nilai pH. Setiap plot menunjukkan bahwa kondisi pH yang ada di UB Forest memiliki lahan tahan dalam kategori pH asam. Tanah UB Forest menunjukkan pH dengan tingkat asam pada tutupan lahan Pinus Kopi dan Pinus + Tan. Semusim memiliki nilai pH sebesar 4,97, dan 4,92. Berdasarkan (Tabel 7) menunjukkan bahwa kawasan lindung diantara pH tanah yang ada didapatkan nilai rata-rata 5,18. Nilai keasaman pada kawasan UB Forest sangat cocok dilakukan untuk penanaman hutan lindung. Menurut Sembiring *et al.* (2000), menyatakan bahwa tutupan lahan untuk hutan alami memiliki nilai pH asam sekitar 5,2 hingga 5,4. Kondisi pH tanah yang ada pada UB forest sudah memiliki pH lahan tanah yang sesuai untuk lahan hutan alami.

4.2.2 C-Organik Serasah

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa tutupan lahan berpengaruh nyata terhadap kadar C-organik (Tabel Lampiran 8). Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% menunjukkan bahwa rata-rata kadar C-organik tertinggi sebesar 17,91% berada pada tutupan lahan PK (Pinus Kopi) dan terendah sebesar 6,50% pada sistem tutupan lahan MK (Mahoni Kopi). UB Forest merupakan kawasan lahan untuk bercocok tanam, sistem tumpang sari diterapkan dibawah pohon pinus maupun mahoni.

Nilai tertinggi pada PK (Pinus Kopi) menunjukkan rerata yang tertinggi dibanding tutupan lahan lainnya hal ini disebabkan karena masih rapatnya pohon, serasah, ranting maupun batang yang gugur dan menutupi permukaan tanah yang akan memperkaya kandungan organik. Tidak adanya pembersihan lahan seperti tutupan lahan lainnya sehingga serasah terdekomposisi oleh mikroba. Sedangkan nilai C-organik pada Mahoni Kopi didapatkan nilai 6,50% yang dapat dikatakan masuk dalam kategori tinggi meskipun nilai yang didapatkan lebih rendah dari pada plot yang lainnya. Menurut Monde *et al.* (2008), secara keseluruhan adanya tutupan lahan akan berdampak pada penurunan C-organik tanah. Bergantinya vegetasi dan cara pengolahan lahan yang semakin intensif akan menimbulkan terbentuknya permukaan tanah sehingga potensi terkena erosi dan adanya pembakaran sisa-sisa tanaman dapat mempercepat kehilangan c-organik yang ada pada tanah.

4.2.3 N Total Serasah

Hasil nilai rerata n-total serasah berpengaruh nyata pada berbagai tutupan lahan yang ada di UB forest (Tabel Lampiran 9). Nilai n-total dapat dilihat pada (Tabel 7), adapun nilai tertinggi hingga terendah. Total nitrogen serasah akan bergantung pada tanaman yang tumbuh. Tutupan lahan Pinus Kopi (PK) memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan tutupan lahan lainnya sebesar 2,26%, sedangkan untuk nilai n-total terendah yaitu pada tutupan lahan Pinus + tanaman semusim (PS) sebesar 1,13%.

Agustina (2009) menyatakan bahwa fungsi N secara fisiologis yaitu berguna untuk pertumbuhan tanaman dengan kriteria N total yaitu 0,21% -0,5%

dalam kategori sedang dan 0,75% masuk dalam kategori tinggi dimana jumlah yang didapatkan menunjukkan bahwa masih tersedianya nitrogen dalam serasah sehingga berpengaruh nyata terhadap bakteri yang melakukan penghambatan nitrogen.

4.2.4 C/N Ratio

Rasio C/N pada berbagai tutupan lahan yang ada di UB Forest memiliki analisis keragaman yang menunjukkan pengaruh nyata (Tabel Lampiran 10). Hasil rerata rasio C/N terdapat nilai tertinggi yaitu pada tutupan lahan plot PS (Pinus + tanaman semusim wortel) sebesar 1,94% dan terendah terdapat pada plot MK (Mahoni kopi) didapatkan nilai sebesar 0,57%. Semakin banyaknya jumlah bakteri yang ada pada lahan tanaman maka kondisi kesuburan tanaman juga akan semakin baik. Sesuai dengan syarat tumbuh bakteri sehingga bakteri tersebut dapat aktif, tumbuh dan berkembang biak. Tingkat kesuburan tanah yang tinggi berkaitan dengan ketersediaan serasah sebagai sumber bahan organik melimpah sehingga total populasi yang terdapat pada lahan juga semakin banyak. Mikroorganisme akan membantu aktivitas pada tanaman. Mikroorganisme merupakan faktor yang terpenting pada jumlah serasah dan kesuburan tanaman, hal ini berpengaruh terhadap siklus dan ketersediaan hara tanaman serta stabilitas struktur tanah. Perbedaan jumlah bakteri pada lahan tanaman disebabkan karena jenis tanaman yang berbeda, pola tanam yang berbeda sehingga akan mempengaruhi bahan organik yang dihasil. Semakin banyak serasah yang dihasilkan maka akan semakin tinggi jumlah bakteri yang dihasilkan.

Kandungan karbon dan nitrogen dalam tanaman akan mempengaruhi proses pengomposan. Hal ini disebabkan mikroba menggunakan C untuk energi dan pertumbuhan, sedangkan N, P dan K digunakan untuk kebutuhan protein. Reproduksi, dan katalisator. Proses pengomposan dibutuhkannya keseimbangan substrat antara karbon dan nitrogen, selama pengomposan sebagian karbon akan berubah menjadi CO₂ oleh sebab itu didalam sel kandungan karbon harus jauh lebih besar dari nitrogen. Tanaman yang mengandung sedikit nitrogen tidak akan mampu menghasilkan panas untuk proses pembusukan (Indrasti *at al.*, 2004).

4.3 Karakteristik Biologi Tanah dan Serasah di UB Forest

4.3.1 Kadar Lignin dan Selulosa Serasah

Tutupan lahan yang berbeda pada lahan yang ada di UB Forest dapat menyumbangkan jenis serasah yang berbeda pula. Setiap jenis serasah tentunya memiliki kandungan lignin dan selulosa dengan kadar yang berbeda-beda. Hasil perhitungan kandungan lignin dan selulosa serasah terlihat berbeda nyata pada masing-masing plot (Tabel Lampiran 15 dan 16). Nilai tertinggi dari kadar lignin berada pada plot PS (Pinus + Tan. Semusim Wortel) sebesar 62,98% dan nilai terendahnya berada pada plot KL (Kawasan Lindung) sebesar 37,01%. Sedangkan nilai tertinggi dari selulosa serasah berada pada plot MS (Mahoni + Tan. Semusim Talas) sebesar 27,03 % dan nilai terendahnya berada pada plot PS (Pinus + Tan. Semusim Wortel) sebesar 21,33%. Kandungan lignin pada serasah juga dapat mempengaruhi kecepatan laju dekomposisi. Lignin memiliki peran penting dalam proses dekomposisi serasah dan juga peran penting pada proses ekologi. Konsentrasi lignin lebih berpengaruh dibandingkan konsentrasi kimia lainnya dalam menentukan laju dekomposisi serasah.

Tabel 8. Analisis Kadar Lignin dan Selulosa Serasah Pada Berbagai Tutupan Lahan Di UB Forest

No.	Plot	Kadar Lignin (%)	Kadar Selulosa (%)
1.	KL	37,01 a	21,33 ab
2.	PS	62,98 c	15,10 a
3.	PK	50,82 bc	21,53 b
4.	MS	48,49 ab	27,03 b
5.	MK	52,84 bc	26,03 b

Keterangan: Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda pada kolom yang sama memiliki hasil yang berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. (KL: Kawasan Lindung, PS: Pinus + Tan. Semusim Wortel, PK: Pinus Kopi, MS: Mahoni + Tan. Semusim Talas, MK: Mahoni Kopi).

Kandungan lignin yang tinggi pada serasah PS (Pinus + Tanaman Semusim) menyebabkan laju dekomposisinya menjadi lambat. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Fiqa *at al.*, 2010) bahwa kandungan lignin dan selulosa yang tinggi memiliki peluang untuk terdegradasi lebih cepat. Besarnya kandungan lignin akan menghambat proses dekomposisi karena lignin merupakan senyawa kompleks sehingga sulit terurai oleh mikroorganisme tanah (Aprianis, 2011). Selain itu lignin juga resisten terhadap degradasi baik secara biologi,

enzimatis, maupun kimia karena kandungan karbon yang relatif tinggi dibandingkan dengan selulosa, lignin memiliki kandungan energi tinggi.

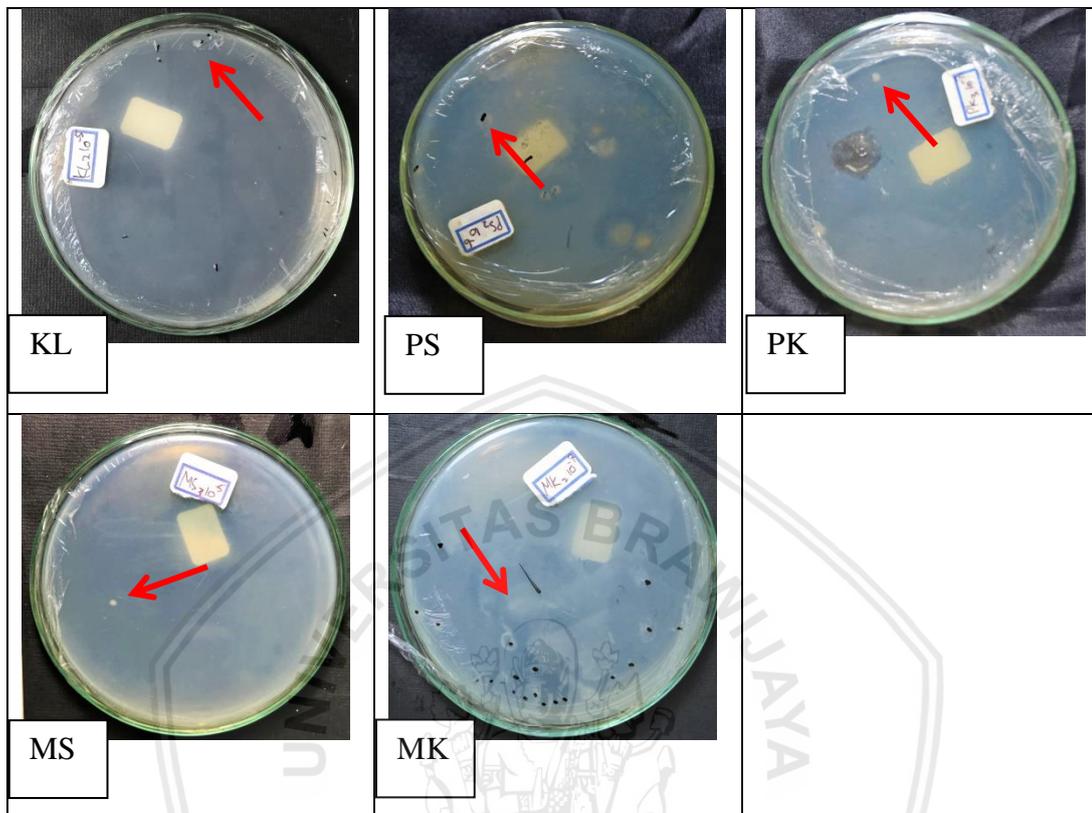
Fang (2014) mengemukakan bahwa sumber karbon yang mudah terdekomposisi akan menunjang perkembangbiakan mikroorganisme dan meningkatkan aktivitasnya, namun hasil analisa polifenol dan lignin menunjukkan bahwa kualitas serasah di lahan tergolong rendah, serta memiliki nilai biomassa C mikroba dan C-organik tanah yang tinggi dibandingkan dengan tutupan lahan lainnya. Menurut Arief (2001), bahan organik yang memiliki kualitas rendah, akan mengalami proses dekomposisi dalam waktu yang lama, hal tersebut disebabkan karena mempunyai resistensi yang tinggi. Namun bahan organik yang memiliki kualitas rendah justru dibutuhkan oleh tanaman yang membutuhkan umur panjang seperti tanaman-tanaman yang tumbuh di hutan, dari sudut pandang agronomi dan lingkungan, sisa tanaman yang kandungan haranya tetap tinggal dalam kurun waktu lama di dalam tanah sampai saat yang dibutuhkan tanaman, lebih baik dibandingkan dengan sisa tanaman yang cepat terdekomposisi dan mudah melepaskan unsur hara ke lingkungan.

4.3.2 Populasi Bakteri Selulolitik

Total populasi bakteri didapatkan hasil setelah dilakukan pengisolasian bakteri kemudian diamati setelah ditumbuhkan dalam media CMC yang ditunggu dalam waktu 4-5 hari setelah penanaman. Pada suhu ruang, kebanyakan bakteri baru tumbuh setelah hari ke 5.

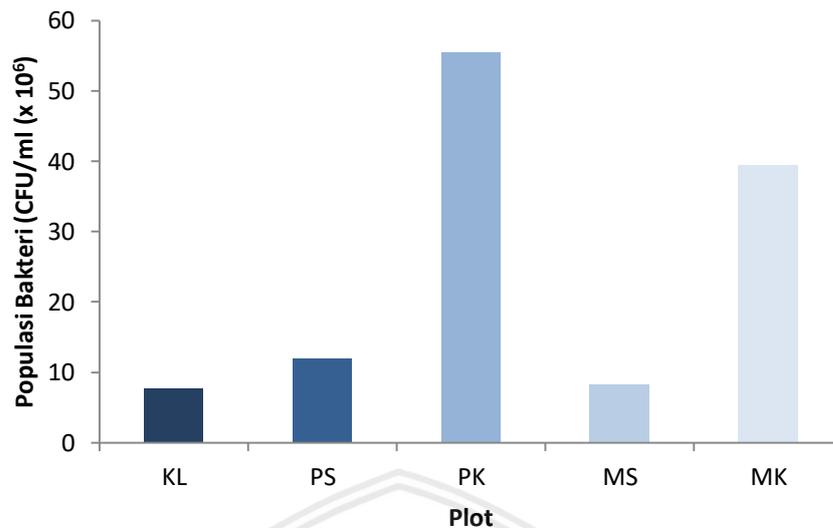
Semakin banyaknya jumlah bakteri yang ada pada lahan maka kondisi kesuburan tanaman maupun tanah juga akan semakin baik. Sesuai dengan syarat tumbuh bakteri sehingga bakteri tersebut dapat aktif, tumbuh dan berkembang biak. Tingkat kesuburan tanah yang tinggi berkaitan dengan ketersediaan serasah sebagai sumber bahan organik melimpah sehingga total populasi yang terdapat pada lahan juga semakin banyak. Mikroorganisme akan membantu aktifitas pada tanaman. Mikroorganisme merupakan faktor yang terpenting pada jumlah serasah dan kesuburan tanaman, hal ini berpengaruh terhadap siklus dan ketersediaan hara tanaman serta stabilitas struktur tanah. Perbedaan jumlah bakteri pada lahan tanaman disebabkan karena jenis tanaman yang berbeda, pola tanam yang berbeda

sehingga akan mempengaruhi bahan organik yang dihasil. Semakin banyak serasah yang dihasilkan maka akan semakin tinggi jumlah bakteri yang dihasilkan.



Gambar 10. Bakteri Selulolitik Di Media CMC (Keterangan: KL: Kawasan Lindung; PS: Pinus Semusim; PK: Pinus Kopi; MS: Mahoni Semusim; MK: Mahoni Kopi)

Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% menunjukkan bahwa tutupan lahan tidak berpengaruh nyata (Tabel Lampiran 23) terhadap total bakteri selulolitik dengan rata-rata total bakteri selulolitik dari kelima plot tertinggi pada plot PK (Pinus kopi) dengan total bakteri $55,44 \times 10^6$ CFU/ml, dan untuk total bakteri terendah pada plot KL (kawasan lindung) dengan total bakteri $7,69 \times 10^6$ CFU/ml. Meningkatkannya total bakteri dapat dipengaruhi oleh kondisi lahan. Kepadatan vegetasi berhubungan dengan bahan organik dan nutrisi yang digunakan dalam tanah. Hasil perhitungan total populasi bakteri selulolitik pada berbagai tutupan lahan di UB Forest disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Rerata total populasi Bakteri Selulolitik di UB Forest. Keterangan : KL: Kawasan Lindung, PS: Pinus + Tan. Semusim Wortel, PK: Pinus Kopi, MS: Mahoni + Tan. Semusim Talas, MK: Mahoni Kopi

Bakteri didalam tanah memiliki peran penting dalam menunjang kesuburan tanah. Bakteri berperan dalam siklus dan ketersediaan hara tanaman serta stabilitas struktur tanah (Ainy, 2008). Bakteri dapat merombak bahan organik yang masuk kedalam tanah menjadi senyawa organik yang dapat diserap oleh tanaman. Bakteri dapat memelihara kesuburan tanah dan menjaga siklus nitrogen didalam tanah (Sulistiawati *et al.*, 2013). Tersedianya unsur hara yang cukup, pH tanah yang sesuai untuk perkembangan mikroorganisme.

Menurut Hanafiah (2012), menjelaskan bahwa populasi mikroba yang tinggi menunjukkan banyak ketersediaan makanan pada mikroba yang ada pada tanah, suhu yang sesuai kemudian ditambah dengan ketersediaan air yang cukup dan kondisi ekologi yang mendukung menyebabkan banyaknya populasi mikroba sebagai kesuburan tanah. Selain dari hasil kerapatan tajuk, faktor lingkungan lainnya yaitu beragamnya pohon disekitar PK (Pinus Kopi) akan lebih banyak menghasilkan total serasah sehingga dapat menutup permukaan tanah, kelembaban tanah akan terurai oleh bakteri dan menjadi bahan organik yang dapat mendukung kesuburan tanah.

Biomassa C mikroba dan serasah adalah bagian dari bahan organik tersebut. Apabila serasah sebagai sumber makanan tersedia melimpah di suatu lahan, maka dapat menunjang aktivitas mikroba sehingga populasi bakteri di lahan tersebut

juga meningkat. Total populasi bakteri yang tinggi ditemukan pada tanah yang memiliki sifat yang sesuai dan memungkinkan mikroorganisme tanah untuk aktif dan berkembangbiak. Kondisi tanah yang sesuai meliputi pH tanah, air yang cukup dan sumber energi berupa bahan organik yang cukup, jenis tanaman yang berkaitan dengan kualitas serasah, dan praktikutupan lahan yang berkaitan dengan pengolahan tanah.

4.3.3 Diversitas Bakteri Selulolitik

Isolat bakteri selulolitik yang didapatkan sebanyak 20 isolat dan dimurnikan seperti pada Tabel 9-13. Jumlah isolat berbeda yang terbanyak berada pada plot Pinus Semusim Wortel (PS) dan Mahoni Kopi (MK) sebanyak 5 jenis isolat berbeda sedangkan jumlah isolat berbeda yang paling sedikit berada pada Pinus Kopi (PK) sebanyak 2 jenis isolat berbeda. Bakteri dilihat karakteristiknya berdasarkan morfologi seperti bentuk, tepi, warna, dan evaluasi bakteri. Karakterisasi morfologi dapat digunakan untuk membantu melihat kedekatan genus dari setiap isolat yang didapat. Pengamatan morfologi bakteri dilakukan secara visual dengan mengamati media selektif. Isolat terpilih berdasarkan kemampuan isolat mendegradasi selulosa dikarakteristik dan diidentifikasi. Hasil pengamatan menunjukkan berupa bakteri selulolitik.

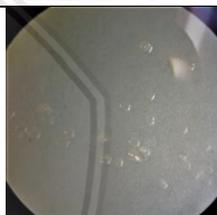
Hasil pengamatan morfologi isolat bakteri selulolitik pada media agar CMC tampak sebagian besar berbentuk tak teratur, sebagian kecil berbentuk bulat, dan ada yang berbentuk *filamentous* (berbenang). Permukaan morfologi pada isolat bakteri beragam mulai dari *convex* (cembung), *umbonate* (tebal ada tonjolan di tengah), *raised* (sedikit timbul), *Crateriform* (tebal ada cekungan di tengah), dan *flat* (nyaris rata dengan medium). Tepi koloni memiliki ciri yang berbeda-beda terdiri dari *Entire* (rata), *Lobate* (berlekuk), *Undulate* (bergelombang), dan *Serrate* (bergerigi). Morfologi bakteri memiliki ciri warna yang bervariasi ada yang putih, ada yang bening, ada yang krem, putih susu, agak pink, putih kekuningan, dan transparan. Berdasarkan karakterisasi morfologi koloni bakteri diatas maka diketahui bahwa terdapat 20 isolat yang berbeda.

Pengujian bakteri selulolitik dilakukan untuk mengetahui aktivitas biokimia yang terjadi pada lahan tanaman dan berhubungan dengan kesuburan tanaman. Hasil plot masing-masing lahan menunjukkan adanya bakteri selulolitik. Kemampuan selulolitik dilihat pada pertumbuhan koloni dengan menggunakan

media CMC agar. Kemampuan bakteri tumbuh pada media selulosa membuktikan bahwa isolat tersebut mampu memanfaatkan selulosa sebagai salah satu sumber nutriennya. Bakteri selulolitik merupakan bakteri yang termasuk golongan saprofit (Lamid *et al.*, 2011), yang merupakan bakteri yang dapat memanfaatkan sisa-sisa tumbuhan yang telah mati untuk memenuhi kebutuhannya. Pertumbuhan bakteri selulolitik dalam media CMC melalui fase-fase tertentu. Pada fase eksponensial terjadi penambahan sel secara maksimal.

Pada plot tutupan lahan KL (kawasan lindung) ditemukan 4 isolat berbeda (Tabel 9). Pengkarakteristikan morfologi isolat bakteri berdasarkan bentuk, elevasi, tepi, dan warna dari isolat bakteri yang didapat.

Tabel 9. Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri Pada Plot Kawasan Lindung

No.	Kode	Karakteristik Morfologi Isolat Pada Plot Kawasan Lindung				Dokumentasi
		Bentuk	Elevasi	Tepi	Warna	
1.	KL ₁ A1	Circular	Convex (cembung)	Entire (rata)	Bening	
2.	KL ₂ A1	Irregular	Convex (cembung)	Lobate (berlekuk)	Putih	
3.	KL ₃ A1	Circular	Convex (cembung)	Undulate (berge-lombang)	Krem	
4.	KL ₃ A2	Circular	Umbonate (tebal ada tonjolan di tengah)	Undulate (berge-lombang)	Krem	

Keberadaan bakteri selulolitik yaitu bakteri penghasil enzim selulase yang dapat mendegradasi substrat yang mengandung selulosa menjadi produk yang lebih sederhana (Meriyandin *et al.*, 2009). Keberadaan bakteri selulolitik pada hutan didukung dengan proses dekomposisi bahan organik sebagai sumber nutrisi

bagi pertumbuhan bakteri (Reanida *et al.*, 2012). Bakteri selulolitik merupakan salah satu mikroba pendegradasi selulosa potensial karena memiliki tingkat pertumbuhan yang lebih cepat dibanding kelompok mikroba lainnya, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk produksi enzim selulase lebih singkat (Baharuddin *et al.*, 2010).

Pada plot tutupan lahan PS (pinus + tanaman semusim wortel) ditemukan 5 isolat berbeda (Tabel 10). Pengkarakteristikan morfologi isolat bakteri berdasarkan bentuk, elevasi, tepi, dan warna dari isolat bakteri yang didapat.

Tabel 10. Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri Pada Plot Pinus + Tanaman Semusim Wortel.

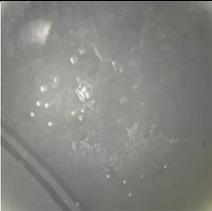
No.	Kode	Karakteristik Morfologi Isolat Pada Plot Pinus Semusim				Dokumentasi
		Bentuk	Elevasi	Tepi	Warna	
1.	PS ₁ A1	Irregular	Raised (sedikit timbul)	Undulate (berge-lombang)	Putih	
2.	PS ₁ A2	Irregular	Crateriform (tebal ada cekungan di tengah)	Lobate (berle-kuk)	Putih	
3.	PS ₁ A3	Irregular	Flat (datar)	Undulate (berge-lombang)	Putih	
4.	PS ₂ A1	circular	Convex (cembung)	Entire (rata)	Putih Susu	
5.	PS ₃ A1	Irregular	Convex (cembung)	Lobate (berle-kuk)	Agak Pink	

Mikroba yang mampu mendegradasi selulosa kristal dapat mensekresikan senyawa kompleks (Shimada *et al.*, 1994). selulolitik dihasilkan sebagai respon

terhadap adanya selulosa pada lingkungannya. Proses ini berlangsung apabila terjadi kontak langsung antara sel bakteri dan permukaan selulosa (Busto *et al.*, 1995). Kemampuan biosintesis selulosa dimiliki oleh banyak mikroba (Raza *et al.*, 2008).

Pada plot tutupan lahan PK (pinus + kopi) ditemukan 2 isolat berbeda (Tabel 11). Pengkarakteristikan morfologi isolat bakteri berdasarkan bentuk, elevasi, tepi, dan warna dari isolat bakteri yang didapat.

Tabel 11. Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri Pada Plot Pinus Kopi.

No.	Kode	Karakteristik Morfologi Isolat Pada Plot Pinus Kopi				Dokumentasi
		Bentuk	Elevasi	Tepi	Warna	
1.	PK ₁ A1	Irregular	Raised (sedikit timbul)	Serrate (berge- rigi)	Bening	
2.	PK ₂ A1	Irregular	Convex (cembung)	Entire (rata)	Putih Kekuningan	

Kesuburan tanah tidak hanya bergantung pada komposisi kimiawinya melainkan juga pada ciri alami mikroba yang ada di dalam tanah. Peranan mikroba dalam kesuburan tanah ditunjukkan dengan aktivitasnya dalam memperbaiki struktur tanah dan ketersediaan hara bagi tanaman. Hal yang sama diungkapkan oleh Hanafiah (2012) menyatakan bahwa terdapat beberapa faktor utama dalam melihat keragaman mikroba dalam tanah yaitu cuaca (curah hujan) kemudian ada kondisi atau sifat tanah, terutama kemasaman, kelembaban, suhu, unsur hara dan terakhir yaitu tipe vegetasi penutup, seperti tutupan lahan hutan, belukar, maupun padang rumput. Melihat dari beberapa faktor antara hubungan lahan dan mikroba bakteri selulolitik sesuai dengan Pinus Kopi (PK) yaitu tutupan lahan berupa hutan alami, kelembaban udara dan suhu tanahnya puncukup yaitu 19,8-23,5% untuk suhu tanahnya 19°C. Aktivitas dan pertumbuhan mikro-organisme cepat meningkat apabila diikuti dengan suhu tanah yang tinggi.

Pada plot tutupan lahan MS (Mahoni + tanaman semusim talas) ditemukan 4 isolat berbeda (Tabel 12). Pengkarakteristikan morfologi isolat bakteri berdasarkan bentuk, elevasi, tepi, dan warna dari isolat bakteri yang didapat.

Tabel 12. Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri Pada Plot Mahoni + Tanaman Semusim Talas.

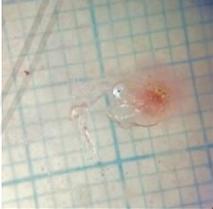
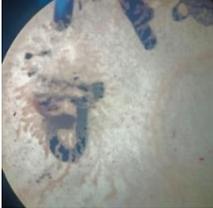
No.	Kode	Karakteristik Morfologi Isolat Pada Plot Mahoni Semusim				Dokumentasi
		Bentuk	Elevasi	Tepi	Warna	
1.	MS ₁ A1	Irregular	Flat (datar)	Undulate (berge- lombang)	Putih	
2.	MS ₃ A1	Irregular	Flat (datar)	Lobate (berlekuk)	Putih Transparan Keruh	
3.	MS ₃ A2	Circular	Raised (sedikit timbul)	Undulate (berge- lombang)	Putih Transparan	
4.	MS ₃ A3	Filamen- tous (berbe- nang)	Flat (datar)	Serrate (bergerigi)	Putih	

Mikroba penghasil enzim secara ekstraseluler tersebar pada kapang dan bakteri. Meskipun bakteri selulolitik memiliki sistem metabolisme yang berbeda dengan kapang dan sedikit sekali data tentang bakteri penghasil enzim ini akan tetapi, umumnya diasumsikan memiliki tingkah laku yang sama (Fikrinda, 2000). Mikroba selulolitik dari kelompok bakteri memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat sehingga waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi selulolitik menjadi lebih pendek. Selain itu, tingkat variasi genetik kelompok bakteri sangat beragam sehingga memungkinkan dilakukan rekayasa genetik untuk optimasi produksi maupun aktivitas selulasenya (Alam *et al.*, 2004). Setiap bakteri selulolitik menghasilkan kompleks enzim yang berbeda-beda, tergantung dari gen yang dimiliki dan sumber karbon yang digunakan. Selain itu, jumlah dan komponen

selulase yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis substrat, konsentrasi substrat, dan suhu (Aguiar, 2001).

Pada plot tutupan lahan MK (Mahoni + kopi) ditemukan 5 isolat berbeda (Tabel 13). Pengkarakteristikan morfologi isolat bakteri berdasarkan bentuk, elevasi, tepi, dan warna dari isolat bakteri yang didapat.

Tabel 13. Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri Pada Plot Mahoni Kopi.

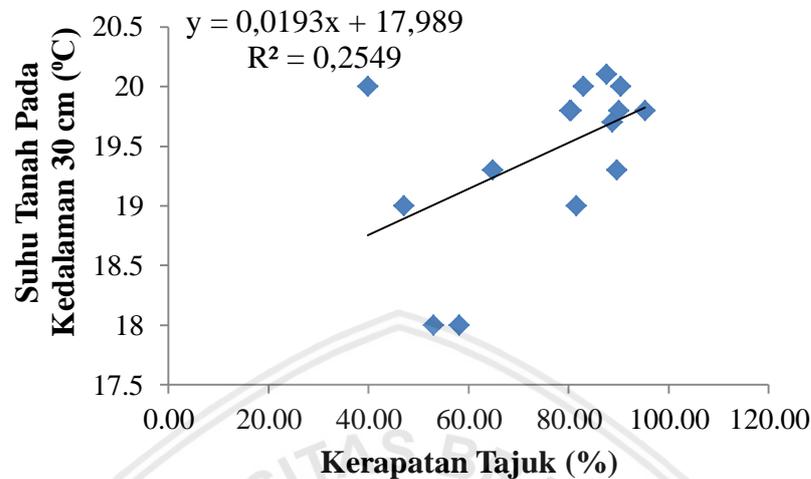
No.	Kode	Karakteristik Morfologi Isolat Pada Plot Mahoni Kopi				Dokumentasi
		Bentuk	Elevasi	Tepi	Warna	
1.	MK ₁ A1	Irregular	Raised (sedikit timbul)	Lobate (berle- kuk)	Putih	
2.	MK ₁ A2	Rhizoid (seperti akar)	Flat (datar)	Lobate (berle- kuk)	Putih (sebelum diberi congo red)	
3.	MK ₃ A1	Amoeboid (seperti amuba)	Convex (cem- bung)	Entire (rata)	Putih (sebelum diberi congo red)	
4.	MK ₃ A2	Irregular	Convex (cem- bung)	Lobate (berle- kuk)	Bening (sebelum diberi congo red)	
5.	MK ₃ A3	Filamentous (berbe- nang)	Flat (datar)	Serrate (berge- rigi)	Putih Bening (sebelum diberi congo red)	

4.4 Hubungan Antar Parameter Pengamatan

4.4.1 Hubungan Kerapatan Tajuk dengan Suhu Tanah

Pada hasil uji korelasi yang dapat dilihat pada (Lampiran 24) dimana hubungan antara kerapatan tajuk dengan suhu tanah pada kedalaman 30cm menunjukkan nilai yang positif dengan korelasi kuat dimana nilai $r = 0,50$.

Selanjutnya parameter yang berkorelasi kuat tersebut dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh parameter satu terhadap parameter lainnya. Hasil uji regresi disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Regresi Parameter Kerapatan Tajuk dengan Suhu Tanah Pada Kedalaman 30cm

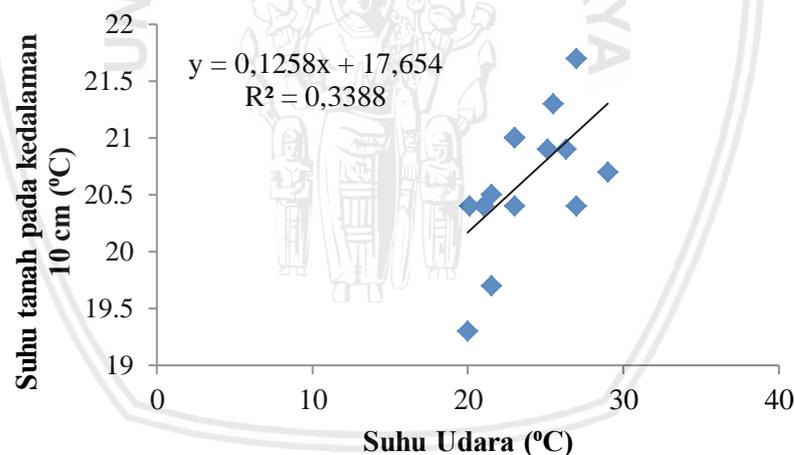
Pada gambar diatas menunjukkan nilai kurva regresi dengan persamaan $y = 0,0193x + 17,989$. Berdasarkan persamaan tersebut, sudut kemiringan kurva regresi sebesar 0,02 menggambarkan suatu keadaan bahwa pada saat terjadi kenaikan nilai x sebesar 1 maka nilai y akan meningkat sebanyak 18,01 (dari perhitungan $0,0193 + 17,989$). Titik-titik yang terbentuk dari persamaan y dapat digunakan untuk menduga tingkat peningkatan suhu tanah pada kedalaman 30cm yang dipengaruhi oleh kerapatan tajuk. Pengaruh peningkatan kerapatan tajuk terhadap peningkatan suhu tanah pada kedalaman 30cm ialah sebesar 26% (R^2) dan 74% lainnya berasal dari faktor lain selain kerapatan tajuk.

Distribusi cahaya matahari yang masuk menembus celah antar naungan dapat mempengaruhi tinggi rendahnya suhu di sekitar tanaman karena adanya radiasi matahari. Peningkatan suhu disekitar iklim mikro tanaman akan menyebabkan cepat hilangnya kandungan kelembaban tanah. Suhu tanah mengalami perubahan dari pengembunan secara terus menerus pada kedalaman yang dangkal di banyak tanah di daerah Alaska yang beku sampai ke Hawaii yang tropis, dimanapun jarang ditemukan suhu tanah dapat mencapai $100^{\circ} F$ ($37,8^{\circ} C$) pada hari yang panas sekalipun. Suhu tanah harian jarang mengalami perubahan

pada kedalaman 20 inchi (51 cm). tapi dibawah kedalaman tersebut suhu tanah akan mengalami perubahan yang secara lambat menunjukkan pertambahan derajat suhu sekitar 2° F (Donahue *at al.*, 1977). Menurut Rayadin *et al.* (2016), suhu tanah pada saat siang dan malam sangat berbeda, pada siang hari ketika permukaan tanah dipanasi matahari, udara yang dekat dengan permukaan tanah memperoleh suhu yang tinggi, sedangkan pada malam hari suhu tanah semakin menurun.

4.4.2 Hubungan Suhu Udara dengan Suhu Tanah

Pada hasil uji korelasi yang dapat dilihat pada (Lampiran 24) dimana hubungan antara suhu udara dengan suhu tanah pada kedalaman 10cm menunjukkan nilai yang positif dengan korelasi kuat dimana nilai $r = 0,58$. Selanjutnya parameter yang berkorelasi kuat tersebut dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh parameter satu terhadap parameter lainnya. Hasil uji regresi disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Regresi Parameter Suhu Udara dengan Suhu Tanah Pada Kedalaman 10cm

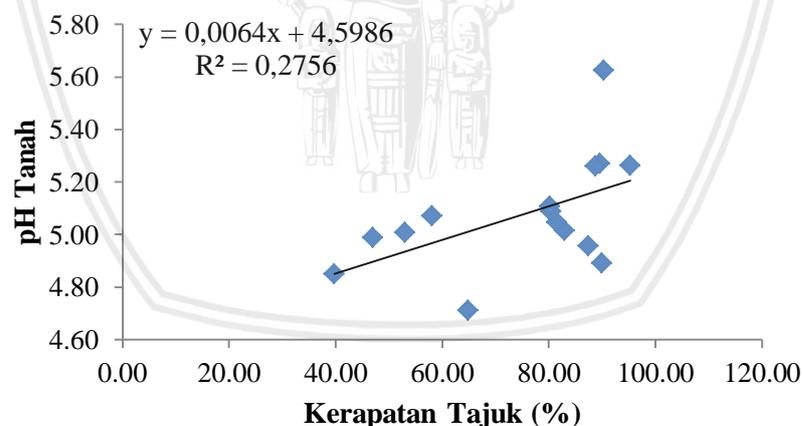
Pada gambar diatas menunjukkan nilai kurva regresi dengan persamaan $y = 0,1258x + 17,654$. Berdasarkan persamaan tersebut, sudut kemiringan kurva regresi sebesar 0,13 menggambarkan suatu keadaan bahwa pada saat terjadi kenaikan nilai x sebesar 1 maka nilai y akan meningkat sebanyak 17,78 (dari perhitungan $0,1258 + 17,654$). Titik-titik yang terbentuk dari persamaan y dapat digunakan untuk menduga tingkat peningkatan suhu tanah pada kedalaman 10cm yang dipengaruhi oleh suhu udara. Pengaruh peningkatan suhu udara terhadap

peningkatan suhu tanah pada kedalaman 10cm ialah sebesar 34% (R^2) dan 66% lainnya berasal dari faktor lain selain suhu udara.

Suhu tanah berhubungan langsung dengan suhu udara di atas tanah. Semakin tinggi suhu di atas tanah, maka semakin tinggi pula suhu di dalam tanah. Menurut Lakitan (1997), suhu tanah akan dipengaruhi oleh jumlah serapan radiasi matahari oleh permukaan tanah. Suhu tanah antara 14°C - 31°C dikatakan sangat baik karena kondisi tanah pada kisaran suhu ini dapat membantu perkembangan mikroorganisme (jasad renik), terutama mikroorganisme yang menguntungkan bagi tanaman (Sarpian, 2003).

4.4.3 Hubungan Kerapatan Tajuk dengan pH Tanah

Pada hasil uji korelasi yang dapat dilihat pada (Lampiran 24) dimana hubungan antara kerapatan tajuk dengan pH tanah menunjukkan nilai yang positif dengan korelasi kuat dimana nilai $r = 0,53$. Selanjutnya parameter yang berkorelasi kuat tersebut dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh parameter satu terhadap parameter lainnya. Hasil uji regresi disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Regresi Parameter Kerapatan Tajuk dengan pH Tanah

Pada gambar diatas menunjukkan nilai kurva regresi dengan persamaan $y = 0,0064x + 4,5986$. Berdasarkan persamaan tersebut, sudut kemiringan kurva regresi sebesar 0,01 menggambarkan suatu keadaan bahwa pada saat terjadi kenaikan nilai x sebesar 1 maka nilai y akan meningkat sebanyak 4,61 (dari perhitungan $0,0064 + 4,5986$). Titik-titik yang terbentuk dari persamaan y dapat digunakan untuk menduga tingkat peningkatan yang pH tanah dipengaruhi oleh

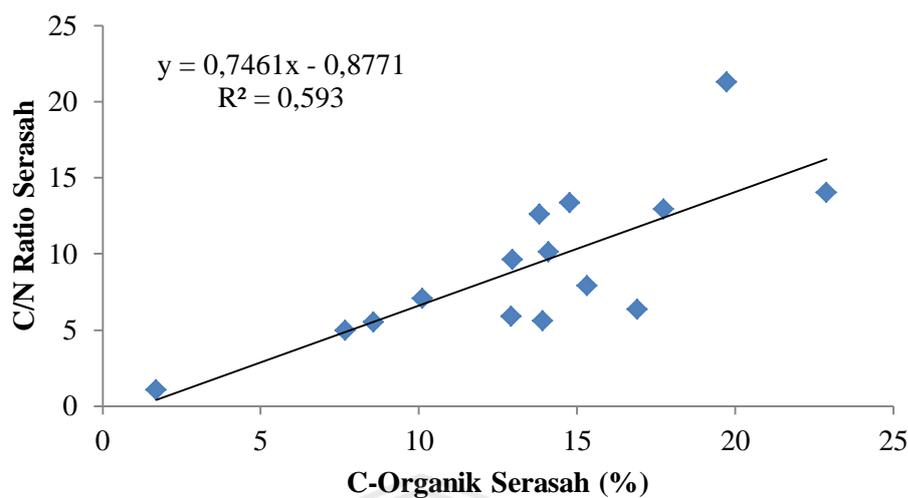
kerapatan tajuk. Pengaruh peningkatan kerapatan tajuk terhadap peningkatan pH tanah ialah sebesar 28% (R^2) dan 72% lainnya berasal dari faktor lain selain kerapatan tajuk.

Suatu lahan yang memiliki tingkat kerapatan tajuk yang tinggi maka akan diikuti dengan tingginya jumlah serasah yang dihasilkan. Serasah dapat dengan mudah terdekomposisi atau tidak tergantung dari jenis tanaman yang tumbuh pada lahan tersebut. Serasah yang terdekomposisi dapat mempengaruhi tingkat keasaman pada tanah. Menurut Pamujiningtyas (2009), pH tanah yang asam dipengaruhi oleh dekomposisi bahan organik. Bahan organik secara terus menerus terdekomposisi oleh mikroorganisme dalam bentuk asam-asam organik, CO_2 dan air, serta senyawa pembentuk asam karbonat. Selanjutnya asam karbonat bereaksi dengan Ca dan Mg karbonat dalam tanah untuk membentuk bikarbonat yang lebih larut, yang bisa tercuci, sehingga dapat menjadikan tanah lebih asam.

4.4.4 Hubungan C-Organik Serasah dengan C/N Ratio Serasah

Pada hasil uji korelasi yang dapat dilihat pada (Lampiran 24) dimana hubungan antara C-organik serasah dengan C/N ratio serasah menunjukkan nilai yang positif dengan korelasi sangat kuat dimana nilai $r = 0,77$. Selanjutnya parameter yang berkorelasi sangat kuat tersebut dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh parameter satu terhadap parameter lainnya. Hasil uji regresi disajikan pada Gambar 15.

Pada Gambar 15 menunjukkan nilai kurva regresi dengan persamaan $y = 0,7461x - 0,8771$. Berdasarkan persamaan tersebut, sudut kemiringan kurva regresi sebesar 0,75 menggambarkan suatu keadaan bahwa pada saat terjadi kenaikan nilai x sebesar 1 maka nilai y akan meningkat sebanyak 1,62 (dari perhitungan $0,7461 - 0,8771$). Titik-titik yang terbentuk dari persamaan y dapat digunakan untuk menduga tingkat peningkatan C/N ratio serasah yang dipengaruhi C-Organik oleh serasah. Pengaruh peningkatan C-Organik serasah terhadap peningkatan C/N ratio serasah ialah sebesar 59% (R^2) dan 41% lainnya berasal dari faktor lain selain C-Organik serasah.



Gambar 15. Regresi Parameter C-Organik Serasah dengan C/N Ratio Serasah

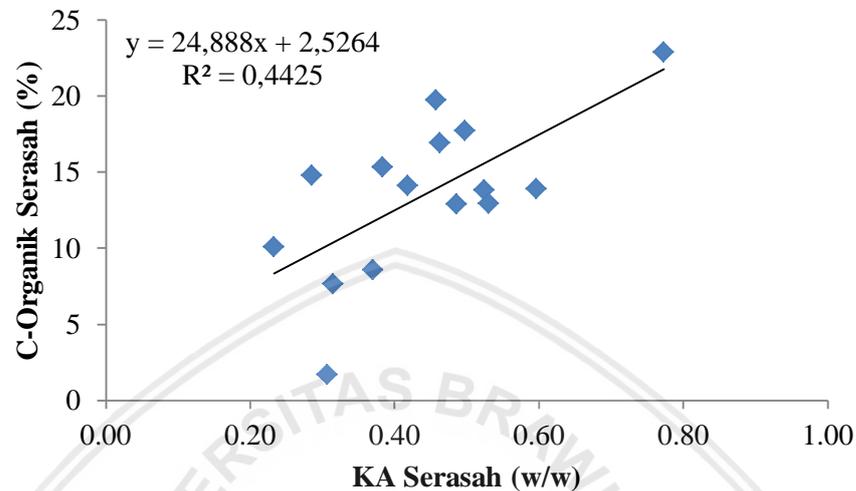
C-Organik berhubungan langsung dengan C/N ratio. Semakin tinggi C-Organik serasah, maka semakin tinggi pula C/N ratio yang dihasilkan. Menurut Sukaryorini *et al.* (2016), bahan organik yang memiliki C/N ratio tinggi akan semakin sulit terdekomposisi. Macam bahan organik akan memberikan pengaruh kualitas dan kuantitas bahan organik. Bahan organik yang mempunyai C/N ratio yang rendah (< 25) akan menyebabkan proses dekomposisi berjalan dengan cepat. Sedangkan bahan organik yang mempunyai C/N ratio yang tinggi (> 25) dapat terjadi immobilisasi, pembentukan humus, akumulasi bahan organik dan peningkatan kadar sulfur.

4.4.5 Hubungan Kadar Air Serasah dengan C-Organik Serasah

Pada hasil uji korelasi yang dapat dilihat pada (Lampiran 24) dimana hubungan antara kadar air serasah dengan C-organik serasah menunjukkan nilai yang positif dengan korelasi kuat dimana nilai $r = 0,67$. Selanjutnya parameter yang berkorelasi kuat tersebut dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh parameter satu terhadap parameter lainnya. Hasil uji regresi disajikan pada Gambar 16.

Pada Gambar 16 menunjukkan nilai kurva regresi dengan persamaan $y = 24,888x + 2,5264$. Berdasarkan persamaan tersebut, sudut kemiringan kurva regresi sebesar 24,89 menggambarkan suatu keadaan bahwa pada saat terjadi kenaikan nilai x sebesar 1 maka nilai y akan meningkat sebanyak 27,41 (dari perhitungan $24,888 + 2,5264$). Titik-titik yang terbentuk dari persamaan y dapat

digunakan untuk menduga tingkat peningkatan C-Organik serasah yang dipengaruhi oleh kadar air serasah. Pengaruh peningkatan kadar air serasah terhadap peningkatan C-Organik serasah ialah sebesar 44% (R^2) dan 56% lainnya berasal dari faktor lain selain kadar air serasah.

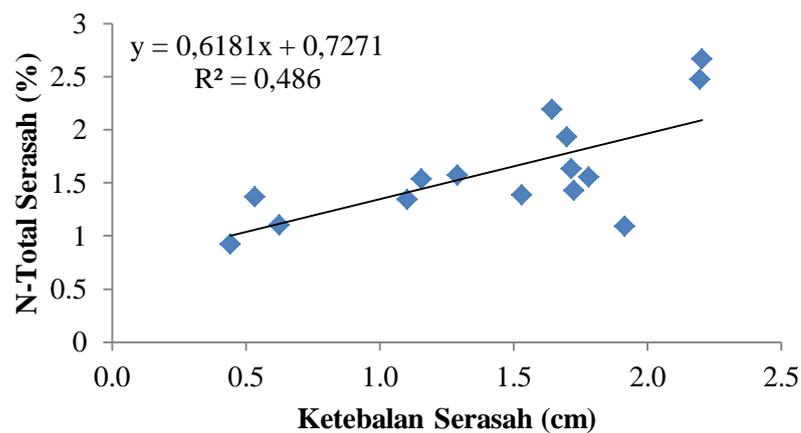


Gambar 16. Regresi Parameter Kadar Air Serasah dengan C-Organik Serasah

Pada proses dekomposisi bahan organik dapat dipengaruhi oleh kadar air yang terkandung didalamnya. Kadar air mempengaruhi laju dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme yang membutuhkan kadar air optimal untuk menguraikan material organik (Kusuma, 2012). Pada hasil penelitian yang dilakukan Dwianty (2011), ketika proses dekomposisi terjadi maka nilai karbon organik mengalami penurunan. Menurut Lu dalam Ratna *at al.* (2017), kadar air dan karbon organik mempunyai hubungan berbanding terbalik, dimana kadar air meningkat, maka kandungan karbon organik menurun.

4.4.6 Hubungan Ketebalan Serasah dengan N-Total Serasah

Pada hasil uji korelasi yang dapat dilihat pada (Lampiran 24) dimana hubungan antara ketebalan serasah dengan N-Total serasah menunjukkan nilai yang positif dengan korelasi kuat dimana nilai $r = 0,70$. Selanjutnya parameter yang berkorelasi kuat tersebut dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh parameter satu terhadap parameter lainnya. Hasil uji regresi disajikan pada Gambar 17.



Gambar 17. Regresi Parameter Ketebalan Serasah dengan N-Total Serasah

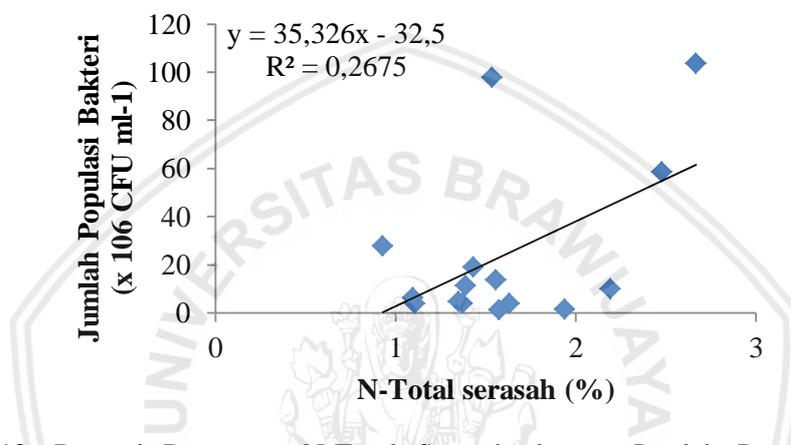
Pada gambar diatas menunjukkan nilai kurva regresi dengan persamaan $y = 0,6181x + 0,7271$. Berdasarkan persamaan tersebut, sudut kemiringan kurva regresi sebesar 0,62 menggambarkan suatu keadaan bahwa pada saat terjadi kenaikan nilai x sebesar 1 maka nilai y akan meningkat sebanyak 1,35 (dari perhitungan $0,6181 + 0,7271$). Titik-titik yang terbentuk dari persamaan y dapat digunakan untuk menduga tingkat peningkatan N-Total serasah yang dipengaruhi oleh ketebalan serasah. Pengaruh peningkatan ketebalan serasah terhadap peningkatan N-Total serasah ialah sebesar 49% (R^2) dan 51% lainnya berasal dari faktor lain selain ketebalan serasah.

Serasah termasuk bahan organik yang banyak ditemukan di atas permukaan tanah di bawah tegakan. Semakin banyak dedaunan dan ranting-ranting pohon yang berjatuhan ke permukaan tanah, maka semakin tebal serasah yang dihasilkan. Di dalam serasah-serasah tersebut terdapat berbagai kandungan senyawa dan zat hara salah satunya yaitu nitrogen, sehingga peningkatan ketebalan serasah juga dapat mengakibatkan tingginya total nitrogen. Nitrogen pada serasah dapat berkurang apabila terjadi proses dekomposisi. Pada proses pengomposan menyebabkan nilai C/N turun, jika nilai C/N terlalu rendah maka nitrogen akan dibebaskan ke udara menjadi amoniak (Dwiyanty, 2011).

4.4.7 Hubungan N-Total Serasah dengan Jumlah Populasi Bakteri Selulolitik

Masalah pokok yang ada di UB Forest sendiri yaitu beralihnya fungsi lahan berupa hutan menjadi lahan agroforestri. Beralihnya fungsi lahan

berpengaruh pada masukan serasah seiring bergantinya vegetasi tanaman. Dalam serasah terkandung nitrogen total yang nilainya berkorelasi dengan jumlah populasi bakteri. Pada hasil uji korelasi yang dapat dilihat pada (Lampiran 24) dimana hubungan antara N-Total serasah dengan jumlah populasi bakteri selulolitik menunjukkan nilai yang positif dengan korelasi kuat dimana nilai $r = 0,52$. Selanjutnya parameter yang berkorelasi kuat tersebut dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh parameter satu terhadap parameter lainnya. Hasil uji regresi disajikan pada Gambar 18.



Gambar 18. Regresi Parameter N-Total Serasah dengan Jumlah Populasi Bakteri Selulolitik

Pada gambar diatas menunjukkan nilai kurva regresi dengan persamaan $y = 35,326x - 32,5$. Berdasarkan persamaan tersebut, sudut kemiringan kurva regresi sebesar 35,33 menggambarkan suatu keadaan bahwa pada saat terjadi kenaikan nilai x sebesar 1 maka nilai y akan meningkat sebanyak 2,83 (dari perhitungan $35,326 - 32,5$). Titik-titik yang terbentuk dari persamaan y dapat digunakan untuk menduga tingkat peningkatan jumlah populasi bakteri selulolitik yang dipengaruhi oleh N-Total serasah. Pengaruh peningkatan N-Total serasah terhadap peningkatan jumlah populasi bakteri selulolitik ialah sebesar 27% (R^2) dan 73% lainnya berasal dari faktor lain selain N-Total serasah.

Tutupan lahan tanah merupakan salah satu hal yang terpenting untuk perkembangbiakan mikroorganisme yang ada didalam tanah. Namun pertumbuhan mikroorganisme yang ada dalam tanah tergantung dari penggunaan bahan perawatan yang digunakan pada tanah. Penggunaan jenis pupuk maupun pestisida akan dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme yang ada pada tanah.

Populasi bakteri selulolitik akan meningkatkan kualitas lingkungan. Keberadaan bakteri selulolitik yaitu bakteri penghasil enzim selulase yang dapat mendegradasi substrat yang mengandung selulosa menjadi produk yang lebih sederhana (Meriyandin *et al.*, 2009). Keberadaan bakteri selulolitik pada hutan didukung dengan proses dekomposisi bahan organik sebagai sumber nutrisi bagi pertumbuhan bakteri (Reanida *et al.*, 2012). Bakteri selulolitik merupakan salah satu mikroba pendegradasi selulosa potensial karena memiliki tingkat pertumbuhan yang lebih cepat dibanding kelompok mikroba lainnya, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk produksi enzim selulase lebih singkat (Baharuddin *et al.*, 2010).

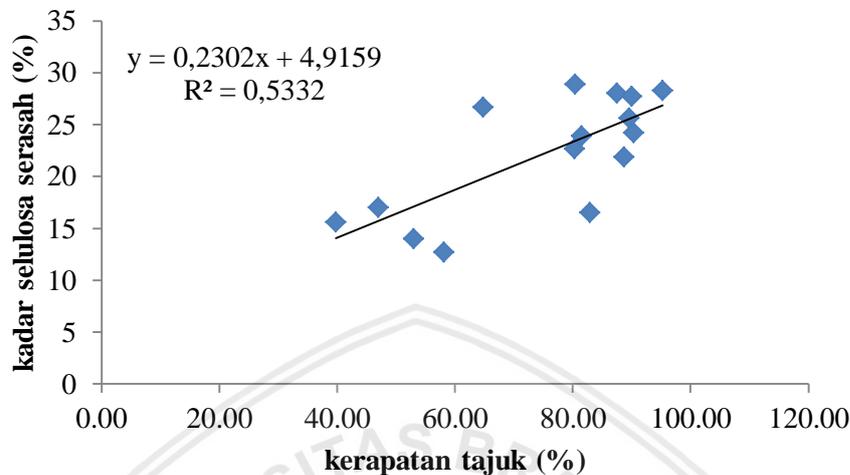
Kesuburan tanah tidak hanya bergantung pada komposisi kimiawinya melainkan juga pada ciri alami mikroba yang ada di dalam tanah. Peranan mikroba dalam kesuburan tanah ditunjukkan dengan aktivitasnya dalam memperbaiki struktur tanah dan ketersediaan hara bagi tanaman. Menurut Sutedjo *et al.* (1996), beberapa faktor yang berpengaruh atas berlimpahnya populasi mikroba yaitu zat/bahan organik, pH, kelembaban tanah, temperatur tanah, aerasi tanah dan keadaan alami pertumbuhan tanaman. Keadaan banyaknya mikroba dan penyebarannya di dalam tanah dan juga komposisi populasi pada jenis tanah yang berbeda, terutama dipengaruhi oleh penambahan bahan organik.

4.4.8 Hubungan Kerapatan Tajuk dengan Kadar Selulosa Serasah

Pada hasil uji korelasi yang dapat dilihat pada (Lampiran 24) dimana hubungan antara kerapatan tajuk dengan kadar selulosa serasah menunjukkan nilai yang positif dengan korelasi kuat dimana nilai $r = 0,73$. Selanjutnya parameter yang berkorelasi kuat tersebut dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh parameter satu terhadap parameter lainnya. Hasil uji regresi disajikan pada Gambar 19.

Pada Gambar 19 menunjukkan nilai kurva regresi dengan persamaan $y = 0,2302x + 4,9159$. Berdasarkan persamaan tersebut, sudut kemiringan kurva regresi sebesar 0,23 menggambarkan suatu keadaan bahwa pada saat terjadi kenaikan nilai x sebesar 1 maka nilai y akan meningkat sebanyak 5,15 (dari perhitungan $0,2302 + 4,9159$). Titik-titik yang terbentuk dari persamaan y dapat digunakan untuk menduga tingkat peningkatan kadar selulosa serasah yang

dipengaruhi oleh kerapatan tajuk. Pengaruh peningkatan kerapatan tajuk terhadap peningkatan kadar selulosa serasah ialah sebesar 53% (R^2) dan 47% lainnya berasal dari faktor lain selain kerapatan tajuk.



Gambar 19. Regresi Parameter Kerapatan Tajuk dengan Kadar Selulosa Serasah

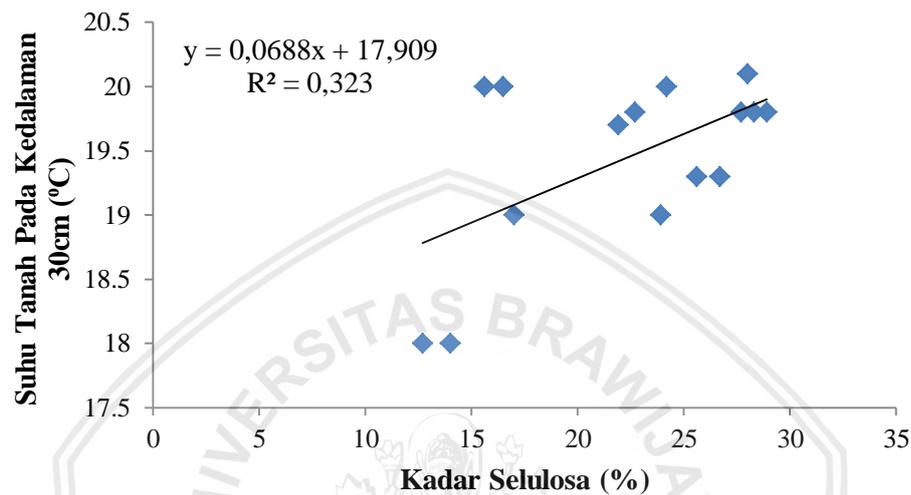
Pada pengamatan kerapatan tajuk, tanaman tegakan utama yang ada pada lahan plot pengamatan adalah tanaman mahoni dan pinus. Semakin rapat tajuk maka semakin banyak pula serasah yang dihasilkan. Wiyono *et al.* (1989) menyatakan bahwa selulosa yang terkandung dalam daun pinus berkisar antara 12,31 – 18,54 %. Sedangkan pada hasil penelitian Fiqa *et al.* (2010), tanaman *Swietenia macrophylla* (mahoni daun lebar) memiliki kandungan selulosa yang tinggi yaitu sebesar 26,44%.

4.4.9 Hubungan Suhu Tanah dengan Kadar Selulosa Serasah

Pada hasil uji korelasi yang dapat dilihat pada (Lampiran 24) dimana hubungan antara suhu tanah pada kedalaman 30cm dengan kadar selulosa serasah menunjukkan nilai yang positif dengan korelasi kuat dimana nilai $r = 0,57$. Selanjutnya parameter yang berkorelasi kuat tersebut dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh parameter satu terhadap parameter lainnya. Hasil uji regresi disajikan pada Gambar 20.

Pada Gambar 20 menunjukkan nilai kurva regresi dengan persamaan $y = 0,0688x + 17,909$. Berdasarkan persamaan tersebut, sudut kemiringan kurva regresi sebesar 0,07 menggambarkan suatu keadaan bahwa pada saat terjadi kenaikan nilai x sebesar 1 maka nilai y akan meningkat sebanyak 17,98 (dari

perhitungan $0,0688x + 17,909$). Titik-titik yang terbentuk dari persamaan y dapat digunakan untuk menduga tingkat peningkatan suhu tanah pada kedalaman 30cm yang dipengaruhi oleh kadar selulosa serasah. Pengaruh peningkatan kadar selulosa serasah terhadap peningkatan suhu tanah pada kedalaman 30cm ialah sebesar 32% (R^2) dan 68% lainnya berasal dari faktor lain selain kadar selulosa serasah.



Gambar 20. Regresi Parameter Kadar Selulosa Serasah dengan Suhu Tanah Pada Kedalaman 30 cm.

Faktor iklim terutama suhu dan kelembaban tanah (dipengaruhi curah hujan) sangat menentukan pada peningkatan mikroorganisme. Suhu yang optimal akan berpengaruh pada dekomposisi serasah secara tidak langsung. Hal ini menyebabkan serasah menjadi terdekomposisi lebih sempurna. Menurut penelitian Salah *at al.* (2011), menyatakan bahwa suhu memberikan pengaruh pada penurunan serasah. Penurunan berat serasah karena suhu akan mempengaruhi aktivitas mikroba. Selain itu kualitas serasah juga faktor terpenting dalam laju dekomposisi serasah. Di dalam serasah juga terkandung selulosa yang jumlah kadarnya berbeda-beda tergantung jenis tanaman dimana serasah tersebut berasal.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Isolasi bakteri di UB Forest dari beberapa plot yaitu KL (kawasan lindung), PS (pinus + tanaman semusim wortel), PK (Pinus kopi), MS (mahoni + tanaman semusim talas), dan MK (mahoni kopi) menunjukkan adanya bakteri yang berkemampuan selulolitik.
2. Di berbagai tutupan lahan yang ada di UB Forest dari tutupan lahan agroforestri ditunjukkan pada plot PK (Pinus kopi) yang menunjukkan adanya bakteri selulolitik paling tinggi yaitu dengan total populasi bakteri sebesar $55,44 \times 10^6$ CFU/ml. Pada plot tutupan lahan KL (kawasan lindung) terdapat 4 isolat, pada PS (pinus + tanaman semusim wortel) terdapat 5 isolat, pada PK (Pinus kopi) terdapat 2 isolat, pada MS (mahoni + tanaman semusim talas) terdapat 4 isolat, dan pada MK (mahoni kopi) terdapat 5 isolat.
3. Kondisi faktor lingkungan pH dan suhu dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri selulolitik. Pada tutupan lahan di UB Forest dari masing-masing plot memiliki rata-rata pH tanah 4-5 yang termasuk pH masam.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait interaksi antar bakteri selulolitik yang ada pada berbagai penggunaan lahan dan dilakukan pengujian bakteri selulolitik lebih lanjut untuk mengetahui jenis spesies dari bakteri yang ada pada lahan di UB Forest.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Rosmarkam, dan N. W. Yuwono. 2010. Ilmu Kesuburan Tanah. Yogyakarta. Kanisius.
- Aguiar C.L. 2001. Biodegradation of the cellulose from sugarcane bagasse by fungal cellulase. *Sci Technol Aliment* 3:117-121.
- Agung, A.F. 2016. Pengguguran Daun (Absisi). *Jurnal Biodiversity Warriors*.
- Agustina, L. 2009. Dasar Nutrisi Tanaman. Jakarta. PT Rineka Cipta.
- Ainy, I.T.E. 2008. Kombinasi antara pupuk hayati dan sumber nutrisi dalam memacu serapan hara, pertumbuhan, serta produktivitas jagung dan padi [Tesis]. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Alam M.Z., M.A. Manchur, and M.N. Anwar. 2004. Isolation, purification, characterization of cellulolytic enzymes produced by *Streptomyces omiyaensis*. *J Biol Sci* 10:1647- 1653.
- Anas, I. 1989. Biologi Tanah Dalam Praktek. Pusat Antar Universitas Bioteknologi. Bogor. 161 hlm.
- Aprianis, Y. 2011. Produksi Dan Laju Dekomposisi Serasah *Acacia crassicarpa* A. *Cunn.* di PT. ARARA ABADI. *Tekno Hutan Tanam*. Vol. 4(1): 41–47.
- Ardhana dan I.P. Gede. 2012. Ekologi Tumbuhan. Bali. Udayana University Press.
- Ardi, R. 2010. Kajian Aktivitas Mikroorganisme Tanah Pada Berbagai Kelerengan dan Kedalaman Hutan Alam (Studi Kasus di Taman Nasional Gunung Leuser, Seksi Besitang). Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Arief, A. 2001. Hutan dan Kehutanan. Yogyakarta. Kanisius.
- Ashwani, K., L. Saida, and K.V. Reddy. 2014. Isolation, Screening, and Characterization of Cellulolytic Bacteria from Forest Soil Sample. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(10): 679-685.
- Baharuddin, A.S., M.N.A. Razak, L.S. Hock. M.N. Ahmad, S.A. Aziz, N.A.A. Rahman. U.K.M. Shah, M.A. Hassan, K. Sakai, and Y. Shirai. 2010. Isolation and Characterization of Thermophilic Cellulase Producing Bacteria from Empty Bunches-Palm Oil Mill Effluent Compost. *American Journal of Applied Science*. Vol.7(1): 56-62.

- Beredi. 2010. Fluktuasi Suhu Tanah pada Beberapa Kedalaman di Areal Tegakan Jati (*Tectona grandis* Linn. f.) dengan Kelas Umur yang Berbeda. Samarinda. Fakultas Kehutanan. Universitas Mulawarman.
- BKKBN Nasional. 2015. Pelayanan Kontrasepsi: <http://www.bkkbn.go.id>. Diakses Pada Tanggal 11 Oktober 2018.
- Buselli, R.A.F., W.C. Otoni, and C.P. Joshi. 2007. Structure, organization, and functions of cellulose synthase complexes in higher plants. *Brazil Journal Plant Physiology*. Vol.19 (1): 1-13.
- Busto M.D., N. Ortega, and M. Perez-Mateos. 1995. Induction of β -glucosidase in fungal and soil bacterial cultures. *Soil Biol Biochem* 27 (7):949-954.
- Chanzy, H. 2002. Crystal Structure and Hydrogen-Bonding System in Cellulose I β from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. *J. Am. Chem. Soc.*
- Chesson, A. 1981. Effects of sodium hydroxide on cereal straws in relation to the enhanced degradation of structural polysaccharides by rumen microorganisms. *J. Sci. Food Agric* 32:745-758.
- Coronel, L.M dan L.M. Josen. 1986. Isolation, screening and characterization of cellulose utilizing bacteria. Dalam: Saraswati, R., Edi Husen, dan R.D.M. Simanungkalit. *Metode Analisis Biologi Tanah*. p.104-105. Bogor. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Donahue, R.L., R.W. Miller, and J.C. Shickluna. 1977. *An Introduction to Soil and Plant Growth*. New Jersey. Prentice Hall.
- Dwiyanty, E. 2011. *Kajian Rasio Karbon Terhadap Nitrogen (C/N) Pada Proses Pengomposan Dengan Perlakuan Aerasi Dalam Pemanfaatan Abu Ketel dan Sludge Industri Gula* [skripsi]. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Fang, X., Q. Wang, W. Zhou, W. Zhao, Y. Wei, L. Niu, and L. Dai. 2014. Land use effects on soil organic carbon, microbial biomass and microbial activity in changbai mountains of Northeast China. *Chinese Geographical Science*. Vol. 24(3): 21-28.
- Fardiaz, S. 1992. *Mikrobiologi Pangan I*. Penerbit Gramedia Pusaka Utama. Jakarta. hal. 123-132.
- Fikrinda, I. Anas, T. Purwadaria dan D. A. Santosa. 2000. Isolasi dan Seleksi Bakteri Penghasil Selulase Ekstremofil dan Ekosistem Air Hitam. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia* Vol.5 (2): 48-53.
- Fikrinda. 2000. *Isolasi dan karakterisasi bakteri penghasil selulase ekstermofilik dari ekosistem air hitam* [tesis]. Bogor. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

- Fitriani, A. 2003. Aktivitas Enzim Karboksilmetil Selulase *Bacillus pumilus* Galur 55 pada Berbagai suhu Inkubasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Fiqa, A.P. dan S. Sofiah. 2010. Pendugaan Laju Dekomposisi dan Produksi Biomassa Serasah Pada Beberapa Lokasi Di Kebun Raya Purwodadi. Pasuruan.
- Goering, H. K., and Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications). Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. Washington D.C. p.8-9.
- Gusnidar, N. H. Hakim dan T. B. Prasetyo. 2010. Inkubasi Titonia Pada Tanah Sawah Terhadap Asam-Asam Organik. Padang. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas. J. Solum Vol.VII (1): 7-18.
- Hairiah, K., A. Ekadinata, R.R. Sari, dan S. Rahayu. 2011. Pengukuran Cadangan Karbon Dari Tingkat Lahan Ke Bentang Lahan. Petunjuk praktis. Edisi kedua. Bogor World Agroforestry Centre. ICRAF SEA Regional Office. Malang. University of Brawijaya. Hal. 27-35.
- Hanafiah, K.A. 2012. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Jakarta. PT. Raja Grafindo Persada.
- Hardjowigeno, S. 2007. Ilmu Tanah. Jakarta. Akademia Pressindo. hal 288.
- Indrasti, N.S. dan R.R. Elia. 2004. Pengembangan Media Tumbuh Anggrek Dengan Menggunakan Kompos. Jurnal teknologi Industri Pertanian, 14: 40-50.
- Indriyanto. 2012. Ekologi Kehutanan. Bumi Aksara. Jakarta. 153-155.
- Jayanthi, S. dan Z. Arico. 2017. Laju Dekomposisi Serasah Hutan Taman Nasional Gunung Leuser Resort Tenggulun. Langsa-Aceh. Prosiding Seminar Nasional MIPA III Universitas Samudra.
- Karyati dan S. Ardianto. 2016. Dinamika suhu tanah pada kedalaman berbeda di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Jurnal Riset Kaltim. Vol. 4(1): 1-12.
- Kusuma, M. A. 2012. Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Laju Dekomposisi Kompos Sampah Organik di Kota Depok. (Tesis). Depok. Fakultas Teknik Program Studi Teknik.
- Lakitan, B. 1997. Dasar-dasar Klimatologi. Jakarta. PT Raja Grafindo Persada.
- Lamid, M., T.P. Nugroho, S. Chusniati, dan K. Rochiman. 2011. Eksplorasi Bakteri Selulolitik Asal Cairan Rumen Sapi Potong sebagai Bahan Inokulum Limbah Pertanian. Jurnal Ilmiah Kedokteran Hewan. Vol. 4(1): 37-42.
- Mahmudi, M., K. Soewardi, C. Kusmana, H. Hardjomidjojo, dan A. Damar. 2008. Laju Dekomposisi Serasah Mangrove dan Kontribusinya terhadap Nutrien di Hutan Mangrove Reboisasi. Jurnal Penelitian Perikanan, II(1): 20.

- Monde, A., N. Sinukaban, K. Murtalaksono, dan N. Pandjaitan. 2008. Dinamika Karbon (C) Akibat Alih Guna Lahan Hutan Menjadi Lahan Pertanian. *J. Agroland* 15(1): 22–26
- Morissan. 2012. *Metodologi Penelitian Survei*. Prenada Media Group. Jakarta. hal. 32.
- Naby, S.K.M. 2000. Effect of Banana Compost as Organic Manure on Growth, Nutrients Status, Yield and Fruit Quality of Maghrabi Banana. *Assiut J. Agric. Sci. (EGY)*, 31, (3), p: 101-114.
- Nugraha, R., T Ardayanti, dan Suharjono. 2014. Eksplorasi Bakteri Selulolitik yang Berpotensi Sebagai Agen *Biofertilizer* dari Tanah Perkebunan Apel Kota Batu, Jawa Timur. *Jurnal Biotropika*. 2(3): 159-163
- Nurfitriani, S. dan E. Handayanto. 2017. Dekomposisi Kulit Kopi Oleh Bakteri Selulolitik Yang Diisolasi Dari Timbunan Kulit Kopi Di Perkebunan Kalibendo, Jawa Timur. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol. 4 (2): 503-514.
- Pamujiningtyas, D. C. 2009. Studi Kualitas Tanah Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan Di Wilayah Desa Ngadipiro Kecamatan Nguntoronadi, Wonogiri (skripsi). Surakarta. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret.
- Perdhana R.F. 2009. Pengaruh Pemanenan Kayu Dengan Sistem TPTI Terhadap Potensi Karbon Pada Vegetasi Hutan Gambut. [skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Prabowo, Y. dan R. Suharyadi. 2017. Pemanfaatan Citra Spot 6 untuk Analisis Dampak Vegetasi terhadap Struktur Vegetasi dalam Pemetaan Ruang Terbuka Struktur Vegetasi dalam Pemetaan Ruang Terbuka Hijau di Kecamatan Mertoyudan, Kabupaten Magelang. *Jurnal Bumi Indonesia*. Vol. 6 (4): 2-3.
- Purwoto, H. 2007. Studi Tentang Fluktuasi Suhu Tanah pada Kedalaman Berbeda di Areal Agroforestri dan Lahan Kritis. Samarinda. Fakultas Kehutanan. Universitas Mulawarman.
- Rao, N.S.S. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Edisi Kedua. Jakarta. Penerbit Universitas Indonesia Press. hal. 35: 226-249.
- Ratna, D. A. P., G. Samudro, dan S. Sumiyati. 2017. Pengaruh Kadar Air Terhadap Proses Pengomposan Sampah Organik dengan Metode Takakura. Vol. 6: 63-67.
- Rayadin, Y., J. Syamsudin, M. Ayatussurur, N. Qomari, H. Pradesta, A. Priahutama, dan R.O. Putri. 2016. *Pendugaan Biomassa dan Cadangan Karbon*. Samarinda. Kerjasama PT. Kideco Jaya Agung dan Ecositrop.

- Raza A.M. and Shafiq-Ur-Rehman. 2008. Production and characterization of endo- β -1,4-glukanase from thermophilic fungus. *J Biotechnol* 8: 3297-3302.
- Reanida, P.P., A. Supriyanto, dan Salamun. 2012. Eksplorasi Bakteri Selulolitik dari Tanah Mangrove Wonorejo Surabaya. Skripsi. Departemen Biologi Fakultas Sains dan Teknologi. Surabaya. Universitas Airlangga.
- Rindyastuti, Ridesti dan A. S. Darmayanti. 2010. Komposisi kimia dan estimasi proses dekomposisi serasah 3 spesies familia Fabaceae di Kebun Raya Purwodadi. Seminar Nasional Biologi. Yogyakarta. Universitas Gadjamada.
- Salah, Y. M. S. and M. C. Scholes. 2011. Effect of temperature and litter quality on decomposition rate of *Pinus Patula* needle litter. In *Procedia Environmental Science*. pp. 180–193.
- Salikin, K. 2003. Sistem Pertanian Berkelanjutan. Yogyakarta. Kanisius.
- Sanger, Y.J.Y., R. Rogi, dan J. A. Rombang. 2016. Pengaruh Tipe Tutupan Lahan Terhadap Iklim Mikro Di Kota Bitung. *Agri-Sosio Ekonomi Unsrat*. Vol. 12 (3A): 105 – 116.
- Sari. U. M., A. Agustien, dan Nurmiati. 2012. Penapisan dan Karakterisasi Bakteri Selulolitik Termofilik Sumber Air Panas Sungai Medang, Kerinci, Jambi. *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA.)* 1(2): 166-171.
- Sarpian, T. 2003. Pedoman Berkebun Lada dan Analisis Usaha Tani. Yogyakarta. kanisius. Hal. 43.
- Sarwono, J. 2006. Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Sembiring, S., T. Butarbutar, R.M.S. Harahap dan A. Purba. 2000. Perubahan Sifat-sifat Tanah Pada Tapak *Pinus merkusii* dan Hutan Alam Setelah Delapan Tahun Dikonversi Menjadi Tanaman *Eucalyptus urophylla* di Aek Nauli. Prosiding Seminar Hasil Penelitian. Parapat. Balai Penelitian Kehutanan Pematang Siantar.
- Shiddieq, D., S. Putu, dan Tohari. 2018. Aspek Dasar Agronomi Berkelanjutan. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press. hal. 34.
- Shimada, K., S. Karita, K. Sakka, and K. Ohmiya. 1994. Cellulase, Xylanase, and Their Genes from Bacteria. New York. Marcel Dekker Inc.
- Siahaan, A. F., R. Irawanto, R. Apriyono, dan K. A. Ilham. 2018. Sifat Tanah Lapisan Atas di Bawah Pengaruh Tegakan Vegetasi Berbeda di Kebun Raya Purwodadi. *Jurnal Tanah dan Iklim* vol 42 (2): 91-98.

- Sing, A. and K. Hayashi. 1995. Microbial Cellulase, Protein Architecture Molecular properties and Biosynthesis. *Journal Advantages Applied Microbial*, 40:11.
- Singleton, P. 1992. Introduction to Bacteria : for Student of Biology, Biotechnology and Medicine. Second edition. England. John Wiley and Sons Ltd. Chicester. pp. 69-172.
- Suin, N.M. 2012. Ekologi Hewan Tanah. Jakarta. Bumi Aksara.
- Sukaryorini, P., A. M. Fuad dan S. Santoso. 2016. Pengaruh Macam Bahan Organik Terhadap Ketersediaan Amonium (NH_4^+), C-Organik dan Populasi Mikroorganisme Pada Tanah Entisol. *Plumula Vol. 5 (2): 99-106*
- Sulistiawati, Mustoyo, E. Budhisurya, R.C.W. Anggono, B.H. Simanjuntak. 2013. Analisis Kesuburan Tanah dengan Indikator Mikroorganisme Tanah pada Berbagai Sistem Tutupan lahan di Plateau Dieng. *AGRIC Vol. 25 (1): 67-72*
- Sumarsih, S., 2003. Mikrobiologi Dasar. Universitas Pembangunan Nasional Veteran. Yogyakarta.
- Sutiknowati, L.I. 2010. Kelimpahan Bakteri Fosfat di Padang Lamun Teluk Banten. *Oceanologi dan Limnologi di Indonesia. 36 (1): 31.*
- Wiharto, M. 2011. Produktivitas Vegetasi Hutan Hujan Tropis. (http://naturehealthy.webs.com/produktivitas_hht.pdf). diakses tanggal 22 Juli 2019
- Wijayanti, R. dan B. Prasetya. 2018. Pengaruh Pemberian Urea Terhadap Laju Dekomposisi Serasah Tebu Di Pusat Penelitian Gula Jengkol, Kabupaten Kediri. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan Vol 5 (1): 793-799.*
- Winding A, K. Hund-Rinke, and M. Rutgers. 2005. The Use of Microorganisms in Ecological Soil Classification and Assessment Concepts. *Ecotox Environment safety 62: 230-248*
- Wiyono, B. dan A. H. Lukman. 1989. Analisis Kimia Daun Pinus dan Pemanfaatannya. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Vol. 6 (2): 125-128.*