

Isolasi dan Karakteristik Bakteri Metanotrof pada Hutan Alam (Tahura) dan Agroforestri di Kota Batu, Jawa Timur
(Isolation and Characteristics of Methanotrophic Bacteria in Natural Forest (Tahura) and Agroforestry at Batu City District, East Java)

Nugroho Tri Waskitho, Ilham Fanani, Febri Arif Cahyo Wibowo*

Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian Peternakan,
Universitas Muhammadiyah Malang, Jawa Timur, Indonesia.
Jalan Raya Tlogomas No. 246 Tlogomas, Babatan, Tegalondo, Kec. Lowokwaru, kota Malang.
No Telp. (0341) 464318
*E-mail : febriarif14@umm.ac.id

Tanggal diterima: 29 Juni 2022; Tanggal disetujui: 14 Juni 2024; Tanggal direvisi: 16 Juni 2024

Abstract

Methanotroph bacteria are one of the microbes that can oxidize methane gas in the atmosphere. Methane is a gas produced by nature through various biological activities, including decomposition processes. Methanotroph bacteria are a group of bacteria that play an important role in reducing the greenhouse effect because of their role in utilize methane in the atmosphere as a source of nutrition. The study aimed to isolate and identify the types of methanotrophic bacteria in Raden Soerjo Cagar Botanical Forest Park (Tahura) and agroforestry (Pinus merkusii with coffee and ginger plants) in Bulukerto Village, Batu City, East Java. Methanotroph bacteria were isolated from natural forest and agroforest soil samples through a purification process. Bacterial isolation uses selective agar media, namely nitrate mineral salt (NMS). Bacterial results from NMS media are then isolated to Nutrient Agar (NA) media. Observation of bacterial species is carried out macroscopically, and biochemical properties are tested. Data analysis was carried out descriptively after the identifying of the genus of bacteria was found. The results showed that the population of methanotroph bacteria in the Tahura area had an average population of 4.4 times more than in the agroforestry area, namely in the Tahura forest as much as 197.92×10^8 per gram and in the agroforestry area 44.72×10^8 per gram. The types of bacteria found in the Tahura area were five types, namely Methylophilus sp., Methylophaga sp., Methylobacterium sp., Methylovorus sp., and Methylococcus sp. In contrast, in the agroforestry area, only three types were found: Methylophaga sp., Methylobacterium sp., and Methylobacillus sp.

Keywords: Bacteria, methanotrophs, emission, methane

Abstrak

Bakteri metanotrof merupakan salah satu mikroba yang dapat melakukan oksidasi gas metan di atmosfer. Metana adalah gas yang dihasilkan alam melalui berbagai aktivitas biologis, termasuk proses penguraian. Bakteri metanotrof merupakan kelompok bakteri yang berperan penting dalam mengurangi efek rumah kaca karena perannya dalam memanfaatkan metana di atmosfer sebagai sumber nutrisinya. Penelitian bertujuan memperoleh isolat dan mengidentifikasi jenis bakteri metanotrof di Taman Hutan Raya (Tahura) Raden Soerjo Cagar dan agroforestri (Pinus merkusii dengan tanaman kopi dan jahe) di Desa Bulukerto Kota Batu Jawa Timur. Isolasi bakteri metanotrof dilakukan dari sampel tanah dari hutan alam dan agroforestri melalui proses pemurnian. Isolasi bakteri menggunakan media agar selektif, yakni nitrat mineral salt (NMS), hasil bakteri dari media NMS selanjutnya diisolasi ke media Nutrient Agar (NA). Pengamatan spesies bakteri dilakukan secara makroskopis dan pengujian sifat biokimia. Analisis data dilakukan secara deskriptif setelah ditemukan hasil identifikasi genus bakteri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa populasi bakteri metanotrof di areal Tahura memiliki rata-rata populasi 4,4 kali lebih banyak daripada di areal agroforestri, yaitu di hutan Tahura sebanyak $197,92 \times 10^8$ per gram dan di areal agroforestri $44,72 \times 10^8$ per gram. Jenis bakteri yang ditemukan di areal Tahura sebanyak lima jenis, yaitu *Methylophilus sp.*, *Methylophaga sp.*, *Methylobacterium sp.*, *Methylovorus sp.*, dan *Methylococcus sp.*, sedangkan di areal agroforestri hanya ditemukan tiga jenis, yaitu *Methylophaga sp.*, *Methylobacterium sp.*, *Methylococcus sp.*, dan *Methylobacillus sp.*

Kata kunci: Bakteri, metanotrof, emission, metana

1. Pendahuluan

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) menjadi salah satu penyebab pemanasan global, sehingga diperlukan perluasan kawasan hutan untuk menyeimbangkan penyerapan GRK (Tambunan et al., 2008). GRK di atmosfer dapat menyebabkan ketidakseimbangan radiasi pada suhu bumi. GRK mampu menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang panjang yang sifatnya panas yang persis dilakukan oleh kaca. (GRK) terjadi secara alami melalui aktivitas (Arifin, 2019) yang disebabkan oleh karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrogen oksida (N₂O), dan klorofluoro karbon (CFC) di atmosfer. Gas-gas ini berasal dari bahan bakar fosil dari kegiatan industri maupun transportasi. Peningkatan gas yang menyebabkan pemanasan global mengakibatkan berubahnya iklim yang sangat ekstrim akibat menipisnya hutan dan berkurangnya tutupan hutan, sehingga terjadi ketidakseimbangan ekologi dan penyerapan gas ke atmosfer (Pratama, 2019).

Peningkatan pemanasan global perlu dilakukan pencegahan untuk menurunkan suhu bumi yang semakin ekstrim. Salah satu solusi yang bisa dilakukan adalah pemanfaatan bakteri metanotrof sebagai pengosidasi metan menjadi oksigen. Menurut (Kholifah et al., 2017), hutan memiliki banyak sekali manfaat bagi masyarakat secara langsung maupun tidak langsung. Seperti kawasan Taman Hutan Kanal Banjir Timur memiliki potensi biomassa sebesar 580,77 ton (Santoso et al., 2021).

Oleh karena itu, kelestarian hutan perlu didukung dengan kondisi tanah yang subur dengan tumbuhnya berbagai mikroba yang melimpah. Manfaat mikroba antara lain untuk kesehatan (*bio-health*), lingkungan (*bio-remediasi* dan *bio-plastik*), energi (*bio-energi*), dan tumbuhan sebagai pemicu pertumbuhan (Hidayat & Turjaman, 2020). Salah satu manfaat lingkungan yakni mikroba sebagai pengurangan gas emisi atau gas metana, seperti bakteri metanotrof. Bakteri metanotrof termasuk dalam jenis bakteri kemouatotrof, dimana bakteri ini dapat memproduksi makanannya sendiri dengan memanfaatkan energi kimia dalam bentuk gas metan yang merupakan salah satu sumber utama makanan dari metanotrof (Supriatin, 2018).

Kondisi lantai hutan yang kering dan sedikit lembab dapat meningkatkan produksi gas. Gas metana dapat diproduksi melimpah oleh bakteri metanogen karena dipengaruhi oleh kondisi tanah, kondisi tanaman dan kondisi iklim (Panjaitan et al., 2015). Peningkatan gas metana pada tanah kering juga dapat meningkatkan produktivitas dari metanotrof, karena metan merupakan sumber utama dari makanan metanotrof sehingga gas metana meningkat, maka metanotrof dapat maksimal dalam melakukan oksidasi metan menjadi oksigen. Gas metana yang dihasilkan oleh bakteri metanogen akan dioksidasi oleh bakteri metanotrof untuk pengendalian gas metan yang ada di dalam tanah, sehingga dapat memengaruhi difusi dan kondisi tanah (Ni & Groffman, 2018).

Berbagai tipe hutan seperti hutan alam dan monokultur yang didalamnya memiliki aktivitas bakteri. Hutan alam memiliki fungsi yang sangat vital dalam ekologi untuk menjaga keseimbangan suatu ekosistem dimana hutan alam dapat menjaga iklim di dalam kawasan hutan maupun di luar hutan (Samsuudin et al., 2009). Dampak dari agroforestri terhadap perubahan iklim, dimana konsentrasi gas di atmosfer yang dapat meningkatkan suhu, sehingga hal tersebut akan memengaruhi tanaman dalam proses fisiologis (Budiasuti, 2020). Selain pengaruh suhu, terdapat aktivitas bakteri di tanah, yakni bakteri metanotrof. Kehadiran bakteri metanotrof yang ada di daerah rhizosfer memiliki sumber makan utama untuk mereduksi gas metan yang dihasilkan bakteri metanogen (Samsuudin et al., 2009). Keberadaan gas metana banyak diteliti terutama di area sawah berdasarkan aktivitas enzim methan monooksigenase yang mampu memecah metana. Kehadiran bakteri metanotrof di daerah rhizosfer memiliki sumber makan utama bagi bakteri metanotrof untuk mereduksi gas metan yang dihasilkan bakteri metanogen (Nonci et al., 2015). Oleh karena itu, perlu diketahui sejauhmana kelimpahan bakteri metanotrof di hutan alam dan agroforestri.

Emisi gas pada atmosfer perlu pencegahan, salah satunya dengan memanfaatkan metanotrof untuk mengurangi emisi gas. Penelitian ini fokus pada bakteri untuk mengetahui genus atau spesies dari metanotrof yang hidup di hutan alam dan agroforestri. Penelitian bertujuan

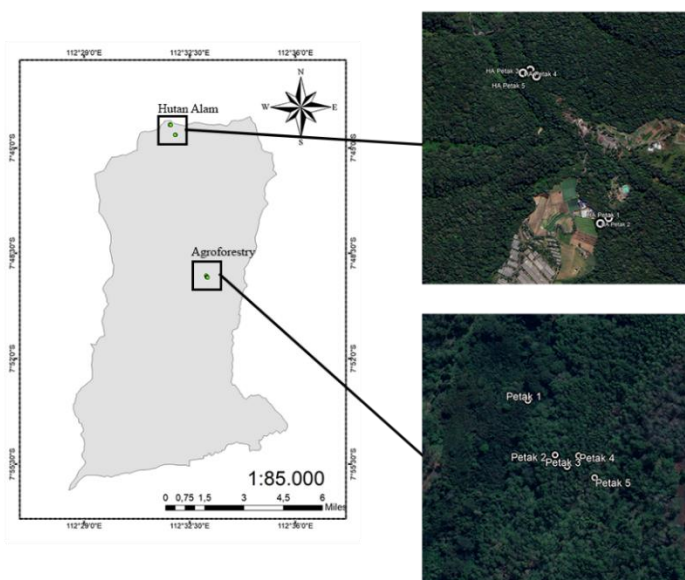
memperoleh isolat dan mengidentifikasi jenis bakteri metanotrof di hutan alam Tahura Raden Soerjo Cangar dan agoroforstri di Desa Bulukerto, Kabupaten Kota Batu, Jawa Timur.

2. Metodologi

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari sampai Februari 2022. Pengambilan sampel tanah dan faktor abiotik dilaksanakan di hutan alam Tahura Raden Soerjo Cangar di koordinat 112°32'1,54"

BT; 7°44'34,16" LS. Jenis vegetasi yang mendominasi adalah anggurung (*Trema orientalis*), kukrup (*Engelhardia spicata*) dan pasang putih (*Litocarpus sundaicus*), serta areal agroforestri antara tanaman kehutanan jenis Pinus merkusii umur 25-30 tahun dengan tanaman pertanian jenis kopi dan jahe di Desa Bulukerto, Kabupaten Kota Batu, Jawa Timur pada koordinat 112°33'2,40" BT dan 7°49'14,88" LS. Pengujian sampel tanah dilaksanakan di Laboratorium Kehutanan Universitas Muhammadiyah Malang.



Gambar (Fig.) 1. Peta hutan alam dan agroforestri (*Map of natural forest and agroforestry*)

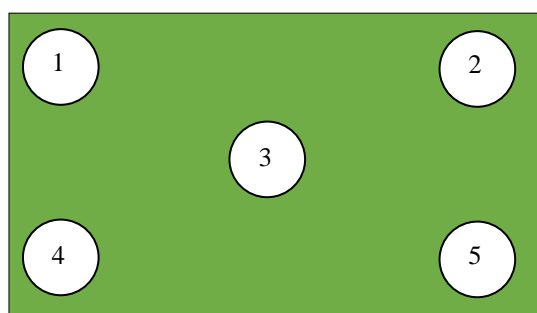
2.2. Metode

2.2.1. Tahapan Pelaksanaan

2.2.1.1. Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel ditentukan dengan metode *purposive random sampling* (Sofiana et al., 2016). Pengamatan dilakukan di areal hutan alam dan areal agroforestri masing-masing seluas 1 ha menggunakan metode diagonal. Penggunaan metode diagonal diharapkan dapat mewakili setiap sampel yang diambil

(Al-Musyafa et al., 2016). Plot dibuat sebanyak 5 plot dengan ukuran plot 20 m x 20 m. Setiap plot dilakukan pengambilan sampel tanah sebanyak 5 lubang dengan kedalaman 15 cm berbentuk diagonal (Gambar 2). Sampel tanah dari 5 lubang setiap plot dikomposit untuk diambil 200 gram dimasukkan ke dalam plastik klip untuk dianalisis di laboratorium (Widyati et al., 2010).



Keterangan (*Remarks*):



: Titik pengambilan sampel (*Sampling point*)



: Lokasi sampel (*Sampling location*)

Gambar (Fig.) 2. Pengambilan sampel tanah (*Soil sampling*)

2.2.1.2. Isolasi dan Pemurnian Bakteri Metanotrof

Isolasi bakteri dilakukan dengan melakukan pengenceran pada sampel tanah sebanyak 1 gram untuk sampel tanah pada Tahura dan agroforestri, kemudian dilakukan pengenceran berseri, yaitu 10^{-1} sampai 10^{-8} . Tabung reaksi 10^{-1} berisikan 10 ml aquades steril, sedangkan 10^{-2} sampai 10^{-8} berisikan 9 ml aquades steril. Setiap sampel yang diisolasi ditanam ke cawan petri sebanyak 5 kali pengulangan. Media yang digunakan untuk melakukan penanaman bakteri *Metanotrof*, yaitu media NMS (*Nitrate Mineral Salt*) dengan Komposisi media NMS antara lain 1,3 g/l NaO_3 ; 0,13 g/l MgSO_4 ; 0,65 g/l $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,286 g/l KH_2PO_4 ; 0,0507 g/l $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 2,6 mg/l $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1,3 ml/l *trace metal solution*; dan pure agar 20 g per 1 liter aquades, sedangkan untuk komposisi *trace metal solution* antara lain 500 mg/l EDTA; 200 mg/l $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 10 mg/l $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 20 mg/l $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 30 mg/l H_3BO_3 ; 20 mg/l $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 1 mg/l $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2 mg/l $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 3 g/l $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Noci et al., 2015). Koloni diinkubasi selama 10 sampai 14 hari pada suhu ruang dan dihindarkan dari terpapar cahaya secara langsung. Pemurnian dilakukan dengan menggunakan media NA (*nutrient agar*). Pengambilan koloni menggunakan jarum *ose* lalu digoreskan ke dalam cawan petri dengan menggunakan metode goresan T, lalu diinkubasi selama masa tumbuh kurang lebih selama 3 hari. Metode perhitungan koloni menggunakan metode *Total Plat Count* (TPC) dengan cara perkalian jumlah bakteri pada cawan petri dengan satu per faktor pengenceran dengan satuan akhir cfu/gram (unit pembentukan koloni per gram).

2.2.1.3. Uji Biokimia

2.2.1.3.1. Uji Gram dengan KOH 3%

Pengujian gram yang dilakukan pada koloni bakteri metanotrof yang sudah dimurnikan menggunakan KOH 3% untuk mengetahui bakteri tersebut termasuk dalam kelompok gram positif atau gram negatif (Amaria & Kasim, 2019). Pengujian menggunakan metode KOH 3%, dimana bakteri gram positif (+) memiliki dinding sel tebal dan lemak tipis, dibandingkan dengan gram negatif (-) memiliki lemak tebal dan dinding sel tipis yang berada di

ruang perplasma. Larutan KOH akan menyerang lemak (*bilayer liquid*) dan mengakibatkan dinding sel gram negatif (-) pecah (Hardiansyah et al., 2020). Pengujian dilakukan dengan mengambil 1 *ose* sampel biakan metanotrof yang ditaruh di atas gelas preparat diberi 1 tetes KOH dengan konsentrasi sebesar 3%, lalu diamati terdapat lendir atau tidak. Bila terdapat lendir, maka bakteri tersebut dalam kelompok gram negatif dan sebaliknya bila tidak ada lendir termasuk gram positif.

2.2.1.3.2. Uji Katalase dengan H_2O_2 3%

Pengujian katalase digunakan untuk menentukan sebuah koloni dari bakteri asam laktat (BAL) dengan hasil ujinya yang didapatkan tidak ada gelembung yang terbentuk, maka hasilnya katalase negatif yaitu merupakan genus *Streptococcus* sp. Jika terbentuk gelembung maka hasilnya berupa katalase positif yang merupakan genus *Staphylococcus* sp. Menurut (Ambarawati et al., 2020). Hal tersebut terjadi diakibatkan bakteri asam laktat tidak dapat memproduksi enzim katalase untuk mengubah hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen. Katalase ini juga mengukur kemampuan bakteri asam laktat yang dapat hidup hanya memanfaatkan oksigen yang sedikit (Hayati et al., 2019). Menurut Pulungan & Tumangger (2018), H_2O_2 digunakan untuk mengetahui koloni bakteri yang memiliki enzim katalase atau tidak. Enzim katalase digunakan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi atau menguraikan *hidrogen peroksida* (H_2O_2) menjadi air (H_2O) dan oksigen (O_2). Pengujian katalase menggunakan larutan H_2O_2 3%. Isolat bakteri metanotrof diletakkan di atas kaca preparat tersebut untuk selanjutnya diberikan larutan H_2O_2 3% dan dihomogenkan dengan menggunakan jarum *ose*. Jika terdapat gelembung sebagai penanda bahwa bakteri metanotrof tersebut positif menghasilkan enzim katalase.

2.2.2. Analisis Data

Data yang didapat dianalisis dengan metode kualitatif dimana data yang diperoleh menggunakan analisis deskriptif dari pengujian sampel tanah di dua kondisi hutan (hutan alam dan agroforestri) digunakan untuk menganalisis data hasil pengamatan uji makroskopis (warna, bentuk, elevasi, topografi, sifat optik

koloni) serta data hasil uji biokimia (uji gram dan uji katalase). Hasil uji makroskopis dan uji biokimia kemudian diidentifikasi guna mengetahui genus yang didapat dan menjelaskan fungsi dari metanotrof dengan panduan buku dari Bergey & Holt (1994).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

3.1.1. Koloni Bakteri di Hutan Alam dan Agroforestri

Berdasarkan hasil perhitungan koloni bakteri pada hutan alam dan agroforestri menunjukkan bahwa rata-rata koloni di hutan alam sebanyak $197,92 \times 10^8$ cfu per gram, sedangkan pada areal agroforestri sebanyak $44,72 \times 10^8$ cfu per gram (Tabel 1).

Tabel (Table) 1. Kerapatan bakteri pada kawasan hutan alam dan agroforestri (*Bacterial density in natural forest and agroforestry area*)

Kondisi hutan (<i>Forest condition</i>)	Rata-rata bakteri (10^8 cfu per gram \pm sd)
a. Hutan alam (<i>Natural forest</i>)	197,92 \pm 59,21
b. Agroforestri (<i>Agroforestry</i>)	44,72 \pm 27,12

Keterangan (*Remark*): sd = standar deviasi (*deviation standard*)

3.1.2. Identifikasi Genus Metanotrof

Berdasarkan hasil identifikasi bakteri metanotrof yang diambil di lokasi hutan alam dan agroforestri dengan menggunakan data hasil uji makroskopis, uji biokimia dan dipandu dengan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 9th edition* didapatkan hasil genus metanotrof serta kenampakan isolat disajikan pada Table 2 dan Tabel 3.

3.1.2.1. Hutan Alam

Hasil identifikasi pada kawasan hutan alam didapatkan genus antara lain *Methylophilus* sp, *Methylophaga* sp, *Methylobacterium* sp, *Methylovorus* sp, dan

Methylococcus sp (Tabel 2). Sampel yang sudah dilakukan pemurnian didapatkan hasil berwarna putih dan kuning, berbentuk bulat (*Circular*) dan tepi tidak beraturan (*irregular*), rata-rata berukuran medium 2-5 mm, elevasi datar, topografi licin, dan 3 sifat optik, yaitu kuning keruh (*opalescent*), gelap tidak tembus cahaya (*opaque*) dan jernih tembus cahaya (*translucent*). Bakteri yang dimurnikan lalu dilakukan uji biokimia yang meliputi uji KOH 3% dan uji katalase pada sampel tanah hutan alam didapatkan hasil semua isolat berlendir (gram negatif) dan berglembung (katalase positif).

Tabel (Table) 2. Bakteri metanotrof di kawasan hutan alam (*Methanotrophic bacteria in natural forest area*)

Ciri-ciri (<i>Characteristics</i>)	<i>Methylophilus</i>	<i>Methylophaga</i>	<i>Methylobacterium</i>	<i>Methylovorus</i>	<i>Methylococcus</i>	<i>Methylobacillus</i>
a. Gram	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif
b. Katalase (<i>Catalase</i>)	Positif	Positif	Positif	Positif	Positif	Positif
c. Warna (<i>Color</i>)	Putih	Cream	Kuning/orange	Putih	Kuning kecoklatan	Putih
d. Bentuk (<i>Form</i>)	Lonjong	Bundar	Bundar	Bundar	Bundar	Bundar
e. Elevasi (<i>Elevation</i>)	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>
f. Topografi (<i>Topography</i>)	Licin	Licin	Licin	Licin	Licin	Licin
g. Sifat optik (<i>Optical properties</i>)	<i>Opalescent</i>	<i>Opaque</i>	<i>Opaque</i>	<i>Translucent</i>	<i>Translucent</i>	<i>Translucent</i>

3.1.2.2. Agroforestri

Hasil identifikasi pada areal agroforestri didapatkan genus antara lain *Methylophaga* sp, *Methylobacillus* sp, dan *Methylobacterium* sp (Tabel 3).





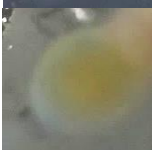
Tabel (Table) 3. Bakteri metanotrof di areal agroforestri (*Methanotrophic bacteria in agroforestry area*)

Ciri-ciri (<i>Characteristics</i>)	<i>Methylophaga</i>	<i>Methylobacteriu m</i>	<i>Methylobacilu s</i>
a. Gram	Negatif	Negatif	Negatif
b. Katalase (<i>Catalase</i>)	Positif	Positif	Positif
c. Warna (<i>Color</i>)	Cream	Kuning/jingga	Putih
d. Bentuk (<i>Form</i>)	Bundar	Bundar	Bundar
e. Elevasi (<i>Elevation</i>)	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>
f. Topografi (<i>Topography</i>)	Licin	Licin	Licin
g. Sifat optik (<i>Optical properties</i>)	<i>Opaque</i>	<i>Opaque</i>	<i>Translucent</i>

Sampel yang sudah dilakukan pemurnian didapatkan 11 isolat dengan hasil warna putih dan kuning, bentuk bulat (*circular*), rata-rata berukuran medium 2-5 mm, elevasi flat, topografi licin, dan 3 sifat

optik yaitu, kuning keruh (*opalescent*), gelap tidak tembus cahaya (*opaque*) dan jernih tembus cahaya (*translucent*).

Tabel (Table) 4. Bakteri metanotrof yang ditemukan di hutan alam dan agroforestri (*Methanotrophic bacteria found in natural and agroforestry area*)

No.	Genus	Kenampakan isolat (<i>Appearance of isolate</i>)
1.	<i>Methylophilus</i> sp.	
2.	<i>Methylophaga</i> sp.	
3.	<i>Methylobacterium</i> sp	
4.	<i>Methylovorus</i> sp	
5.	<i>Methylococcus</i> sp	

3.2. Pembahasan

Isolasi bakteri yang sudah dilakukan dari sampel tanah hutan alam dan agroforestri didapatkan rata-rata populasi di hutan alam 4,4 kali di areal agroforestri. Perbandingan kondisi bahan organik yang berbeda dapat memberikan pengaruh pada

hutan alam dan areal agroforestri untuk kehidupan bakteri (Qifli et al., 2014), Peranan bahan organik yang ditunjukkan untuk memperbaiki sifat fisik tanah dalam perbaikan struktur tanah atau pun dalam perubahan proporsi penyusun dari tekstur tanah. Sumber bahan organik yang berbeda dapat memengaruhi nilai dari rasio C/N

serta komposisi bahan organik (Akbar et al., 2019). Menurut Wihardjaka (2015), penambahan bahan organik segar yang sudah dikomposkan dapat meningkatkan fluks metan pada tanah. Umumnya bahan organik segar tersebut mengandung nisbah C/N yang dapat mengakibatkan terjadinya penguraian secara anaerobik dan meningkatkan hasil metana yang tinggi.

Hutan alam memiliki bahan organik sendiri dari hasil dekomposisi secara alami antara seresah dengan mikroorganisme pengurai, sehingga struktur unsur hara tetap terjaga. Dekomposisi secara alami tersebut mengurangi terjadinya peningkatan fluks gas secara berlebihan. Selain itu, bahan organik dapat meningkatkan kondisi sifat fisik, kimia dan biologi tanah agar tetap terjaga secara terstruktur alami. Adanya alelopati dari tegakan *P. merkusii* juga dapat memengaruhi pertumbuhan mikroorganisme salah satunya metanotrof. Alelopati merupakan senyawa toksik yang dihasilkan organ *P. merkusii*, sehingga dapat menghambat perkembangan dan pertumbuhan mikroorganisme yang tumbuh di sekitarnya (Kristiana, 2019). Hutamy (2018) juga menjelaskan bahwa zat metabolik yang dihasilkan *P. merkusii* memiliki sifat alelopati yang berpengaruh terhadap populasi bakteri metanotrof. Ini yang menyebabkan jumlah koloni dan jenis yang ditemukan di hutan alam lebih banyak dibandingkan dengan areal agroforestri.

Pengamatan elevasi dan topografi pada bakteri di cawan petri memiliki karakter yang sama, dimana elevasinya flat, setiap koloni bakteri memiliki ketinggian yang sama dengan media tumbuhnya, topografi licin yang menandakan permukaan dari koloni bakteri mengkilap (Rahadi et al., 2020). Secara sifat optik bakteri yang telah diamati dengan cahaya didapatkan berbagai ciri, antara lain tidak tembus cahaya (*opaque*), berbias/mengeluarkan bias cahaya (*opalescent*), bening/tembus pandang (*Transparent*), dan tembus cahaya sebagian (*transcluent*). Hal ini dikarenakan kemampuan koloni dalam menyerap cahaya ada atau tidaknya aktivitas kitinolitik yang terbentuk atau tidaknya sebuah zona bening yang terdapat di sekitar koloni bakteri (Prasetya et al., 2018). Berdasarkan hasil penentuan karakteristik secara makroskopis koloni bakteri memiliki karakter yang hampir mirip satu sama lain, namun ditemukan juga

berbedaan. Perbedaan tersebut dapat dilakukan pengujian lanjutan biokimia agar memudahkan dalam mengidentifikasi setiap koloni bakteri.

Katalase yang didapat semuanya termasuk katalase positif, dimana koloni mampu mengoksidasi *hidrogen peroksida* (H_2O_2) menjadi air (H_2O) dan oksigen (O_2) dengan sempurna. Sesuai pendapat dAnggraini et al. (2016) bahwa senyawa *hidrogen peroksida* tersebut dihasilkan oleh bakteri saat mengoksidasi metan menjadi energi yang senyawa tersebut muncul diakhir saat bereaksi dengan oksigen. Jika bakteri yang tidak dapat menguraikan *hidrogen peroksida* dapat menyebabkan koloni tersebut mati.

Jumlah genus yang ditemukan di hutan alam lebih banyak daripada di areal agroforestri. Hal ini disebabkan areal hutan alam telah mendukung kehidupan bakteri metanotrof dengan banyak vegetasi yang menutupi lantai hutan sebagai area hidup yang sangat bagus bagi metanotrof, dan kondisinya yang lembab atau basah yang disukai oleh bakteri metanotrof. Namun, areal agroforestri ditumbuhi satu jenis pohon *P. merkusii* yang tumpang-sarikan dengan tanaman kopi dan jahe, dimana tanaman *P. merkusii* bersifat alelopati, sehingga jumlah genus yang ditemukan lebih sedikit. Irfan (2014), menyatakan bahwa bakteri atau mikroorganisme memiliki peran yang sangat penting terhadap kondisi dan kesuburan tanah, dengan banyaknya populasi bakteri pengurai, bahan organik, kondisi lahan yang lembab, dan kondisi ekologi yang sangat mendukung kehidupan serta pertumbuhan mikroorganismenya, maka tanah tersebut subur.

Karakteristik bakteri yang didapat terdapat juga yang hidup di sekitar area perakaran, seperti *Methylobacterium*. Salah satu spesies yang mampu mengoksidasi metan menjadi oksigen dengan menyerap metan yang dihasilkan oleh bakteri metanogen. Selain menyerap metan hasil dari metanogen spesies ini juga menyerap metan yang diemisikan oleh stomata karena spesies ini memiliki kemampuan PPFM (*Pink Pigmented Facultative Metylotroph*) dengan memanfaatkan senyawa karbon yang memiliki atom tunggal (Santoso, 2007). Lidstrom & Chistoserdova (2002) menjelaskan bahwa *Methylobacterium* menghasilkan *phytohormon* yang dapat menstimulasi perkecambahan dan

pertumbuhan tanaman. *Phytohormon* dihasilkan dari penggunaan metan yang dipancarkan stomata. *Methylococcus* mampu mengoksidasi metan yang memiliki kandungan hidrogen dengan memanfaatkan senyawa organik yang ada pada tanah (Lieven et al., 2018).

Methylophilus, *Methylovorus* dan *Methylophaga* termasuk bakteri terestrial yang sering hidup pada areal permukaan tanah terutama pada kondisi tanah yang lembab seperti pada kondisi lantai pada hutan alam yang rimbun penuh dengan vegetasi (Doronina et al., 2004). Ketiga genus tersebut memiliki fungsi utama sebagai pengoksidasi metan yang ada pada tanah dan membantu secara maksimal pengurangan metan.

Kemampuan metanotrof dalam mengoksidasi metan dapat dikombinasikan dengan teknik budidaya seperti agroforestri, dimana dapat lebih besar membantu mengurangi terjadinya emisi gas metan pada atmosfer (Supriatin, 2018b). *Methylobacillus* dan *Methylophaga* merupakan bakteri metanotrof yang mampu memanfaatkan senyawa satu karbon tereduksi sebagai sumber energi untuk pertumbuhan. Kedua genus ini sering dan banyak tumbuh pada kondisi tanah yang sedikit lembab sesuai dengan kondisi tanah di lahan agroforestri yang agak lembab, namun tidak kering, sehingga tanah masih cukup gembur dan subur (Chistoserdova et al., 2007). Secara genus yang didapat memberikan peran yang sangat penting dalam pengurangan emisi GRK yang semakin tinggi.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh koloni bakteri di kawasan hutan alam 4,4 kali lipat dari areal agroforestri (*P. merkusii* dengan tanaman kopi dan jahe). Spesies yang didapat di hutan alam Tahura Raden Soerjo Cangar ada 5 spesies, yaitu *Methylophilus* sp., *Methylophaga* sp., *Methylobacterium* sp., *Methylovorus* sp., dan *Methylococcus* sp., sedangkan di areal agroforestri hanya ditemukan tiga spesies, yaitu *Methylophaga* sp., *Methylobacterium* sp., dan *Methylobacillus* sp.

4.2. Saran

Perlu meningkatkan keragaman jenis vegetasi dalam satu hamparan lahan agar penyerapan gas metan oleh bakteri metanotrof lebih banyak.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Malang yang telah memberikan dana penelitian dalam bentuk skim PDK dan berbagai pihak *stakeholders* Tahura Raden Soerjo Cangar.

Daftar Pustaka

- Adi Wira Prasetya, I., Sri Rahayu, Y., & Trimulyono. (2018). Isolasi dan karakterisasi bakteri kitinolitik endofit bawang merah (*Allium ascalonicum*) serta potensinya dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum*. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 7(1).
- Akbar, A.N., Azizah, N., & Suminarti, N.E. (2019). Pengaruh sumber dan dosis bahan organik pada pertumbuhan dan hasil tanaman jagung (*Zea mays*) di lahan sawah. *Jurnal Produksi Tanaman*, 7(2), 225–233.
- Al-Musyafa, M.N., Afandi, A., & Novpriansyah, H. (2016). Kajian sifat fisik tanah pada lahan pertanaman nanas (*Ananas comosus* L.) produksi tinggi dan rendah di PT Great Giant Pineapple Lampung Tengah. *Jurnal Agrotek Tropika*, 4(1), 66–69. <https://doi.org/10.23960/jat.v4i1.1903>.
- Amanda, N.W., Artika, I.M., & Rusmana, I. (2020). Pemanfaatan bakteri sebagai pereduksi emisi gas metana pada limbah cair kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Current Biochemistry*, 4(2), 23–37. <https://doi.org/10.29244/cb.4.2.23-37>.
- Amaria, W., Kasim, N.N., & Munif.A. (2019). Kelimpahan populasi bakteri filosfer, rizosfer dan endofit tanaman kemiri sunan (*reutealis trisperma* sebagai agens biokontrol). *Journal TABARO*, 3(1), 305–317.
- Ambarawati, I.G.A.D., Sukrama, I.D.M., & Yasa, I.W.P.S. (2020). Deteksi gen Gtf-B *Streptococcus* mutans dalam plak dengan gigi karies pada siswa di SDN 29 Dangin Puri. *II(3)*, 1049–1055. <https://doi.org/10.15562/ism.v1i1i3.337>.

- Anggraini, R., Aliza, D., & Mellisa, S. (2016). Identifikasi bakteri aeromonas hydrophila dengan uji mikrobiologi pada ikan lele dumbo (*Clarias Gariepinus*) yang dibudidayakan di Kecamatan Baitussalam Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 1(2), 270–286.
- Arifin, M.Z. (2019). Prospekinovasi pengelolaan sampah sebagai strategi mitigasi pemanasan global di Kota Magelang. *Jendela Inovasi Daerah*, 2(2), 13–31.
- Bergey, D, Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J.T., & Williams, S.T. (1994). *Bergey's manual of determinative bacteriology* (D. Bergey & G. H. Jhon (eds.); ninth edit). Williams & Wilkins.
- Budiastuti, M.T.S. (2020). Agroforestri sebagai bentuk mitigasi perubahan iklim. Seminar Nasional Magister Agroteknologi Fakultas Pertanian UPN "Veteran" Jawa Timur, 2020, 23–29.
- Chistoserdova, L., Lapidus, A., Han, C., Goodwin, L., Saunders, L., Brettin, T., Tapia, R., Gilna, P., Lucas, S., Richardson, P.M., & Lidstrom, M.E. (2007). Genome of *Methylobacillus flagellatus*, molecular basis for obligate methylotrophy, and polyphyletic origin of methylotrophy. *Journal of Bacteriology*, 189(11), 4020–4027. <https://doi.org/10.1128/JB.00045-07>.
- Dajoh, T., Bara, R.A., Angkouw, E., Ompi, M., Lintang, R.A., & Lumenta, C. (2020). Uji aktivitas anti bakteri dan anti-UV *Phyllidiella nigra* dan bakteri simbiotiknya dari Perairan Tanjung Mandolang. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 8(2), 61. <https://doi.org/10.35800/jplt.8.2.2020.29768>.
- Doronina, N.V., Trotsenko, Y.A., Kolganova, T.V., Tourova, T.P., & Salkinoja-Salonen, M.S. (2004). *Methylobacillus pratensis* sp. nov., a novel non-pigmented, aerobic, obligately methylotrophic bacterium isolated from meadow grass. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(5), 1453–1457. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02956-0>.
- Fardiyanti, R. (2021). Ragam jenis streptomyces sp pada rizosfer tanaman suku Liliacea di kawasan Desa Sumber Bening. *Konservasi Hayati*, 17(1), 29–34. <https://doi.org/10.33369/hayati.v17i1.14731>.
- Hardiansyah, M.Y., Musa, Y., & Jaya, A.M. (2020a). Identifikasi plant growth promoting rhizobacteria pada rizosfer bambu duri dengan gram KOH 3%. *Agrotechnology Research Journal*, 4(1), 41–46. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v4i1.40875>.
- Hayati, L.N., Tyasningsih, W., Praja, R.N., Chusniati, S., Yunita, M.N., & Wibawati, P.A. (2019). Isolasi dan identifikasi *staphylococcus aureus* pada susu kambing peranakan etawah penderita mastitis sub klinis di Kelurahan Kalipuro, Banyuwangi. *Jurnal Medik Veteriner*, 2(2), 76. <https://doi.org/10.20473/jmv.vol2.iss2.2019.76-82>.
- Hidayat, A., & Turjaman, M. (2020). Manfaat besar di balik penampilan kecil. *Jurnal Penelitian Kehutanan Sumatrana*, 2(1), 27–39.
- Hutamy, H.B. (2018). Diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat pada berbagai penggunaan lahan di Ub Forest. In Skripsi. Fakultas Pertanian, Jurusan tanah. Universitas Brawijaya.
- Irfan, M. (2014). Isolasi dan enumerasi bakteri tanah gambut di perkebunan kelapa sawit PT. Tambang Hijau Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar. *Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 1–8.
- Kholifah, U.N., Wulandari, C., Santoso, T., & Kaskoyo, H. (2017). Kontribusi agroforestri terhadap pendapatan petani di Kelurahan Sumber Agung, Kecamatan Kemiling, Kota Bandar Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*, 5(3), 39. <https://doi.org/10.23960/jsl3539-47>.
- Kristiana, R. (2019). Review on the roles of alelochemicals in agriculture. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 12(1), 41–46.
- Lidstrom, M.E., & Chistoserdova, L. (2002). Plants in the pink: cytokinin production by methylotrophic bacterium. *Journal of Bacteriology*, 184(7), 1818. <https://doi.org/10.1128/JB.184.7.1818.2002>.

- Lieven, C., Petersen, L.A.H., Jørgensen, S.B., Gernaey, K.V., Herrgard, M.J., & Sonnenschein, N. (2018). A genome-scale metabolic model for *methylococcus capsulatus* (Bath) suggests reduced efficiency electron transfer to the particulate methane monooxygenase. *Frontiers in Microbiology*, 9(December), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02947>.
- Ni, X., & Groffman, P.M. (2018). Declines in methane uptake in forest soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(34), 8587–8590. <https://doi.org/10.1073/pnas.1807377115>.
- Nonci, M., Baharuddin, B., Rasyid, B., & Pirman, P. (2015). Seleksi bakteri methanotrof (pereduksi emisi gas metan di lahan sawah) berdasarkan aktivitas enzim methan monooksigenase. 13(2), 86–91.
- Panjaitan, E., Indradewa, D., Martono, E., & Sartohadi, J. (2015). Sebuah dilema pertanian organik terkait emisi metan. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 22(1), 66–72.
- Pratama, R. (2019). Efek rumah kaca terhadap bumi, tanaman, dan atmosfer. efek rumah kaca (*green house effect*), 3814 (*Green House Effect*), 120–126.
- Pulungan, A.S.S., & Tumangger, D.E. (2018). Isolasi dan karakterisasi bakteri endofit penghasil enzim katalase dari daun buah-buhas (*Premna Pubescens* Blume). *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan, Industri, Kesehatan)*, 5(1), 71. <https://doi.org/10.31289/biolink.v5i1.1665>.
- Qifli, Anita. Kismi. M., Hairiah, K., & Suprayogo, D. (2014). Strudi nitrifikasi tanah dengan penambahan seresah asal hutan alam dan agroforestri kopi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 1(2), 15–24.
- Rahadi, B., Susanawati, L.D., & Agustianingrum, R. (2020). Bioremediasi logam timbal (PB) menggunakan bakteri indigenous pada tanah tercemar air lindi (leachate) bioremediation of lead using indigenous bacteria isolated from leachete contaminated soil. 11–18.
- Samsuudin, I., Dharmawan, I.W.S., & Siregar, C.A. (2009). Carbon biomass potency of old growth forest and thirty year-old logged over Forest in Malinau Research Forest, East Kalimantan. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 6(1), 47–56.
- Santoso, I. (2007). Aplikasi bakteri *Methylobacterium* sp. terhadap pertumbuhan dan perakaran tunas gaharu (*Aquilaria malaccensis* Lamk) hasil In-vitro.
- Santoso, N., Sutopo, Pambudi, G.P., Danarta, V.F., Wibisono, R.A., Astuti, T.P., & Wicaksono, D.A. (2021). Pendugaan biomassa dan serapan karbon di beberapa areal Taman Hutan Kota Jakarta, Bekasi dan Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 18(1), 12–26.
- Sofiana, U.R., Sulardiono, B., & Nitisupardjo, M. (2016). Relationship between organic of sediment matter with infauna abundance. 5, 135–141.
- Supriatin, L.S. (2018a). Penentuan musim tanam, jenis varietas, dan teknik budi daya tanaman padi terkait mitigasi emisi metana (CH₄) (determination of early planting season, type varieties, and cultivation techniques of rice as mitigation to methane emission). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 24(1), 1. <https://doi.org/10.22146/jml.23077>.
- Surahmaida, S., & Nurhatika, S. (2018). Perhitungan angka lempeng total bakteri pada telur ayam ras. *STIGMA: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unipa*, 11(01), 33–36. <https://doi.org/10.36456/stigma.vol11.no01.a1506>.

- Tambunan, P., Wibowo, A., & Lisnawati, Y. (2008). Menyelamatkan bumi (control of development and conservation to save the earth). *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 3(5), 77–87.
- Wardhani, A.K., Uktolseja, J.L.A., & Djohan. (2020). Identifikasi morfologi dan pertumbuhan bakteri padapada cairan terfermentasi silase pakan ikan. Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek (SNPBS) Ke-V, p-ISSN: 2527-533X, 411–419.
- Widyati, E., Widyastuti, R., & Lantifasari, R. (2010). Sidik cepat biokatalisasi tambang pada lahan bekas tambang batu bara. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 7(1), 51–58.
- Wihardjaka, A. (2015). Mitigation of methane emission through lowland management. *Journal Litbang Pertanian*, 32(2), 95–104.