



## Identifikasi Bakteri Metanotrof pada Hutan Mangrove dan Hutan Produksi di Desa Tambakrejo Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang

Nugroho Tri Waskitho<sup>1</sup>, Joko Triwanto<sup>1</sup>, Anisa Faleri Hawa Nugrahini<sup>1</sup>, Tria Wahidiah<sup>1</sup>, Febri Arif Cahyo Wibowo<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian-Peternakan, Universitas Muhammadiyah Malang  
Jl Raya Tlogomas No. 246, Malang, Jawa Timur, Indonesia

<sup>a</sup>Email penulis pertama: [triwaskithon@yahoo.co.id](mailto:triwaskithon@yahoo.co.id), <sup>b</sup>email penulis kedua: [triwanto@umm.ac.id](mailto:triwanto@umm.ac.id),

<sup>c</sup>email penulis ketiga: [anisafaleri2017@gmail.com](mailto:anisafaleri2017@gmail.com), <sup>d</sup>email penulis keempat:

[wahidiahtria@gmail.com](mailto:wahidiahtria@gmail.com), \*corresponding author: [febriarif14@umm.ac.id](mailto:febriarif14@umm.ac.id)

Diterima: 4 Maret 2023; Disetujui: 15 Mei 2023; Diterbitkan: 16 Mei 2023

### Abstract

*Identification of Methanotrophic Bacteria in Mangrove Forests and Production Forests in Tambakrejo Village, Sumbermanjing Wetan District, Malang. Greenhouse Gas (GHG) balance has an impact on the earth's environment because it can reduce global warming and extreme climate change. CH<sub>4</sub> is a greenhouse gas that can cause an 80% increase in global warming potential over the last 20 years. Methanotrophic bacteria have monooxygenase enzymes which are used in the methane oxidation process. Bacteria that are active in aerobic conditions have an important role in the methane gas cycle and are a solution for reducing methane emissions in the air. The purpose of this study was to identify the isolate genus of methanotrophic bacteria and to analyze the macroscopic conditions and biochemical properties of methanotrophic bacteria in mangrove and production forest areas. The method of this research was to isolate methanotrophic bacteria from the five soil samples in the mangrove forest and production forest areas. Isolation of methanotrophic bacteria using NMS (Nitrate Mineral Salts) selective media. Growing bacterial colonies were observed macroscopically (color, shape, size, elevation, topography and optical properties), biochemical properties (gram test and catalase test), as well as data analysis using qualitative and quantitative descriptive methods. There was no fundamental difference in examining the macroscopic properties of the two areas (mangrove forest and production forest). There are 3 genera of methanotrophic bacteria in the mangrove forest area, namely Methylophaga, Methylobacterium, and Methylococcus. Meanwhile, in production forests there are 2 genera, namely Methylobacterium and Methyloovorus.*

**Keywords:** Mangroves and Production, Methanotrophs, NMS

### Inti Sari

Keseimbangan Gas Rumah Kaca (GRK) berdampak bagi lingkungan bumi karena dapat mengurangi pemanasan global dan perubahan iklim yang ekstrim. CH<sub>4</sub> merupakan gas rumah kaca yang dapat menyebabkan peningkatan potensi pemanasan global 80% selama 20 tahun terakhir. Bakteri metanotrof memiliki enzim monooksigenase yang digunakan dalam proses oksidasi metan. Bakteri yang aktif pada kondisi aerobik ini memiliki peran penting dalam siklus gas metan dan menjadi solusi untuk mengurangi emisi gas metan di udara.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi genus isolat bakteri metanotrof serta menganalisis keadaan makroskopis dan sifat biokimia bakteri metanotrof pada kawasan hutan mangrove dan hutan produksi. Metode penelitian ini yaitu melakukan isolasi bakteri metanotrof dari sampel tanah kelima petak di kawasan hutan mangrove dan hutan produksi. Isolasi bakteri metanotrof menggunakan media selektif NMS (Nitrate Mineral Salts). Koloni bakteri yang tumbuh diamati secara makroskopis berupa (Warna, bentuk, ukuran, elevasi, topografi dan sifat optiknya), sifat biokimia (uji gram dan uji katalase), serta analisis data dengan metode deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Pengujian sifat makroskopis pada kedua kawasan (hutan mangrove dan hutan produksi) tidak terdapat perbedaan mendasar. Genus Bakteri Metanotrof pada kawasan hutan mangrove ditemukan 3 genus yaitu *Methylophaga*, *Methylobacterium*, dan *Methylococcus*. Sedangkan pada hutan produksi terdapat 2 genus yaitu *Methylobacterium*, dan *Methylovorus*.

**Kata kunci:** Mangrove dan Produksi, Metanotrof, NMS

## 1. Pendahuluan

Isu pemanasan global atau sering dikenal dengan *global warming* dapat terjadi dikarenakan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Gas-gas rumah kaca ini terdapat di atmosfer yang dapat menyebabkan gelombang infamerah, dimana seharusnya dipantulkan oleh bumi namun tertahan dan dapat menyebabkan kenaikan suhu bumi. Gas rumah kaca (GRK) diantaranya yaitu karbondioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dan nitrogen-oksida (N<sub>2</sub>O) (Manofa, 2016). Saat mempertimbangkan perubahan iklim global, aspek kuncinya adalah pada strategi mitigasi untuk mengurangi gas rumah kaca di atmosfer (GRK), pada tahun 2018 untuk karbondioksida (CO<sub>2</sub>) kadarnya mencapai 407,8 ppm sedangkan untuk gas metana (CH<sub>4</sub>) sebanyak 1.869 ppm (WMO, 2019). Peningkatan gas rumah kaca di atmosfer (GRK) sebagian akibat dari aktivitas manusia berkontribusi secara substansial terhadap pemanasan global. Nitrous oksida (N<sub>2</sub>O) adalah komponen penting dari GRK dan merupakan zat dominan perusak ozon. Pada abad ke-18 konsentrasi atmosfer N<sub>2</sub>O meningkat dari 270 ppb ke level tertinggi baru pada tahun 2017 yaitu 329,9 ppb (Deng, 2019).

Sejak lama, gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), nitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) dan klorofluorokarbon (CFC) terus menerus terbentuk dan terfregmentasi melalui interaksi proses kimia dan biologis. Keseimbangan dari gas rumah kaca ini berdampak bagi lingkungan bumi karena dapat mengurangi pemanasan global dan perubahan iklim yang ekstrim. Emisi CH<sub>4</sub> telah diperhitungkan mulai dari lahan basah alami, sawah, peternakan, pembakaran biomassa, tempat pembuangan sampah, karbon permafost danau arktik dan fosil. Emisi yang diinduksi manusia dengan dalih urbanisasi industri menyebabkan peningkatan akumulasi metana atmosfer. CH<sub>4</sub> merupakan gas rumah kaca yang terkenal yang menyebabkan peningkatan dalam radiasi dengan potensi pemanasan global 80% selama 20 tahun terakhir. Bakteri Metanotrof dapat mengoksidasi dan dapat mengurangi emisi CH<sub>4</sub>, bakteri metanofik aerobik tersebut berkontribusi hingga 10-20% penghapusan global dari CH<sub>4</sub> (Meruvu *et all*, 2020).

Bakteri metanotrof termasuk salah satu jenis mikroba tanah yang dapat mengoksidasi senyawa gas metana. Bakteri metanotrof memiliki enzim monooksigenase yang digunakan dalam proses oksidasi metana. Bakteri yang aktif pada kondisi aerobik ini memiliki peran penting dalam siklus gas metana dan menjadi solusi untuk mengurangi emisi gas metana di udara (Hapsary, 2008). Mikroba yang terdapat dalam tanah merupakan kunci guna mendaur ulang karbon dan nitrogen. Bakteri merupakan organisme kecil yang bersel satu dan memiliki lebar sekitar 4/100.000 inci (1

mikro meter ( $\mu\text{m}$ ) berkisar dari 0,2 hingga 2  $\mu\text{m}$ ) dan agak lebih panjang (1 hingga 10  $\mu\text{m}$ ). Bakteri memiliki ukuran yang mirip dengan partikel tanah liat ( $<2 \mu\text{m}$ ) menjadi partikel tanah yang ber lumpur (2 hingga 50  $\mu\text{m}$ ). Bakteri tumbuh dan hidup pada lapisan tipis air yang berada di sekitar partikel tanah dan dekat akar di daerah yang disebut rizosfer. Ukuran bakteri yang kecil ini memungkinkan bakteri tumbuh dan beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan yang cepat dari pada mikroorganisme yang lebih besar dan lebih kompleks (Hoorman, 2011).

Penelitian ini dilakukan guna mengidentifikasi keanekaragaman dan kelimpahan jenis bakteri, pada kawasan hutan *mangrove* dan hutan produksi serta mengetahui bakteri metanotrof pada kawasan hutan *mangrove* dan hutan produksi pada Kawasan Desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai bakteri metanotrof yang berada pada Kawasan hutan mangrove dan hutan produksi.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi genus isolat bakteri metanotrof serta menganalisis keadaan makroskopis dan sifat biokimia bakteri metanotrof pada kawasan hutan mangrove dan hutan produksi.

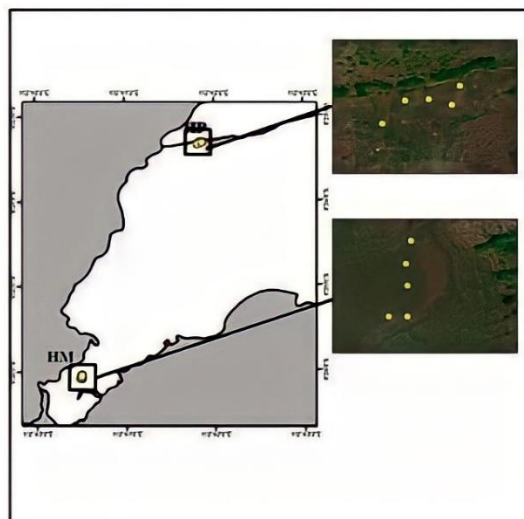
## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2021 sampai Januari 2022. Pengambilan sampel dilakukan pada kawasan hutan mangrove dan hutan produksi di desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang. Penelitian terkait bakteri metanotrof dilakukan di Laboratorium Kehutanan Universitas Muhammadiyah Malang .

### 2.2 Bahan dan Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah meteran, GPS, termometer tanah, soil meter, cetok, plastik clip, label, *box sterofoam*, bor tanah, kamera, buku catatan serta alat tulis menulis, dan alat laboratorium. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel berupa tanah yang diambil melalui sistem pengambilan sampel acak pada hutan *mangrove* dan hutan produksi di desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang.



Gambar 1. Peta Pengambilan Sampel Tanah  
(Figure 1. Soil Sampling Map)

### 2.3 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel tanah diambil melalui sistem pengambilan sampel acak. Titik pengambilan sampel dilakukan pada dua lokasi yaitu pada hutan mangrove dan hutan produksi. Dalam satu kawasan terdiri dari 5 plot, dimana 1 plotnya terdapat 5 lubang tanah yang memiliki kedalaman kurang lebih 30cm, sampel tanah yang diambil merupakan bagian *top soil* di setiap lubang 1 plot kemudian di dekompositkan dan di ambil sampelnya kurang lebih sebanyak 250gr. Sampel tanah kemudian di masukkan ke dalam *box sterofom* dan plastik clip, diusahakan tidak terkena udara dari luar (kondisi anaerob). Kemudian sampel tersebut dibawa ke Laboratorium Kehutanan Universitas Muhammadiyah Malang untuk perlakuan selanjutnya.

### 2.4 Isolasi dan Pemurnian Bakteri Metanotrof

Isolasi Bakteri Metanotrof dilakukan dengan melakukan pengenceran pada sampel tanah sebanyak 1 gram, kemudian dilakukan pengenceran berseri yaitu  $10^{-1}$  Sampai  $10^{-8}$ , dimana tabung reaksi  $10^{-1}$  berisikan 10 ml aquades steril sedangkan  $10^{-2}$  sampai  $10^{-8}$  berisikan 9 ml aquades steril. Setiap sampel yang diisolasi akan 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  $\text{NaO}_3$ ; 0,13 g/l  $\text{MgSO}_4$ ; 0,65 g/l  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,286 g/l  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 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 sedangkan untuk komposisi Trace Metal Solution antara lain 500 mg/l IEDTA; 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  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 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  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Media NA (*Natrient Agar*) sebanyak 20 gr/l. Media NMS (*Nitrate Mineral Salt*) kurang lebih berisikan 20 ml di setiap cawan petri dan dilakukan penanaman, hasil penanaman isolat perlu disimpan dalam suhu ruang selama kurang lebih 10 sampai 14 hari dengan dilakukan pengamatan berkala setiap harinya. Dilakukannya pengamatan diharapkan mengontrol kondisi cawan petri agar tetap steril hingga tumbuhnya koloni Metanotrof. Setiap harinya dilakukan penghitungan bila mana isolat melebihi 300 koloni berarti pengenceran terlalu rendah dan perlu dilakukan pengulangan dengan menaikkan 1 tingkat sampai koloni kurang dari 300.

### 2.5 Seleksi Isolat Bakteri Metanotrof berdasarkan reaksi Gram

Pengujian gram yang dilakukan pada isolate metanotrof yang telah dimurnikan dengan menggunakan KOH 3% untuk mengetahui isolate tersebut termasuk dalam kelompok gram positif atau gram negatif. Pengujian dilakukan dengan mengambil 1 ose sampel biakan metanotrof kemudian meletakkan di atas kaca preparat atau objek dan diberi 1 tetes KOH dengan konsentrasi sebesar 3%, kemudian diamati untuk melihat apakah terdapat lendir atau tidak. Bila terdapat lendir maka bakteri tersebut dalam kelompok gram negatif dan sebaliknya bila tidak ada lendir maka termasuk gram positif. Parameter pengamatan berdasarkan kategori jenis gram mikroorganisme dimana kategori bakteri gram negatif diperoleh apabila menghasilkan lendir (reaksi positif) dan kategori bakteri gram positif apabila tidak menghasilkan lendir (reaksi negatif) (Muhammad Yusril Hardiansyah, 2020).

### 2.6 Seleksi Isolat Bakteri Metanotrof Berdasarkan Pengujian Katalase

Uji katalase dilakukan dengan menguji koloni tunggal yang didapatkan hasil dari pemurnian dengan mengambil 1 ose sampel biakan *metanotrof* kemudian meletakkannya di atas kaca preparat atau objek dan diberi 1 tetes KOH dengan konsentrasi sebesar 3%, Pengamatan ini dengan melihat ada atau tidaknya gelembung yang dihasilkan. Hasil positif ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung udara dan hasil negatif tidak terbentuknya gelembung-gelembung udara (Guspi Wilda Sari Sianipar, 2020).

## 2.7 Analisis Data

Pengalisan dengan menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif, metode kualitatif dimana data yang dihasilkan menggunakan analisis deskriptif dari pengujian sampel tanah pada 2 kawasan hutan (Hutan mangrove dan Hutan Produksi) sebagai analisis data pengamatan makroskopis (warna, bentuk, elevasi, topografi, sifat optik koloni) serta data hasil dari uji biokimia (Uji Gram dan Uji Katalase) untuk mengetahui perbedaan kelimpahan bakteri yang ada pada kedua kawasan hutan (Hutan mangrove dan Hutan Produksi). Metode kuantitatif dimana dihasilkan dari data kelembaban, pH, suhu pada tanah, dan perhitungan isolate pada kawasan hutan mangrove dan hutan produksi meliputi perhitungan isolate tertinggi, terendah, dan rata-rata.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### 3.1 Kelimpahan Bakteri Metanotrof pada Hutan mangrove dan Hutan produksi

Total koloni tertinggi terdapat pada kawasan hutan mangrove dengan total 300 terdapat pada 8 isolat yaitu HM S1 U2, HM S1 U4, HM S2 U1, HM S4 U2, HM S4 U3, HM S4 U5, HMS5 U1, HM S5 U2. Serta total koloni terendah dengan total 1 terdapat pada 5 isolat yaitu HM S2 U4, HM S3 U2, HM S4 U1, HM S5 U3, HM S5 U5. Rata-rata total koloni yaitu 194,24. Serta terdapat 3 isolat yang mengalami kontaminasi yaitu pada HM S2 U4, HM S3 U2, dan HM S5 U3. Pada Petridis dijumpai satu isolate bakteri yang mampu tumbuh, hal tersebut diduga bakteri memiliki daya regenerasi yang tinggi dan adaptif terhadap lingkungan tumbuh.

**Tabel 1.** Rata-rata Isolat pada Kawasan Hutan Mangrove  
(Table 1. Average Isolates in Mangrove Forest Areas)

No.	Kode Petridish	Rata-rata		
		Total Koloni	Koloni/ml	Koloni/ $\mu$ .l
1	HM S1	231,4	23.140.000.000	23.140.000
2	HM S2	201,6	20.160.000.000	20.160.000
3	HM S3	179,4	17.940.000.000	17.940.000
4	HM S4	238,2	23.820.000.000	23.820.000
5	HM S5	120,6	12.060.000.000	12.060.000

Pada kawasan hutan produksi total koloni tertinggi dengan total 300 terdapat 11 isolate yaitu pada isolate HP S1 U1, HP S1 U2, HP S1 U3, HP S1 U5, HP S2 U4, HP S2 U5, HP S3 U3, HP S4 U2, HP S4 U2, HP S4 U5, dan HP S5 U2. Serta total koloni terendah dengan total 168 terdapat pada isolate HP S1 U4. Sedangkan rata-rata total koloni yaitu 263,88.

**Tabel 2.** Rata-rata Isolat pada Hutan Produksi  
(Table 2. Average Isolates in Production Forest)

No.	Kode Petridish	Rata-rata		
		Total Koloni	Koloni/ml	Koloni/ $\mu$ l
1	HP S1	273,6	27.360.000.000	27.360.000
2	HP S2	251	25.100.000.000	25.100.000
3	HP S3	263	26.300.000.000	26.300.000
4	HP S4	282	28.200.000.000	28.200.000
5	HP S5	243,6	24.360.000.000	24.360.000

Berdasarkan hasil yang telah disajikan pada tabel diatas, total koloni memiliki nilai yang berbeda, terdapat jumlah koloni tertinggi ataupun terendah dikarenakan kawasan hutan mangrove terletak pada perbatasan antara sistem laut dan daratan, hal ini memungkinkan dimana dominasi jalur metanogen berbeda dari satu lokasi ke lokasi lainnya (Ulumuddin, 2019). Emisi gas metana dari sedimen mangrove dan perairan sangat bervariasi. Perbedaan dalam teknik pengukuran juga menjadi salah satu faktornya (Yavitt dkk, 1997). Temuan tentang serupa juga dikemukakan oleh Borges dan Abril (2011) yang menyatakan bahwa proses-proses tersebut tergantung pada suplai metana ke dalam sedimen, kehadiran oksigen dan akseptor elekton lainnya, serta kondisi lokal yaitu kelembaban, suhu dan pH.

Hasil penanaman bakteri metanotrof pada kawasan hutan mangrove maupun hutan produksi memiliki hasil penanaman yaitu  $\pm 300$  koloni bakteri dimana tingkat pengenceran sudah sesuai. Tingkat pertumbuhan koloni bakteri metanotrof pada kawasan hutan mangrove cenderung bertambah tidak secepat pada hutan produksi hal ini dapat terjadi karena jenis tanah pada kedua kawasan yang berbeda. Jumlah koloni pada masing-masing isolat memiliki jumlah yang berbeda. Terdapat jumlah koloni tertinggi ataupun terendah dikarenakan kawasan hutan produksi yang memiliki jenis tanah liat namun memiliki tekstur tanah yang berbeda. Tekstur tanah juga berpengaruh terhadap besarnya emisi gas metana yang keluar dari dalam tanah. Tingkat perkolasi yang tinggi pada tanah yang berlempung dan berpasir dapat menghambat proses reduksi dan pembentukan metana, serta banyaknya pencucian metana terlarut ke lapisan yang lebih dalam (Wang *et al.*, 1993). Pada tanah dengan kandungan liat tinggi dapat memberikan fluks metana rendah akibat metana terperangkap mengalami oksidasi sebelum terlepas ke atmosfer (Latifah, 2020).

### 3.2 Keanekaragaman Jenis Bakteri Metanotrof

Setelah dilakukan isolasi tahap selanjutnya yaitu pemunian pada koloni menggunakan media NA (*Nutrient Agar*). Secara umum media NA (*Nutrient Agar*) merupakan media untuk menumbuhkan kelompok bakteri. Pengujian makroskopis dilakukan dengan melihat secara detail meliputi warna, bentuk, ukuran, elevasi, topografi, dan sifat optic dari koloni sehingga dapat diketahui genusnya. Pada kawasan hutan *mangrove* hasil uji makroskopis terdapat 12 isolat. Dimana didapatkan hasil terdapat 3 warna yaitu cream, orange, dan kuning kecoklatan. Serta didapatkan bentuk bundar (round). Memiliki ukuran medium  $\pm 2$  mm-  $\pm 3$  mm. Elevasi didapatkan hasil flat (datar atau rata). Memiliki topografi yaitu licin. Dan memiliki 2 sifat optik yaitu translucent (dapat tembus cahaya sebagian), opaque (tidak dapat tembus cahaya).

**Tabel 3.** Uji Makroskopis dan Bio Kimia Koloni Bakteri Metanotrof pada Hutan Mangrove  
(Table 3. Macroscopic and Biochemical Tests for Methanotrophic Bacterial Colonies in Mangrove Forests)

Morfologi									
No.	Isolat	Warna	Bentuk	Ukuran (mm)	Elevasi	Topografi	Sifat Optik	Kelompok Gram	Reaksi Katalase
1	S1 U2 K1	Cream	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
2	S2 U1 K1	Cream	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
3	S2 U3 K1	Orange	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
4	S2 U5 K1	Cream	Round	± 3 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
5	S3 U4 K1	Kuning Kecoklatan	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
6	S3 U4 K2	Cream	Round	± 3 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
7	S3 U5 K1	Cream	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
8	S4 U2 K1	Cream	Round	± 3 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
9	S4 U3 K1	Cream	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
10	S5 U1 K1	Orange	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
11	S5 U1 K2	Cream	Round	± 3 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
12	S5 U2 K1	Cream	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif

Pada hutan produksi hasil uji makroskopis terdapat 17 isolat dimana isolat yang diperoleh tersebut memiliki perbedaan pada warnanya yaitu putih, dan kuning. Serta didapatkan bentuk bundar (round). Memiliki ukuran medium ±2 mm- ±3 mm. Elevasi didapatkan hasil flat (datar atau rata). Memiliki topografi yaitu licin. Dan memiliki 2 sifat optik yaitu translucent (dapat tembus cahaya sebagian), opaque (tidak dapat tembus cahaya). Dalam uji makroskopis ini tidak banyak perbedaan antara kawasan hutan mangrove dan hutan produksi, yang membedakan hanya pada warna.

**Tabel 4.** Hasil uji makroskopis dari bakteri metanotrof pada hutan produksi  
(Table 4. Macroscopic test results of methanotrophic bacteria in production forests)

Morfologi									
No.	Isolat	Warna	Bentuk	Ukuran (mm)	Elevasi	Topografi	Sifat Optik	Kelompok Gram	Reaksi Katalase
1	S1 U2 K1	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
2	S1 U2 K2	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
3	S1 U3 K1	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
4	S1 U5 K1	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
5	S1 U5 K2	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
6	S2 U3 K1	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
7	S2 U4 K1	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
8	S2 U5 K1	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
9	S2 U5 K2	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
10	S3 U3 K1	Putih	Round	± 3 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif
11	S3 U3 K2	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Translucent	Negatif	Positif

12	S3 U5 K1	Orange	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
13	S3 U5 K2	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Transclulent	Negatif	Positif
14	S4 U2 K1	Orange	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
15	S5 U1 K1	Orange	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Opaque	Negatif	Positif
16	S5 U2 K1	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Transclulent	Negatif	Positif
17	S5 U5 K1	Putih	Round	± 2 mm	Flat	Licin	Transclulent	Negatif	Positif

Metode pengujian gram dengan pengujian KOH 3% merupakan metode identifikasi bakteri dimana untuk menentukan jenis dominan bakteri yang aktif yang ditandai dengan adanya lendir. Apabila bakteri yang dicampurkan terlalu sedikit akan menimbulkan kesalahan dalam pengujian dan memungkinkan tidak bereaksi. Pengujian KOH 3% pada bakteri mengindikasikan bakteri gram (+) memiliki dinding sel yang tebal dan lemak yang tipis sedangkan gram (-) berlemak tebal dan berdinding sel tipis yang berada di ruang periplasma. KOH akan menyerang lemak (bilayer lipid) dan membuat sel gram (-) pecah. Sel yang pecah akan melepaskan materi genetik (DNA) yang merupakan substansi melimpah di dalam sel bakteri. Molekul DNA sangat panjang bersifat sticky strings (menyerupai lendir, getah atau dapat berarti lengket) yang memberikan hasil seperti lendir saat diangkat dengan jarum inoculum (Edwin, 2011).

Setelah dilakukan uji gram dengan KOH 3% pada sampel kawasan hutan mangrove maupun hutan produksi dimana keduanya memiliki hasil yang sama yaitu berlendir dan masuk kedalam kelompok gram negatif.

Pengujian katalase dilakukan dengan meneteskan 1-2 tetes H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3% pada kultur yang telah dilakukan proses penggoresan yang telah didiamkan kurang lebih 24 jam. Terdapat reaksi positif pada uji katalase yang ditunjukkan dengan bentuk gelembung- gelembung yang mana terdapat pembentukan gas oksigen (O<sub>2</sub>) hasil dari pemecahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oleh enzim katalase yang diproduksi oleh bakteri tersebut, apabila hasil reaksi uji katalase tidak terbentuk gelembung udara maka tidak terbentuk gas dalam kultur (Luhova *et al*, 2003). Hasil uji katalase pada kawasan hutan *mangrove* maupun hutan produksi pada kultur yang telah dilakukan proses penggoresan menghasilkan reaksi positif ditunjukkan dengan terdapat gelembung - gelembung gas oksigen (O<sub>2</sub>).

### 3.3 Identifikasi Genus Bakteri Metanotrof

Identifikasi bakteri metanotrof yang dilakukan berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, uji biokimia (uji gram dan uji katalase), dan berdasarkan studi literatur. Adapun hasil dari genus bakteri metanotrof disajikan pada tabel dibawah ini.



**Tabel 5.** Karakteristik Genus Bakteri metanotrof di Hutan mangrove  
(Table 5. Characteristics of the Genus of Methanotrophic Bacteria in Mangrove Forests)

ciri-ciri	Genus		
	<i>Methylophaga</i>	<i>Methylococcus</i>	<i>Methylobacterium</i>
Gram	Negatif	Negatif	Negatif
Katalase	Positif	Positif	Positif
Warna	Cream	Kuning Kecoklatan	Kuning/Orange
Bentuk	Bundar	Bundar	Bundar
Elevasi	Flat	Flat	Flat
Topografi	Licin	Licin	Licin
Sifat Optik	Opaque	Opaque	Opaque

Gambar


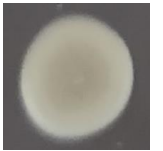


Berdasarkan hasil yang telah disajikan pada tabel diatas, dapat diketahui bahwa genus bakteri metanotrof yang ditemukan pada kawasan hutan mangrove yaitu, *Methylophaga*, *Methylococcus* dan *Methylobacterium*. Bakteri methylotrophic merupakan organisme yang memanfaatkan senyawa satu karbon seperti metana, methanol, atau amina sebagai satu-satunya sumber karbon dan energi (Anthony, 1982). Bakteri tersebut ditemukan di berbagai kawasan mangrove dan darat. Genus *Methylophaga* terdiri dari bakteri methylotrophic laut dan membentuk cabang yang berbeda dalam subkelas gamma dari proteobacteria (Janvier, 1995). *Methylophaga* memiliki peran penting dalam kawasan mangrove, dimana bakteri tersebut berpartisipasi dalam siklus biogeokimia substrat satu karbon yang mengandung nitrogen, belerang atau halogen (Zwart *et al.*, 1996). *Methylophaga* merupakan bakteri yang memiliki lemak tebal dan berdinding sel tipis dimana bakteri tersebut masuk kedalam kelompok gram negatif, dan terdapat pembentukan gas oksigen sehingga bakteri tersebut termasuk kedalam katalase positif. *Methylophaga* dapat ditemukan pada suhu optimal 4 °C hingga 42°C. Sedangkan pH optimum untuk pertumbuhan terjadi antara 6 hingga 11 (Frehel *et al.*, 1985). Pada kawasan hutan mangrove yang bertempat pada kawasan Clungup Mangrove Conservation Tiga Warna (CMC Tiga Warna) dimana didominasi dengan tumbuhnya tumbuhan mangrove memiliki suhu dengan rata-rata 28,2 °C yang termasuk kedalam kesesuaian suhu tumbuh bakteri, dan memiliki pH rata-rata 7 yang merupakan pH yang sesuai dengan pertumbuhan bakteri. *Methylococcus* merupakan genus yang hidup pada daerah tanah biasa ataupun keadaan tanah berlumpur. Termasuk kedalam kelompok gram negatif, karena memiliki lemak yang tebal dan berdinding sel tipis, serta memiliki katalase positif hal ini dapat terjadi dikarena ditemukan gelembung-gelembung yang membentuk oksigen. *Methylococcus* hidup pada suhu optimal yaitu 27°C hingga 45°C, dan memiliki pH optimal yaitu 6,2 hingga 7 (Awala *et al.*, 2020). Setelah diisolasi dari tempat asalnya, gram negative digunakan digunakan untuk mengoksidasi metana (Zahn dan Disprito, 1996). Pada kawasan hutan mangrove yang bertempat pada kawasan Clungup Mangrove Conservation Tiga Warna (CMC Tiga Warna) dimana didominasi dengan tumbuhnya tumbuhan mangrove memiliki suhu dengan rata-rata 28,2 °C yang termasuk kedalam kesesuaian suhu tumbuh bakteri, dan memiliki pH rata-rata 7 yang merupakan pH yang sesuai dengan pertumbuhan bakteri.

*Methylobacterium* spp atau juga disebut Pink Pigmented Facultative Methylotroph (PPFM) bakteri ini dapat ditemukan di tanah, permukaan daun, dan bagian lain tumbuhan. Bakteri ini dapat menstimulasi hasil penggunaan methanol yang dikeluarkan oleh tanaman melalui stomata. *Methylobacterium* termasuk kedalam

kelompok gram negative karena bakteri ini memiliki lemak yang tebal dan berinding sel tipis, serta termasuk kedalam katalase positif karena ditemukan pembentukan oksegen oleh bakteri tersebut. Genus *Methylobacterium* dapat ditemukan pada suhu optimal berkisar antara 20 °C hingga 30° C. Serta didukung pula pada pH optimum 6 hingga 7 (Lidstrom dan Chistoserdova, 2002). *Methylobacterium* dapat memanfaatkan senyawa satu karbon seperti methanol, sebagai satu-satunya sumber energi mereka (Yurimoko *et all*, 2021). *Methylobacterium* dapat mengoksidasi methanol oleh enzim methyl dehydrogenase (MDH) menjadi formaldehida (CH<sub>2</sub>O) *Methylobacterium* (Christoserdova *et all*, 2004). Pada kawasan hutan mangrove yang bertempat pada kawasan Clungup Mangrove Conservation Tiga Warna (CMC Tiga Warna) dimana didominasi dengan tumbuhnya tumbuhan mangrove memiliki suhu dengan rata-rata 28,2 yang termasuk kedalam kesesuaian suhu tumbuh bakteri, dan memiliki pH rata-rata 7 yang merupakan pH yang sesuai dengan pertumbuhan bakteri. Sedang pada kawasan hutan produksi KTH Bhakti Alam Lestari Desa Tambakrejo dengan dimonasi tumbuhnya tanaman jati, dimana memiliki suhu dengan rata-rata 28 °C dimana suhu tersebut termasuk dalam kesesuaian suhu tumbuh bakteri, dan memiliki pH rata-rata 7 yang merupakan pH yang sesuai dengan pertumbuhan bakteri.

**Tabel 6.** Karakteristik Genus Bakteri Metanotrof di Hutan Produksi  
(Table 6. Genus Characteristics of Methanotrophic Bacteria in Production Forest)

ciri-ciri	Genus	
	<i>Methylobacterium</i>	<i>Methylovorus</i>
Gram	Negatif	Negatif
Katalase	Positif	Positif
Warna	Kuning/Orange	Putih
Bentuk	Bundar	Bundar
Elevasi	Flat	Flat
Topografi	Licin	Licin
Sifat Optik	Opaque	Opaque
Gambar		

Berdasarkan hasil yang telah disajikan pada tabel diatas, dapat diketahui bahwa genus bakteri metanotrof yang ditemukan pada kawasan hutan produksi memiliki genus *Methylobacterium* dan *Methylovorus*. Genus *Methylovorus* dapat ditemukan di beberapa lingkungan alam termasuk pada lumpur, tanah (Dormina *et all*, 2005). *Methylovorus* tumbuh menggunakan glukosa, fruktosa, methanol, dan etanol sebagai satu - satunya sumber karbon. Memiliki lemak yang tebal dan berinding sel tipis, maka termasuk dalam kelompok gram negatif. Ditemukan gelembung-gelembung oksigen sehingga termasuk ke dalam katalase positif. *Methylovorus* tumbuh pada suhu optimal 20 hingga 37°C. Serta memiliki pH optimal untuk pertumbuhan 7 hingga 7,2 (Govorukhina dan Trotsenko, 1991). Pada kawasan hutan produksi KTH Bhakti Alam Lestari Desa Tambakrejo memiliki suhu dengan rata-rata 28 dimana suhu tersebut termasuk dalam kesesuaian suhu tumbuh bakteri, dan memiliki pH rata-rata 7 yang merupakan pH yang sesuai dengan pertumbuhan bakteri.

#### 4. Kesimpulan

Dalam uji makroskopis tidak banyak perbedaan antara kawasan hutan mangrove dan hutan produksi, yang membedakan hanya pada warna. Pada kawasan hutan mangrove terdapat 12 isolat terdapat 3 warna yaitu cream,

orange, dan kuning kecoklatan. Pada hutan produksi terdapat 17 isolat terdapat 2 warna yaitu putih, dan kuning. Serta didapatkan hasil bentuk isolate yang sama yaitu bundar (round). Memiliki ukuran bakteri yaitu medium  $\pm 2$  mm-  $\pm 3$  mm. Elevasi yang sama didapatkan hasil flat (datar atau rata). Memiliki topografi serupa yaitu licin. Dan memiliki 2 sifat optik yaitu translucent (dapat tembus cahaya sebagian), opaque (tidak dapat tembus cahaya). Pada sampel kawasan hutan mangrove maupun hutan produksi dimana keduanya memiliki hasil yang sama yaitu kelompok gram negative ditunjukkan dengan hasil sampel berlendir. Pada sampel kawasan hutan mangrove maupun hutan produksi dimana keduanya memiliki hasil yang sama yaitu menghasilkan reksi postif ditunjukkan dengan terdapat gelembung – gelembung gas oksigen (O<sub>2</sub>). Genus Bakteri Metanotrof pada kawasan hutan mangrove ditemukan 3 genus Bakteri Metanotrof yaitu *Methylophaga*, *Methylobacterium*, dan *Methylococcus*. Sedangkan pada hutan produksi terdapat 2 genus yaitu *Methylobacterium*, dan *Methylovorus*.

#### Daftar Pustaka

- Anthony, C. 1982. *The Biochemistry of Methylotrophs*. Academic Press. New York.
- Awala, S, I., Bellosillo, L, A., Gwak, J, H., Nguyen, N, L., Kim, S, J., Lee, B, H., dan Rhee, S, K. 2020. International journal of systematic and evolutionary microbiology: *Methylococcus geothermalis* sp. nov., a methanotroph isolated from a geothermal field in the Republic of Korea, 70: 5520- 5530.
- Balasubramanian, R., Enney, G, E., Rosenzweig, A, C. 2011. J Biol Chem: *Dual pathways for copper uptake by methanotropic bacteria*, 286 (43): 37313-37319.
- Bergey, D. H., dan Holt, J. G. (2000). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 9th edition. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia
- Borges, A, V., dan Abril, G. 2011. Carbon dioxide and methane dynamics in estuaries, in *Treatise on Estuarine and Coastal Science. Volume 5: Biogeochemistry*, eds E. Wolanski and D. McLusky. Academic Press. Waltham.
- Bowman, J, P., Sly, L, I., Nichols, P, D., dan Hayward, A, C. 1993. Int. J. Syst Bacteriol: Revised taxonomy of the methanotrophs: description of *Methylobacter* gen. nov., emendation of *Methylococcus*, validation of *Methylosinus* and *Methylocystis* species, and a proposal that the family *Methylococcaceae* includes only the group I methanotrophs, 43:735-753.
- Chistoserdova, L., Laukel, M., Portais, J, C., Vorholt, J, A., Lidstrom, M, E. 2004. J. bacterial: Multiple Formate Dehydrogenase Enzymes in The Facultative Methylotroph *Methylobacterium Exorquens* AM1 are Dispensable for Growth on Methanol, 186 (1), 22- 28.
- Dalton, H., Wilkins, P, C., dan Jiang, Y. 1993. Structure and mechanism of action of the hydroxylase of soluble methane monooxygenase, p. 65-80. In J. C. Murrell and D. P. Kelley (ed.), *Microbial growth on C1 compounds*. Intercept Press, Ltd., Andover, United Kingdom.
- Deng, B., Haifu, F., Jiang, N., Feng, W., Luo, L., Wang, J., Wang, H., Hu, D., Guo, X., dan Zhang, L. 2019. *Jurnal Forest: Biochar Is Comparable to Dicyandiamide in the Mitigation of Nitrous Oxide Emissions from Camellia oleifera Abel. Fields*, 10: 1076.
- Djumali dan Mulyaningsih, S. 2014. *Pengaruh Kelembaban Tanah terhadap Karakter Agronomi, Hasil Rajangan Kering dan Kadar Nikotin Tembakau (Nicotiana tabacum L; Solanaceae) Temanggung pada Tiga Jenis Tanah*. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat. Berita Biologi. Malang.
- Doronina, N, V., Ivanova, E.G., dan Trotsenko, Y, A., 2005. Int. J. Syst. Evol. Microbiol: *Phylogenetic Position and Emended Description of Genus Methylovorus*, 55, 903- 906.
- Edwin. 2011. *Materi Kuliah Mikrobiologi*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin, Kalimantan Selatan.
- Frehel, G., dan Gasser. 1985. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. Faculty of Science and Engineering, University of Plymouth, Plymouth, Devon. United Kingdom.
- Govorukhina, N, I., dan Trotsenko, Y, A. 1991. International Journal of Systematic Bacteriology: *Methylovorus*, a New Genus of Restricted Facultatively Methylotrophic Bacteria, 40 (01): 158-162.
- Hanson, R, S., dan Hanson, T, E. 1996. Microbiol Rev: *Methanotrophic bacteria*, 60(2):439-471.
- Hapsary, W. 2008. *Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Metanotrof Asal Sawah di Bogor dan Sukabumi*. Skripsi S1 (Published). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Hold, J. G., Krieg, N. R., Sneath, P. H. A., Staley, J. T., Williams, S. T. 2000. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Ninth Edition*. Lippincott Williams & Wilkins. United States of America.
- Hoorman, J. J. 2011. *Extension of The Role of Soil Bacteria*. Ohio State University. Columbus, Ohio. Amerika Serikat.
- Jaatinen, K., Knief, C., Dunfield, P. F., Yrjala, K., dan Fritze, H. 2004. *FEMS Microbiology Ecology: Methanotrophic Bacteria in Boreal Forest Soil After Fire*, 50: 195–202.
- Janvier, M., Grimont, P. A. D. 1995. *Microbiol: The Genus Methylophaga, a New Line of Descent Within Phylogenetic Branch Gamma of Proteobacteria*, Res. 146: 543-550.
- Jutono, J., Soedarsono, S., Hartadi, S., Kabirun, S dan Suhadi, D. 1980. *Pedoman Praktikum Mikrobiologi Umum*. Departemen Mikrobiologi. Yogyakarta: Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada.
- Luhova, L., Lebeda, A., Hedererová, D., Pec, P. 2003. *Plant soil and environment: Activities of amine oxidase, peroxidase and catalase in seedlings of Pisum sativum L. under different light conditions*, 49, 4, 151 -157
- Lakitan, B. 1997. *Dasar-dasar Klimatologi*. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Latifah, N. D. 2020. *Potensi Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>) Pada Restorasi Karst Dengan Pembenh Tanah Di Dalam Persemaian*. Tugas Akhir (Published). Program Studi Teknik Lingkungan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Lelieveld, J., Crutzen, P. J., Dentener, F. J. 1998. *Tellus: Changing concentrations, lifetime and climate forcing of atmospheric methane*, 50, 128–150.
- Lidstrom, M. E., Chistoserdova, L. 2002. *J of Bacteriol: Plants in the pink: Cytokinin production by Methylobacterium*, 184(7): 1818.
- Lubis, S. K. 2007. *Aplikasi Suhu dan Aliran Panas Tanah*. Universitas Sumatera. Medan.
- Manofa, R. K. J. 2016. *Populasi Bakteri Metanotrof di Rizosfer Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) Pada Lahan Pasang Surut*. Skripsi S1 (Published). Fakultas Pertanian. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Meruvu, H., Wu, H., Jiao, Z., Wang, L., dan Fei, Q. 2020. *Synthetic Biotechnology and Systems: From Nature to Maintenance: Essence and Methods for Isolating Strong Methanotrophic Bacteria*, 5, 173-178.
- Nybakken. 1992. *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Pandu, A. K., Nur, R. H., dan Soekotjo, H. D. 2014. *Jurnal EECCIS: DSS Untuk Menganalisis pH Kesuburan Tanah Menggunakan Metode Single Linkage*, Vol.8, No.1.
- Rayadin, Y., Syamsudin, J. M., Ayatussurur, N., Qomari, H., Pradesta, A., Priahutama, R.O., dan Putri. 2016. *Pendugaan Biomassa dan Cadangan Karbon*. Kerjasama PTKideco Jaya Agung dan Ecositrop. Samarinda.
- Resubun, I. 2011. *Kontribusi Manajemen Tradisional Hutan Papua Terhadap Penganggulan Global Warming*. Program S2 Antropologi Universitas Cendrawasih. Papua.
- Salim. 1997. *Dasar-Dasar Hukum Kehutanan*. Sinar Grafika. Jakarta.
- Samiaji, T. 2011. *Gas CO<sub>2</sub> di Wilayah Indonesia*. Berita Dirgantara Vol.12 No.2. Penelitian Bidang Komposisi Atmosfer, LAPAN.
- Suyono dan Sudarmadi, 1997. *Hidrologi Dasar*. Fakultas Geografi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Ulfa, Nur Sukma. 2021. *Penegakan Hukum Administrasi Negara Terhadap Pengawasan Kawasan Hutan mangrove Di Kabupaten Barru*. Sripsi. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Ulumuddin, Y. I. 2019. *Jurnal Ilmu Lingkungan: Metana: Emisi Gas Rumah Kaca dari Ekosistem Karbon Biru, Mangrove*, Volume 17 Issue 2: 359-372.
- Wang, J., Bogen, H. R., Vereecken, H., dan Bruggemann, N. 2016. *Jurnal Vadose Zone: Characterizing Redox Potential Effects on Greenhouse Gas Emissions Induced by Water-Level Changes*, 17:170152. doi:10.2136.
- World Meteorological Organization. 2019. *The State of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2018*. WMO Greenhouse Gas Bulletin 15.
- Yavitt, J. B., Williams, C. J., dan Wieder, R. K. 1997. *Geomicrobiology Journal: Production of methane and carbon dioxide in Peatland ecosystems across north America: Effects of temperature, aeration, and organic chemistry of peat*, 14(4): 299–316.

- Yurimoko, H., Shiraishi, K., dan Sakai, Y. 2021. *Microorganisms Journal: Physiology of Methylophages Living in The Phyllosphere*, 9(4).
- Zahn, J, A., dan Dispirito, A, A. 1996. *J. bacterial: Membrane-associated Methane Monooxygenase from Methylococcus Capsulatus (Bath)*,178 (4), 1018-1029.
- Zwart, J, M, M., Nelisse, P, N., dan Kuenen, J, G. *Isolation and Characterization of Methylophaga sulfidovarum sp. Nov:an Obligately Methylophagic, Aerobic,Dimethylsulfide Oxiding Bacterium from a Microbial mat.* FEMS Microbiol. Ecol. 20: 261-270