

Padi menjadi sumber pangan utama untuk seluruh masyarakat di Indonesia. Hal ini kemudian harus sejalan dengan peningkatan produktivitas dan produksi padi. Laju pertumbuhan penduduk yang terus meningkat juga menyebabkan kebutuhan nasional terhadap beras juga meningkat.

Akan tetapi, padi sawah dihadapkan pada permasalahan dampak ekologi sebagai akibat dari penggunaan pupuk kimia secara berlebihan. Peningkatan emisi gas metan ( $CH_4$ ) juga dapat meningkatkan pemanasan global dan perubahan iklim yang dihasilkan oleh efek rumah kaca pada pertanian padi sawah.

Penggunaan pupuk anorganik yang menghasilkan gas metan tersebut bisa dikurangi dengan menggunakan bakteri metanotrof. Bakteri tersebut menggunakan metan sebagai sumber energi dan karbon sehingga bisa digunakan untuk mereduksi emisi gas metan.

Buku ini, akan membahas seputar dampak yang diakibatkan gas metan, bakteri metanotrof, hingga hasil dari penerapan teknologi tersebut.

Buku Referensi

Inovasi Bioteknologi pada Tanaman Padi Sawah (*Oryza Sativa* L.)

ASMIATY SAHUR

Buku Referensi  
**Inovasi Bioteknologi pada  
Tanaman Padi Sawah**  
(*Oryza Sativa* L.)

ASMIATY SAHUR



Gedung UPT Unhas Press  
Kampus Unhas Tamalanrea  
Jln. Perintis Kemerdekaan Km. 10  
Email: unhaspress@gmail.com  
Makassar



Inovasi Bioteknologi pada  
Tanaman Padi Sawah (*Oryza Sativa* L.)



**Inovasi Bioteknologi pada  
Tanaman Padi Sawah (*Oryza Sativa* L.)**

Asmiaty Sahur



**Inovasi Bioteknologi pada  
Tanaman Padi Sawah (Oryza Sativa L.)**

Asmiaty Sahur

**Hak Cipta** ©Asmiaty Sahur. All rights reserved.  
Hak cipta dilindungi undang-undang.

**Cetakan I 2023**

**ISBN 978-979-530-xxx-x**


**Desain Sampul dan Tata Letak**  
Muhammad Ihlasul Amal


**Foto Sampul**  
Amany Firdaus (Unsplash.com)


**Penerbit**

Unhas Press

Gedung UPT Unhas Press, Kampus Unhas Tamalanrea  
Jalan Perintis Kemerdekaan KM 10,  
Makassar, Sulawesi Selatan

 +62 8229 9555 591

 unhaspress@gmail.com

 unhaspress.unhas.ac.id

Anggota IKAPI Nomor: 002/SSL/01 dan  
APPTI Nomor: 005.026.1.03.2018

---

*Dilarang memperbanyak isi buku ini, baik sebagian maupun seluruhnya  
dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penulis/penerbit.*

---



## PRAKATA

Segala puji hanya bagi Allah *Subhanahu wa Ta'ala* Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang telah memberikan limpahan karunia dan rahmat-Nya sehingga kita dapat melaksanakan aktivitas hidup dengan penuh keberkahan. Petunjuk dan tuntunan senantiasa kita harapkan dan gantungkan pada-Nya.

Penulis menyadari banyaknya kekurangan dalam penyusunan buku ini, baik dari segi penulisan, pemahaman, bahasa maupun isinya. Oleh karena itu, penulis secara terbuka menerima kritik dan saran dari berbagai pihak.

Makassar, Januari 2023

**Penulis**





## DAFTAR ISI

<b>Prakata</b> .....	<b>v</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>vii</b>
<b>Daftar Tabel</b> .....	<b>ix</b>
<b>Daftar Gambar</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Bab I</b> <b>Pendahuluan</b> .....	<b>1</b>
<b>Bab II</b> <b>Tanaman Padi</b> .....	<b>9</b>
2.1 Padi Sawah ( <i>Oryza sativa</i> L.) .....	11
2.2 Pertumbuhan Tanaman Padi .....	14
<b>Bab III</b> <b>Gas Metan (CH<sub>4</sub>)</b> .....	<b>17</b>
<b>Bab IV</b> <b>Bakteri Metanotrof</b> .....	<b>23</b>
4.1 Kelompok Bakteri Metanotrof.....	28
<b>Bab V</b> <b>Pemupukan NPK</b> .....	<b>33</b>
5.1 Pupuk Anorganik.....	35
5.2 Pupuk NPK.....	36
<b>Bab VI</b> <b>Teknik Isolasi, Identifikasi dan Pemanfaatan</b> <b>Mikroba <i>Metanotroph</i></b> .....	<b>45</b>
6.1 Isolasi, Identifikasi Mikroba <i>Metanotroph</i> Asal Sidrap .....	47
6.2 Tahapan Pengujian Isolate pada Tanaman Padi Sawah.....	48

6.3 Pelaksanaan Penelitian .....	49
6.4 Teknik Pengambilan Sampel.....	54
6.5 Parameter Pengamatan.....	55
6.6 Analisis Data.....	55
6.7 Luas Lahan dan Media Tanam.....	56
6.8 Denah Pengambilan Sampel .....	57
<b>Bab VII Hasil Terapan Teknologi Mikroba .....</b>	<b>59</b>
7.1 Hasil Terapan Teknologi Mikroba.....	61
7.2 Pembahasan.....	77
<b>Bab VIII Hasil Terapan Teknologi Mikroba Metatroph pada Pertumbuhan dan Produksi Padi Sawah (<i>Oryza sativa</i> L.) pada Penggunaan Pupuk NPK Dosis Rendah.....</b>	<b>85</b>
8.1 Analisis Hasil Aplikasi Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pemupukan NPK .....	87
8.2 Pembahasan.....	95
<b>Bab IX Pengaruh Pengaplikasian Bakteri Metanotrof dan Pupuk NPK Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Padi Sawah (<i>Oryza sativa</i> L.) .....</b>	<b>101</b>
9.1 Analisis Hasil Aplikasi Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pemupukan NPK .....	103
9.2 Pembahasan.....	113
<b>Bab X Invensi Aplikasi <i>Metanotroph</i> dan NPK .....</b>	<b>121</b>
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>129</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Hasil Uji Gram dan Uji Aerob/Anaerob Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	68
Tabel 2 Rata-Rata Tinggi Tanaman (cm) 8 MST dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	69
Tabel 3 Rata-Rata Jumlah Anakan (Batang) 10 MST dengan Perlakuan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	70
Tabel 4 Rata-Rata Hasil Produksi Perpetak (kg) dengan Perlakuan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	73
Tabel 5 Rata-Rata Bobot 100 Butir (g) Gabah Kering Panen (g) Tanaman Padi dengan Perlakuan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	76
Tabel 6 Rata-Rata Tinggi Tanaman (cm) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pupuk NPK Dosis Rendah .....	87
Tabel 7 Rata-Rata Jumlah Anakan (Batang) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pupuk NPK Dosis Rendah .....	88

Tabel 8 Rata-Rata Jumlah Anakan Produktif (Batang) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pupuk NPK Dosis Rendah.....	89
Tabel 9 Rata-Rata Panjang Malai (cm) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pupuk NPK Dosis Rendah .....	90
Tabel 10 Rata-Rata Persentase Gabah Berisi (%) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pupuk NPK Dosis Rendah .....	91
Tabel 11 Rata-Rata Bobot 100 Bulir (g) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pupuk NPK Dosis Rendah .....	92
Tabel 12. Rata-Rata Hasil Per Petak (kg) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pupuk NPK Dosis Rendah.....	93
Tabel 13 Rata-Rata Hasil Gabah Kering Panen (kg) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pupuk NPK Dosis Rendah.....	94
Tabel 14 Rata-Rata Produktivitas Per Hektar (kg) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> dan Pupuk NPK Dosis Rendah.....	95
Tabel 15 Rata-Rata Tinggi Tanaman dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri .....	103
Tabel 16 Rata-Rata Jumlah Anakan dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	104

Tabel 17 Rata-Rata Jumlah Anakan Produktif dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	105
Tabel 18 Rata-Rata Jumlah Cabang Malai dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	106
Tabel 19 Rata-Rata Berat Seluruh Gabah Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	107
Tabel 20 Rata-Rata Berat 100 Biji Gabah Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	108
Tabel 21 Rata-Rata Jumlah Gabah Berisi Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	109
Tabel 22 Rata-Rata Jumlah Gabah Hampa Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	110
Tabel 23 Rata-Rata Berat Total Gabah Berisi Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	111
Tabel 24 Rata-Rata Produksi Gabah Per Petak Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri <i>Metanotrof</i> .....	112





## DAFTAR GAMBAR

Gambar. 1 Terjadinya Emisi Metana yang Di pengaruhi oleh sepuluh faktor (Watanabe, 1984).....	28
Gambar. 2 Proses Pembuatan Media OF .....	52
Gambar. 3 Hasil Isolasi Bakteri Metanotrof 10-6 (a), 10-6 (b), 10-7 (c), 10-7 (d), 10-8 (e) dan 10-8 (f) .....	61
Gambar. 4 Proses isolasi bakteri metanotrof diawali dengan penghalusan 1 g sampel tanah. Kemudian, sampel tanah dilarutkan dalam 9 mL akuades steril, kemudian dihomogenkan menggunakan vortex .....	64
Gambar. 5 Isolat bakteri metanotrof yang digunakan pada penelitian di Desa Lantula Kecamatan Witaponda dengan Kode isolat (WPM I) .....	66
Gambar. 6. Warna Koloni (a) Koloni yang berwarna kuning (b) koloni yang berwarna putih kekuningan (c) koloni yang berwarna putih .....	67
Gambar. 7 a) Uji Reaksi Gram (b) Uji Katalase.....	68

Gambar. 8 Grafik Rata-Rata Panjang Malai (cm) Padi dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri Metanotrof.....	71
Gambar. 9 Grafik Rata-Rata Jumlah Anakan Produktif (Batang) 10 MST Padi dengan Pupuk NPK dan Bakteri Metanotrof.....	72
Gambar. 10 Gambar 10. Grafik Rata-Rata Gabah Kering Panen Padi dengan Pupuk NPK dan Bakteri Metanotrof.....	74
Gambar. 11 Gambar 11. Grafik Rata-Rata Presentase (%) Gabah Kering Giling (g) Padi dengan Pupuk NPK dan Bakteri Metanotrof.....	75



# BAB I

## PENDAHULUAN



**P**adi adalah komoditi yang menjadi sumber pangan utama untuk seluruh masyarakat di Indonesia. Peningkatan produktivitas dan produksi padi harus terus dilakukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Peningkatan produktifitas padi dapat meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan petani serta menjamin ketahanan pangan (Satria, 2017).

Laju pertumbuhan penduduk meningkat sehingga menyebabkan kebutuhan nasional terhadap permintaan beras terus meningkat setiap tahun, Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2021), produksi padi di Indonesia pada tahun 2020 sebesar 54,649 juta ton GKG dan pada tahun 2021 mengalami kenaikan sebesar 55,269 juta ton GKG. Kenaikan produksi padi yang telah dicapai pada kenyataannya masih belum dapat memenuhi kebutuhan pangan masyarakat Indonesia yang setiap tahun meningkat laju penambahan penduduknya. Berdasarkan data **Badan Pusat Statistik (2021)**, jumlah penduduk hasil sensus penduduk 2020 sebanyak 270,20 juta jiwa dibandingkan tahun 2010 yang memperlihatkan penambahan jumlah penduduk sebanyak 32,56 juta jiwa atau rata-rata sebanyak 3,26 juta jiwa setiap tahunnya. Tuntutan peningkatan produksi beras nasional adalah 0,8–1 %

setiap tahun sebagai antisipasi dalam mengimbangi laju pertumbuhan jumlah penduduk 1,25% setiap tahunnya.

Padi sawah dihadapkan pada permasalahan dampak ekologi (dampak lingkungan) sebagai akibat penggunaan pupuk kimia secara berlebihan. Dampak ekologi yang terjadi adalah adanya peningkatan emisi CH<sub>4</sub> yang dapat meningkatkan pemanasan global dan perubahan iklim yang dihasilkan oleh efek rumah kaca pada pertanian padi sawah.

Hal ini disebabkan oleh penggunaan pupuk anorganik secara terus menerus dengan dosis tinggi menyebabkan ekosistem biologi tanah menjadi tidak seimbang, sehingga tujuan pemupukan untuk mencukupkan unsur hara di dalam tanah tidak tercapai. Kondisi tersebut telah menurunkan kandungan bahan organik tanah dan kesuburan biologi tanah yang sangat penting dalam proses mekanisme penyediaan hara bagi tanaman. Penggunaan pupuk kimia yang berdosisi tinggi dapat menyebabkan peranan pupuk kimia tersebut menjadi tidak efektif. Kurang efektifnya peranan pupuk kimia dikarenakan tanah pertanian yang sudah jenuh oleh residu sisa bahan kimia sebelumnya. **Menurut Afif (2015)** yang menyatakan bahwa pemakaian pupuk kimia secara berlebihan dan terus menerus dapat menyebabkan residu yang berasal dari zat pembawa pupuk nitrogen tertinggal dalam tanah sehingga akan menurunkan kualitas dan kuantitas hasil pertanian. Menurut **Gede Wijana et al. (2012)** pemakaian pupuk kimia yang terus menerus menyebabkan ekosistem biologi tanah menjadi tidak seimbang, sehingga tujuan pemupukan untuk mencukupkan unsur hara di

dalam tanah tidak tercapai. Potensi genetis tanaman pun tidak dapat dicapai mendekati maksimal.

Untuk mengatasi masalah tersebut telah dilakukan upaya meningkatkan hasil produksi padi dengan penggunaan pupuk anorganik. Secara umum telah diketahui bahwa unsur hara N, P dan K sangat dibutuhkan oleh tanaman padi dan untuk dapat memberikan hasil yang tinggi diperlukan dosis pupuk kimia atau anorganik yang cukup tinggi karena pasokan hara dari tanah dan sumber alami lainnya kurang mencukupi (Jamil, 2014). Penggunaan pupuk anorganik yang meningkat dikarenakan kebutuhan beras yang bertambah setiap tahun.

Nitrogen merupakan unsur hara esensial yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Nitrogen banyak tersedia di atmosfer, namun tidak dapat diserap langsung oleh tanaman. Bakteri Metanotrof mampu memfiksasi nitrogen yang bebas di udara karena bakteri ini mengandung enzim nitrogenase yang mampu mengubah bentuk nitrogen bebas di udara menjadi bentuk amonia ( $\text{NH}_3$ ), selain untuk memfiksasi nitrogen bakteri metanotrof memiliki enzim monooksigenase yang mampu mengoksidasi gas metan yang ada di udara (**Hapsary, 2008**).

Kepedulian terhadap perubahan iklim global pada masa ini yang salah satu penyebabnya bersumber dari kegiatan budidaya padi pada tanah sawah, mengarahkan perhatian dunia untuk mengupayakan mitigasi gas metana tersebut, khususnya bagi negara-negara penghasil dan pengkonsumsi beras. Berbagai usaha yang dilakukan petani sudah begitu banyak. Tetapi peningkatan produksi padi harus memperhatikan dampak terhadap lingkungan, dengan metode yang

ramah lingkungan dan tidak menyebabkan erosi, kerusakan tanah diakibatkan dengan penggunaan pupuk berlebihan. Upaya peningkatan produksi padi pada satu sisi, serta upaya menanggulangi kerusakan lingkungan akibat pencemaran dari sektor pertanian pada sisi lainnya, adalah sebuah dilema.

Emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah disebabkan oleh produksi CH<sub>4</sub> oleh metanogen. Fluks CH<sub>4</sub> di lahan sawah dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pengelolaan air, pemupukan organik dan anorganik (**Bodelier et. al, 2000**). Hal tersebut menunjukkan bahwa munculnya gas metan salah satunya adalah penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan, selain merusak struktur tanah dan dapat menimbulkan gas metan di udara.

Penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan dan emisi gas metan (CH<sub>4</sub>) dari lahan persawahan yakni dengan penggunaan bakteri *metanotrof*. *Metanotrof* menggunakan CH<sub>4</sub> sebagai sumber energi dan karbon, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai agen produksi emisi gas CH<sub>4</sub>. Kelompok *metanotrof* memiliki kemampuan mengoksidasi CH<sub>4</sub> pada kondisi aerob dengan bantuan enzim *methane monooxygenase* atau biasa disingkat dengan kata (MMO) (**Hanson dan Hanson, 1996**).

**Xiao et.al (2018)** menyatakan bahwa rasio C/N yang tinggi menandakan kandungan N yang rendah. Konsentrasi N yang tinggi akan menekan emisi CH<sub>4</sub>. Hal tersebut karena N dalam bentuk ion nitrat dan nitrit yang tidak digunakan dalam proses pertumbuhan akan digunakan bakteri *metanotrof* untuk bereaksi dengan CH<sub>4</sub> dengan hasil CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> dalam kondisi aerobik (**Vaksmaa et. al, 2017**). Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri metanotrof dapat

menghasilkan N<sub>2</sub>, sebagai mana N<sub>2</sub> dapat dimanfaatkan dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman baik dalam proses generatif maupun vegetatif.

**Rusmana dan Akhdiya (2009)**, menemukan 4 isolat bakteri metanotrof yang mampu mengoksidasi CH<sub>4</sub> secara *in vitro*, yaitu *Methylocystis rosea* BGM1, *Methylocystis parvus* BGM3, *Methyloccus capsulatus* BGM9 dan *Methylobacter* sp. SKM14. Empat bakteri metanotrof tersebut juga mampu menfiksasi N<sub>2</sub> (Sagala,2009), isolate BGM3 dan BGM9 diketahui memiliki gen *nifH* dan *nifD* penyandi enzim dinitrogenase reductase (protein Fe) dan subunit  $\alpha$  dari dinitrogenase (protein Fe-Mo) yang berperan dalam fiksasi N<sub>2</sub> (Bintaeti *et. al*, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa bakteri metanotrof tidak hanya mampu mereduksi dengan gas metan (CH<sub>4</sub>), tetapi juga mampu menfiksasi N<sub>2</sub> yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan tanaman padi.

Berdasarkan uraian tersebut, maka buku ini di tulis berdasarkan hasil penelitian yang berjudul: pengaplikasian bakteri metanotrof dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.). Upaya yang dilakukan untuk melengkapi data yang berasal dari tiga penelitian yang objek nya metanotroph dan konsentrasi pupuk NPK yang di kurangi dosis nya sebagaimana yang telah dilakukan oleh petani yang selalu mengaplikasikan pupuk Urea dan NPK dalam jumlah yang sangat tinggi ke tanaman padi.

Dalam upaya untuk meningkatkan produksi padi dengan harapan petani dapat memanfaatkan pemupukan organik yang dapat mengurangi dampak lingkungan dan juga akan memperbaiki kualitas padi sehingga produksi dapat meningkat.





## **BAB II**

# **TANAMAN PADI**



Pertumbuhan dan produksi tanaman padi (*Oryza sativa* L.) dapat dibagi dalam tiga fase pertumbuhan yakni fase vegetatif aktif (meliputi mulai perkecambahan, pertumbuhan akar, pembentukan anakan, pertambahan tinggi dan anakan maksimum), fase reproduktif (meliputi fase berbunga, inisiasi malai, dan primordial) dan fase pemasakan (mulai dari fase berbunga sampai masak panen) (Yassi, 1997). Fase reproduktif adalah fase yang sangat penting dalam pertanaman padi sawah, dimana fase reproduktif harus memperhatikan ketersediaan air, hara baik makro dan mikro.

Tanaman padi membutuhkan air baik itu dari air irigasi, air tanah, maupun dari hujan. Petani cenderung menggunakan pola tanam padi-padi jika air tersedia dipetakan sawah. Selain ketergantungan terhadap air, tanaman padi sawah juga sangat bergantung dengan pupuk kimia. Utami dan Handayani (2003), sistem pertanian yang berbasis *high input energy* seperti penggunaan pupuk kimia dan pestisida yang dapat merusak sifat-sifat tanah dan akhirnya menurunkan produktivitas dalam kurun waktu kedepan.

## 2.1 Padi Sawah (*Oryza sativa* L.)

Tanaman padi sawah merupakan padi yang di kembangbiakkan dengan memenuhi kebutuhan cukup air dalam masa tanamnya.

Pada umumnya petani padi sawah di Indonesia menggunakan metode tanam pindah pada kegiatan usaha taninya. Pada metode tanam pindah, bibit padi ditanam dengan jarak tanam rapat dengan jarak tidak lebih dari 20cm x 20cm. Teknologi budidaya lain yang dapat diterapkan sebagai upaya peningkatan produksi padi adalah dengan metode tanam jajar legowo yaitu dengan prinsip pemberian kondisi pada setiap barisan tanam padi untuk mengalami pengaruh sebagai tanaman pinggir. Teknologi berikutnya adalah metode tanam SRI (*Sistem of Rice Intensification*) budidaya tanaman padi intensif dan efisien dengan proses manajemen sistem perakaran yang berbasis pada pengelolaan yang seimbang terhadap tanah, tanaman dan air (Juhendi, 2008).

Umumnya padi diusahakan sebagai padi sawah, yaitu dibudidayakan pada lahan dengan kondisi tergenang. Di Indonesia padi ditanam diseluruh daerah, mulai dari dekat pantai sampai ke dataran tinggi pegunungan. Tanaman padi dapat ditanam di musim kemarau atau musim hujan. Pada musim kemarau produksi meningkat asalkan air irigasi selalu tersedia. Di musim hujan, walaupun air melimpah produksi dapat menurun karena penyerbukan kurang intensif. Di dataran rendah padi memerlukan ketinggian 0-650 mdpl dengan temperatur 22-27°C sedangkan di dataran tinggi 650-1.500 mdpl dengan temperatur 19-23°C. Tanaman padi memerlukan penyinaran matahari penuh tanpa naungan. Angin berpengaruh pada penyerbukan dan pembuahan tetapi jika terlalu kencang akan merobohkan tanaman (Anonim, 2006).

Perbedaan metode tanam akan mempengaruhi biaya produksi dan hasil usaha tani padi sawah. Disamping penggunaan metode tanam yang tepat, untuk meningkatkan hasil produksi padi perlu pemberian bahan organik pada tanah. Padi membutuhkan persediaan hara yang cukup untuk pertumbuhan agar memperoleh hasil yang tinggi. Pemberian bahan organik merupakan suatu tindakan perbaikan lingkungan tumbuh tanaman karena dapat meningkatkan efisiensi pupuk atau unsur hara (dosis yang telah ditentukan) (Adiningsih, 1988). Disamping itu bahan organik juga sebagai amelioran yang dapat memperbaiki jumlah dan aktivitas mikroba serta sumber hara dalam tanah sehingga dapat meningkatkan kualitas tanah (Setyorini, 2005).

Pada lahan basah, curah hujan bukan merupakan faktor pembatas tanaman padi, tetapi pada lahan kering tanaman padi membutuhkan curah hujan yang optimum  $>1.600$  mm/tahun. Padi memerlukan bulan basah yang berurutan minimal 4 bulan. Bulan basah adalah bulan yang mempunyai curah hujan  $>200$  mm dan tersebar secara normal atau setiap minggu ada turun hujan sehingga tidak menyebabkan tanaman stress karena kekeringan. Suhu yang optimum untuk pertumbuhan tanaman padi berkisar antara  $24 - 29^{\circ}\text{C}$  (Badan Ketahanan Pangan dan Penyuluh Pertanian Aceh, 2009). Budidaya padi sawah dapat dilakukan disegala musim. Air sangat dibutuhkan oleh tanaman padi. Pada musim kemarau, air harus tersedia untuk meningkatkan produksi. Tanah yang baik mengandung pasir, debu dan lempung.

## 2.2 Pertumbuhan Tanaman Padi

Menurut Karim dan Suhartatik (2015), pertumbuhan tanaman padi dibagi kedalam tiga fase, yaitu:

- 1) Vegetatif (awal pertumbuhan sampai pembentukan bakal malai/primordia);
- 2) Reproduksi (primordia sampai pembungaan); dan
- 3) Pematangan (pembungaan sampai gabah matang).

Fase vegetatif merupakan fase pertumbuhan organ-organ vegetatif, seperti penambahan jumlah anakan, tinggi tanaan, jumlah, bobot, dan luas daun. Lama fase ini beragam, yang menyebabkan adanya perbedaan umur tanaman. Fase reproduktif ditandai dengan: (a) memanjangnya beberapa ruas teratas batang tanaman; (b) berkurangnya jumlah anakan (matinya anakan tidak produktif); (c) munculnya daun bendera; (d) bunting; dan (e) pembungaan. Di daerah tropik, untuk kebanyakan varietas padi, lama fase reproduktif umumnya 35 hari dan fase pematangan sekitar 30 hari. Perbedaan masa pertumbuhan atau vegetatif (umur) hanya ditentukan oleh lamanya fase vegetatif (Karim dan Suhartatik, 2015).

Menurut Azrai (2005) menanam padi secara generatif menggunakan biji yang langsung ditanam di sawah dan menggunakan persemaian dahulu dilahan persemaian. Benih dipersemaikan dan dipelihara sampai dapat dipindahkan ke tempat yang tetap atau lahan sawah. Di penyuluhan-penyuluhan dianjurkan tanam dengan jarak yang teratur, hal ini bertujuan agar penyiangan, proteksi terhadap hama dan penyakit mudah dilaksanakan akan tetapi dengan kemajuan teknologi dalam bidang pengendalian gulma secara kimiawi kadang-kadang petani menganggap jarak

tanam tidak perlu diperhatikan. Pentingnya jarak tanam yang digunakan akan mempengaruhi tanaman tersebut berproduksi maksimal dan dapat memanfaatkan sinar matahari sehingga menghasilkan jumlah anakan yang tinggi.

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan gejala-gejala yang saling berhubungan. Pertumbuhan didefinisikan sebagai penambahan ukuran sedangkan perkembangan mencakup diferensiasi dan ditunjukkan oleh ordo perubahan-perubahan yang lebih tinggi yang menyangkut spesialisasi secara anatomi dan fisiologi. Perkembangan dari tanaman bersel banyak adalah suatu penjumlahan dari proses diferensiasi dalam dan di antara sel-sel (Fagi, 2001).

Tanaman Padi sawah merupakan komoditas pangan yang penting bagi manusia, karena merupakan salah satu sumber makanan pokok sebagian besar penduduk dunia. Kebutuhan akan beras cenderung meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dunia termasuk Indonesia.

Intensifikasi lahan terutama tanah-tanah sawah dalam upaya peningkatan produksi padi dengan mengutamakan pemakaian pupuk kimia dan kurang memperhatikan penggunaan bahan organik, membuat banyak tanah sawah telah berkurang kesuburannya. Salah satu indikator penurunan kesuburan tanah adalah dari kadar C-organiknya. Hasil analisis Balai Penelitian Tanah, yang menghimpun 1.577 contoh tanah sawah yang tersebar di seluruh Indonesia, menunjukkan bahwa dari 8,1 juta ha lahan sawah, sekitar 65% tanah sawah mempunyai kandungan Corganik

rendah sampai sangat rendah (C-organik < 2%), dan hanya 35% yang mempunyai kandungan C-organik > 2 % (Kasno et al., 2000).

Pengembangan padi sawah biasa ditanam pada lahan sawah dengan ciri tanah berlempung yang berat atau tanah yang memiliki lapisan keras sekitar 30 cm di bawah permukaan tanah, menghendaki tanah berlumpur yang subur dengan ketebalan berkisar 18-22 cm, keasaman tanah berkisar diantara pH 4,0-7,0. Pada padi sawah, karakteristik lainnya dapat diketahui secara langsung melalui penggenangan atau pengairan yang akan mengubah pH tanah sehingga sesuai dengan karakteristik tanaman padi.

Tanaman padi dapat tumbuh pada iklim tropis dan subtropis. Tanaman padi tumbuh pada daerah berhawa panas dan banyak mengandung uap air (daerah iklim panas yang lembab). Curah hujan yang dikehendaki rata-rata 200 mm/bulan dengan distribusi selama 4 bulan. Curah hujan per tahun rata-rata 1500 mm – 2000 mm. Suhu yang dikehendaki untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi adalah 23o C atau lebih. Suhu sangat berpengaruh terhadap pembentukan gabah di mana suhu yang tidak cocok dapat mengakibatkan gabah hampa (Rozen dan Kasim, 2018).

Ketinggian tempat untuk tanaman padi antara 0 sampai dengan 650 m dpl dengan suhu antara 22,5 sampai 26,50 C. Daerah antara 650 sampai 1500 m dpl dengan suhu antara 22,5 sampai 18,70 C masih cocok untuk tanaman padi. Tanaman padi dapat ditanam dan tumbuh pada dataran rendah sampai pada daerah dataran tinggi (Rozen dan Kasim, 2018).



## **BAB III**

### **GAS METAN (CH<sub>4</sub>)**



Menurut Annisa *et al.* (2017) karbon organik di dalam tanah merupakan sumber emisi gas rumah kaca. Jumlah karbon organik yang lebih tinggi ditemukan di bawah tanah sawah yang banjir dari pada di bawah umpan hujan karena perombakan organik yang lebih lambat terjadi dalam kondisi anaerob, namun penggenangan sawah terus menerus dapat merangsang terbentuknya CH<sub>4</sub>. IPCC (1990), Emisi CH<sub>4</sub> yang berasal dari kegiatan manusia sekitar 70% dari total seluruh sumber emisi metana. Beberapa sumber metana yang dihasilkan dari kegiatan manusia seperti: ternak, budidaya padi sawah, industri dan hasil pembakaran biomassa.

Gas metana terbentuk dari dekomposisi bahan organik pada kondisi anaerobik seperti terjadinya genangan pada lahan sawah. Pada kondisi tersebut, mikroorganisme berupa bakteri metanogenik sangat aktif yang mendorong terbentuknya gas metana (Rajakishore *et al.* 2013). Hal tersebut menunjukkan bahwa sisa-sisa dari hasil panen yang terlalu lama berada dilahan sawah akan mengalami penguraian dan dapat membuat bakteri yang ada dilahan tersebut akan meningkatkan gas metan.

Bakteri metanotrof adalah bakteri Gram negatif, bersifat aerob dan menggunakan metan sebagai sumber karbon dan energi

(Auman 2001). Karakteristik penting dari metanotrof ini ialah memiliki enzim metan monooksigenase yang dapat mengkatalisis metan menjadi metanol. Jenis metanotrof yang telah dilaporkan ialah metanotrof obligat dan fakultatif. Metanotrof obligat hanya tumbuh dengan menggunakan metan ( $\text{CH}_4$ ) dan metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), sedangkan metanotrof fakultatif dapat tumbuh dengan menggunakan senyawa multikarbon seperti etanol dan propanol.

Gas metan ( $\text{CH}_4$ ) adalah salah satu gas rumah kaca (GRK) yang konsentrasinya di atmosfer semakin meningkat setiap tahun, peningkatan konsentrasi tersebut menyebabkan peningkatan suhu secara global. Gas tersebut terbentuk pada kondisi anaerob di lahan basah termasuk lahan sawah dan ditentukan oleh aktivitas dua bakteri yang berbeda yang hidup di rhizosfer tanaman padi, yaitu bakteri metanogen sebagai organisme yang berperan dalam pembentukan metan dan bakteri metanotrof yang menggunakan metan sebagai sumber karbonnya. Kehadiran bakteri metanotrof pada daerah rhizosfer tanaman padi sangat dibutuhkan untuk mereduksi metan yang dihasilkan oleh bakteri metanogen sebelum lepas ke atmosfer (Nonci et al, 2015).

Gas metan dapat dimetabolisme oleh bakteri metanotrof karena bakteri ini memiliki sistem enzim spesifik yaitu metan monooksigenase (MMO) yang mampu menambahkan satu atom oksigen ke dalam molekul metan untuk membentuk senyawa metanol. Oksidasi metan tahap pertama oleh enzim MMO menghasilkan metanol, kemudian metanol dehidrogenase mengkatalis reaksi oksidasi metanol menjadi formaldehid. Reaksi selanjutnya yaitu oksidasi formaldehid menjadi format oleh

formaldehid dehidrogenase. Asimilasi formaldehid dapat terjadi melalui dua lintasan utama, yaitu lintasan serin atau lintasan ribulosa monophosphat (RuMP) (White, 2008). Lahan sawah yang tergenang dan banyak mengandung metan menyebabkan perbedaan gradien konsentrasi air di sekitar akar dengan ruang antar sel pada akar sehingga  $\text{CH}_4$  terlarut terdifusi ke dalam jaringan-jaringan pembuluh tanaman (Wiryaningtyas, 2011).

Pada pembuluh aerenkim daun, batang, dan akar padi terjadi pertukaran gas dari dalam tanah ke udara. Perbedaan gradien konsentrasi air di sekitar akar dengan ruang antar sel pada akar menyebabkan  $\text{CH}_4$  terlarut terdifusi ke dalam jaringan-jaringan pembuluh. Proses oksidasi metan pada bakteri metanotrof dikatalisis oleh enzim metan monoksigenase (MMO). Enzim ini mampu memutus ikatan O-O. Satu atom oksigennya akan berikatan dengan metan membentuk metanol, sedangkan atom oksigen yang lain akan direduksi menjadi  $\text{H}_2\text{O}$ . Terdapat dua jenis enzim metan monoksigenase, yaitu enzim metan monoksigenase terlarut (sMMO) dan enzim metan monoksigenase terikat membran (pMMO) (Wiryaningtyas, 2011).





## **BAB IV**

# **BAKTERI METANOTROF**



Gas CH<sub>4</sub> dihasilkan secara biologis oleh aktivitas mikroba yaitu aktivitas bakteri metanogen melalui penguraian atau pembusukan bahan-bahan organik yang terjadi pada lahan basah, lahan sawah dan fermentasi renterik pada ruminant (Septeyadi, 2019). Bakteri *metanotrof* adalah mikroorganisme aerobik yang mampu tumbuh dan berkembang dengan metan sebagai satu-satunya sumber energi (Theowidavitya, 2019). Oleh karena itu, oksidasi metan dapat terjadi pada lingkungan mikro yang bersifat aerobik pada zona perakaran dan bahkan pada lapisan tanah yang tinggi toksisitas mineralnya. Proses oksidasi metan diinisiasi oleh enzim metan monooksigenase yang mengubah metan menjadi metanol dan mampu mendegradasi senyawa-senyawa polutan (Graham *et al.* 1992).

Emisi CH<sub>4</sub> dari lahan sawah disebabkan oleh produksi CH<sub>4</sub> oleh metanogen. Fluks CH<sub>4</sub> di lahan sawah dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti praktek pengelolaan air, pemupukan organik dan anorganik, sifat fisikokimia dan geokimia tanah, suhu tanah dan udara, komposisi dan aktivitas mikroorganisme tanah, dan karakter fisiologi tanaman masing-masing kultivar padi (Bodelier *et al.*, 2000). Hal tersebut bahwa pemupukan dapat mempengaruhi produksi metan yang ada dilahan padi sawah.

Bakteri *metanotrof* yang ada pada lahan sawah adalah satu-satunya mikroorganisme yang dapat menggunakan CH<sub>4</sub> sebagai bagian proses metabolismenya untuk kemudian diubah menjadi CO<sub>2</sub> (Devi, 2019).

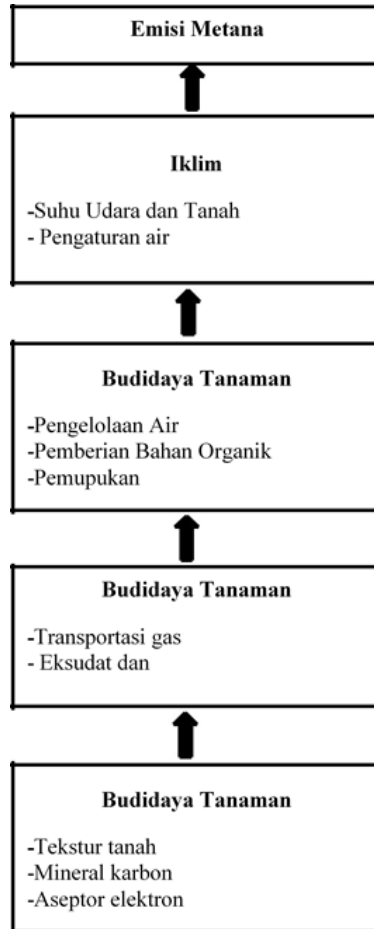
Kehadiran bakteri metanotrof pada daerah *rhizosfer* tanaman padi sangat dibutuhkan untuk mereduksi metan yang dihasilkan oleh bakteri metanogen sebelum lepas ke atmosfer. Penelitian mengenai bakteri *methanotof* telah banyak dilakukan dan salah satu kharakteristiknya ditemukan bahwa bakteri tersebut memiliki sistem enzim yang spesifik yaitu metan monooksigenase (MMO) (Nonci *et. al*, 2015).

Bakteri metanotrof merupakan salah satu jenis mikroba tanah yang mampu mengoksidasi senyawa gas metan. Bakteri metanotrof juga memiliki enzim monooksigenase (MMO) yang digunakan atau berperan untuk dalam proses pengoksidasian 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 (Hapsary, 2008). Kehadiran bakteri metanotrof pada daerah rhizosfer akar tanaman padi sangat utama dibutuhkan untuk mereduksi gas metan yang dihasilkan oleh bakteri metanogen sebelum lepas ke atmosfer. Penelitian mengenai bakteri metanotof telah banyak dilakukan dan salah satu kharakteristiknya ditemukan bahwa bakteri metanotrof tersebut memiliki sistem enzim yang spesifik tunggal yaitu metanmonooksigenase (MMO) (Maimuna *et al*, 2015).

Bakteri metanogen dapat menggunakan beberapa jenis substrat sebagai sumber C dan energi, seperti CO<sub>2</sub>, CO, asam formiat, dan beberapa senyawa yang termetilasi yaitu metanol, asetat, trimetilamin, dan dimetilsulfit. Bahan organik menstimulasi produksi metana sebagai akibat peningkatan produksi fermentasi yang berupa asam organik sederhana dan ion hidrogen untuk membentuk CH<sub>4</sub> (Dubey, 2005). Isolat BGM 9 adalah bakteri metanotrof yang diisolasi dari tanah sawah irigasi di bogor. Isolat BGM 9 memiliki kemampuan oksidasi metan tertinggi diantara bakteri hasil isolasi lainnya dan memiliki aktivitas sMMO (soluble Metan Monooksigenase) (Hapsary, 2008).

Menurut identifikasi yang dilakukan oleh Astuti (2009), Bakteri BGM 9 memiliki kemiripan sebesar 85% dengan *methylococcus capsulatus* strain Texas yang memiliki ciri-ciri sel bulat dengan penataan rantai, gram negatif, tidak membentuk spora, dan non-metil. Bakteri metanotrof adalah mikroorganisme aerobik yang mampu tumbuh dan berkembang dengan metan sebagai satu-satunya sumber energi. Oleh karena itu, oksidasi metan dapat terjadi pada lingkungan mikro yang bersifat erobik pada zona perakaran dan bahkan pada lapisan tanah yang tinggi toksisitas mineralnya. Proses oksidasi metan diinisiasi oleh enzim metan monooksigenase yang mengubah metan menjadi metanol dan mampu mendegradasi senyawa-senyawa polutan. Kehadiran bakteri metanotrof pada daerah rhizosfer tanaman padi sangat dibutuhkan untuk mereduksi metan yang dihasilkan oleh bakteri metanogen sebelum lepas ke atmosfer. Penelitian mengenai bakteri metanotrof telah banyak dilakukan dan salah satu karakteristiknya yang ditemukan bahwa bakteri metanotrof tersebut yaiyu memiliki sistem enzim yang spesifik yaitu metan monooksigenase (MMO) (Maimuna *et al.*, 2015).

Menurut Watanabe (1984), menyatakan besarnya variasi emisi metana yang terbentuk disebabkan beberapa faktor seperti nampak pada (Gambar 1.) Dibawah ini.



Gambar. 1 Terjadinya Emisi Metana yang Dipengaruhi oleh sepuluh faktor (Watanabe, 1984).

#### 4.1 Kelompok Bakteri Metanotrof

Bakteri metanotrof terbagi menjadi beberapa kelompok, antara lain *Gammaproteobacteria*, *Alphaproteobacteria*, dan *Verrucomicrobia*. Sebagian besar metanotrof merupakan C1 obligat, yaitu hanya dapat memanfaatkan senyawa C1 seperti metanol dan metana. Namun, beberapa metanotrof diketahui sebagai pengguna

C1 fakultatif yang tidak hanya dapat memanfaatkan metanol dan metana, tetapi juga dapat menggunakan senyawa yang mengandung lebih dari 1 karbon, seperti asetat, piruvat, suksinat, malat, dan etanol sebagai sumber karbon dan energi. Beberapa bakteri metanotrof pengguna C1 fakultatif yaitu *Methylocystis heyeri* H2T dan *Methylocystis echinoides* IMET10491T yang dapat menggunakan asetat (Belova *et al.*, 2011).

Produksi CH<sub>4</sub> berkaitan erat dengan aktivitas mikroba yaitu aktivitas metanogenik yang berlangsung pada ekosistem anaerob sedangkan oksidasi CH<sub>4</sub> dilakukan oleh metanotrof pada site aerob. Perilaku CH<sub>4</sub> dalam tanah erat berkaitan dengan aktivitas mikroba (Ohta, 2005). Sifat tanah berpengaruh kuat terhadap kehidupan mikroba. Mengetahui hubungan antara sifat tanah, mikroba dan CH<sub>4</sub> pada berbagai macam pertanaman sangatlah penting sebagai dasar untuk memahami mekanisme yang terlibat dalam produksi CH<sub>4</sub>. Sementara ini kajian CH<sub>4</sub> dan mikroba pada berbagai macam budidaya pertanaman masih terbatas. Mengetahui hubungan antara sifat tanah, mikroba dan CH<sub>4</sub> pada berbagai macam pertanaman sangatlah penting sebagai dasar untuk memahami mekanisme yang terlibat dalam produksi CH<sub>4</sub>. Sementara ini kajian CH<sub>4</sub> dan mikroba pada berbagai macam budidaya pertanaman masih terbatas. (Suprihati *et al.*, 2006).

Beberapa bakteri metanotrof memiliki kemampuan memfiksasi N<sub>2</sub> sebagai sumber nitrogen. Awalnya hanya bakteri metanotrof tipe II dan X yang diketahui mampu memfiksasi N<sub>2</sub> (Murrell dan Dalton 1983), namun penelitian Auman *et al.* (2001) membuktikan bahwa kemampuan fiksasi N<sub>2</sub> tersebar luas pada bakteri metanotrof,

termasuk tipe I dan tipe II. Kelompok bakteri metanotrof tipe I dan II memiliki gen *nifH* dan aktivitas nitrogenase yang berkisar antara 0.4 dan 3.3 nmol menit<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> protein. Menurut Dedysh et al. (2004), bakteri metanotrof asidofilik juga diketahui memiliki gen *nifH* dan *nifD* yang menyandikan kompleks enzim nitrogenase, antara lain *Methylocella* dan *Methylocapsa* yang merupakan anggota *Alphaproteobacteria*. *Methylococcus capsulatus* (*Gammaproteobacteria*) dan kelompok *Methylosinus/Methylocystis* (*Alphaproteobacteria*) yang masing-masing termasuk bakteri metanotrof tipe I dan tipe II terbukti memiliki gen *nifH* dan *nifD*.

Bakteri metanotrof dapat memfiksasi N<sub>2</sub> pada tekanan oksigen (pO<sub>2</sub>) tertentu. Murrell dan Dalton (1983) melaporkan bahwa bakteri metanotrof tipe II kurang sensitif terhadap oksigen dibandingkan *Methylococcus capsulatus* Bath (bakteri metanotrof tipe X). Fiksasi N<sub>2</sub> oleh bakteri metanotrof tipe II dapat bertahan pada tekanan O<sub>2</sub> hingga 0.2 bar, sedangkan fiksasi N<sub>2</sub> oleh *Methylococcus capsulatus* Bath terhambat pada tekanan oksigen lebih dari 0.15 bar. Beberapa bakteri metanotrof diketahui mampu tumbuh pada medium nitrate-free mineral salt (NFMS) dengan CH<sub>4</sub> sebagai donor elektron dan tekanan O<sub>2</sub> kurang dari 0.2 bar, antara lain *Methylocapsa acidiphila* B2 (bakteri metanotrof asidofilik) pada kisaran 0.18-0.19 bar, *Methylobacter luteus* (bakteri metanotrof tipe I) kurang dari 0.02 bar, dan *Methylocystis echinoides* IMET 10491 (bakteri metanotrof tipe II) pada kisaran 0.15-0.17 bar (Dedysh et al., 2004).

Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa isolat bakteri metanotrof *M. rosea* BGM1, *M. parvus* BGM3, *M. capsulatus* BGM9,

dan *Methylobacter* sp. SKM14 memiliki kemampuan dalam memfiksasi N<sub>2</sub> yang teramati dari kemampuannya mengakumulasi ammonium secara *in vitro* berturut-turut sebesar 46, 39, 47, dan 15  $\mu$ M pada suhu ruang selama 14 hari inkubasi (Sagala, 2009). Isolat BGM1, BGM3, dan BGM9 diketahui memiliki aktivitas nitrogenase masing-masing sebesar 10.9, 7.1, dan 15.3 nM jam<sup>-1</sup> mL kultur<sup>-1</sup> (Maisaroh, 2009). Isolat BGM3 dan BGM9 juga terbukti memiliki gen *nifH* dan *nifD* yang masing-masing menyandikan dinitrogenase reductase (protein Fe) dan subunit  $\alpha$  dari dinitrogenase (protein Fe-Mo) (Bintarti et al. 2014).

Kehadiran bakteri metanotrof pada daerah rhizosfer tanaman padi sangat dibutuhkan untuk mereduksi metan yang dihasilkan oleh bakteri metanogen sebelum lepas ke atmosfer. Penelitian mengenai bakteri methanotof telah banyak dilakukan dan salah satu kharakteristiknya ditemukan bahwa bakteri tersebut memiliki sistem enzim yang spesifik yaitu metan monooksigenase (MMO). Berdasarkan fakta tersebut maka dibutuhkan penelitian untuk memperoleh bakteri tersebut, karena aplikasi bakteri methanorof sebagai agen pereduksi gas metan dapat menjadi salah satu solusi untuk mengurangi emisi gas metan di lahan sawah (Nonci et al., 2015).

Kondisi tanah yang tergenang menyebabkan suasana reduktif di dalam tanah sehingga pertumbuhan bakteri metanogen meningkat. Seiring dengan peningkatan produksi padi, emisi CH<sub>4</sub> juga semakin meningkat jika di dalam pengelolaannya tidak diiringi dengan upaya penurunan emisi. Salah satu upaya untuk menekan emisi CH<sub>4</sub> yaitu dengan pemanfaatan mikrob metanotrof. Mikrob ini akan

memanfaatkan metan sebagai sumber karbon dan energinya (Wiryaningtyas, 2011).

Proses oksidasi metan diawali dari katalisasi metan menjadi metanol dengan menggunakan bantuan enzim metan monooksigenase (MMO). Enzim MMO bekerja dengan mekanisme memutus ikatan O-O. Satu atom oksigennya akan berikatan dengan metan membentuk metanol, sedangkan atom oksigen yang lain akan direduksi menjadi H<sub>2</sub>O. Terdapat dua jenis enzim metan monooksigenase yaitu enzim metan monooksigenase terlarut (sMMO) dan enzim metan monooksigenase terikat membran (pMMO) (Wiryaningtyas, 2011).



## **BAB V**

### **PEMUPUKAN NPK**



## 5.1 Pupuk Anorganik

Peningkatan produksi dari segi budidaya dilakukan dengan pemberian pupuk anorganik terutama pupuk unsur makro tanpa adanya penambahan bahan organik. Penggunaan pupuk kimia yang secara terus menerus tanpa diikuti pemberian pupuk organik dapat menurunkan kualitas sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Penambahan bahan organik khususnya pada tanah sawah sangat diperlukan karena, 95% lahan-lahan pertanian di Indonesia mengandung bahan organik kurang dari 1%, padahal batas minimal kandungan bahan organik yang dianggap layak untuk lahan pertanian adalah 4 - 5% (Musnamar, 2006).

Pertanian organik belum dapat diterapkan secara murni. Pada tahap awal penerapan pertanian organik masih perlu dilengkapi dengan pupuk anorganik, hal ini disebabkan karena pada pupuk organik mengandung kadar unsur hara sangat rendah sehingga memerlukan dosis yang sangat tinggi yang menyebabkan kurang ekonomis. Pupuk anorganik masih tetap diperlukan agar takaran pupuk organik tidak terlalu banyak diberikan (Sutanto, 2002).

Pupuk anorganik merupakan pupuk yang dibuat di pabrik secara kimia. Pupuk anorganik dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah

hara yang menyusunnya, yaitu pupuk tunggal dan pupuk majemuk. Pupuk tunggal merupakan pupuk yang mengandung hanya satu unsur hara. Contoh pupuk tunggal adalah urea (N), SP-26 (super fosfat-unsur P) dan KCl (Kalium Chlorat-unsur K) Sedangkan pupuk majemuk merupakan pupuk yang mengandung lebih dari satu unsur. Pupuk memenuhi syarat sebagai pupuk majemuk NPK apabila total pupuk N,  $P_2O_5$  dan  $K_2O$  minimal 30%. Contoh pupuk majemuk Phonska 15-15-15, Pelangi 20-10-10, dan Mutiara 16-16-16. Pupuk majemuk juga dapat ditambah dengan hara S, Mg atau unsur hara mikro (Cu dan Zn) (Kasno, 2000).

## 5.2 Pupuk NPK

Proses pemupukan adalah faktor terpenting dari pertanaman padi dilahan sawah, karena tingkat hasil padi antara lain ditentukan oleh ketersediaan hara N dalam tanah, walaupun tanaman yang diberi pupuk N memperoleh 50-80% hara N dari tanah. Dalam budidaya padi, petani umumnya hanya memberikan pupuk N karena mahalnya harga pupuk. Disamping itu, karena penggunaan pupuk P (SP-36) dan K (KCl) tidak memperlihatkan pengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman, petani jarang menggunakan kedua jenis tersebut.

Pupuk majemuk (NPK) merupakan salah satu pupuk anorganik yang dapat digunakan sangat efisien dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara makro (N,P dan K), menggantikan pupuk tunggal seperti urea, SP-36, dan KCl yang kadang-kadang susah diperoleh dipasaran dan sangat mahal. Pemupukan NPK yang merupakan pupuk majemuk yang terdapat unsur N merupakan

salah satu unsur esensial yang bersifat sangat mobil, baik di dalam tanah maupun didalam tanaman. Selain itu nitrogen bersifat sangat mudah larut dan mudah hilang ke atmosfer. Akibat kekurangan nitrogen pada tanaman tidak normal dan menurunkan produktivitasnya. Nitrogen yang tersedia untuk tanaman adalah bentuk amonium dan nitrat, namun pada tanah tergenang (sawah/rawa) bentuk ammonium lebih stabil dan langsung dapat diserap tanaman seperti padi (Hanafiah, 2010).

Peranan unsur N dalam tanaman yang terpenting adalah sebagai penyusun atau sebagai bahan dasar protein dan pembentukan klorofil karena itu N mempunyai fungsi membuat bagian-bagian tanaman menjadi lebih hijau, banyak mengandung butir-butir hijau dan yang terpenting dalam proses fotosintesis, mempercepat pertumbuhan tanaman yang dalam hal ini menambah tinggi tanaman dan jumlah anakan, menambah ukuran daun dan besar gabah serta memperbaiki kualitas tanaman dan gabah, menambah kadar protein beras, meningkatkan jumlah gabah dan persentase jumlah gabah isi, serta menyediakan bahan makan bagi mikroba (Dobermann and Fairhurst, 2000). Hal ini menunjukkan bahwa bakteri juga dapat mengambil makanan dari nitrogen yang diberikan melalui proses pemupukan.

### 5.2.1 *Unsur hara Pupuk NPK*

Unsur hara atau nutrisi tanaman merupakan faktor penting bagi pertumbuhan tanaman yang dapat diibaratkan sebagai zat makanan bagi tanaman. Sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan tanaman, unsur hara di bagi menjadi dua kelompok, yaitu unsur

hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro merupakan unsur hara yang diburuhkan tanaman dalam jumlah banyak, antara lain, fosfor (P), kalium (K), nitrogen (N) belerang (S), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg). unsur hara primer (N, P, K) dan unsur hara sekunder (S, Ca, Mg), sedangkan yang tergolong unsur hara mikro (dibutuhkan dalam jumlah kecil, antara lain besi (Fe), boron (B), mangan (Mn) seng (Zn), tembaga (Cu) dan molybdenum (Mo). Unsur hara makro N, P dan S adalah unsur yang merupakan bagian integral dari protein tanaman, jumlah energi yang dibutuhkan bagi penyerapan aktif unsur hara tanaman diperoleh dari respirasi karbohidrat yang terbentuk sebagai hasil dari fotosintesis tanaman. Oleh karenanya sejumlah faktor yang mengurangi laju fotosintesis, akan mengurangi suplai energi di dalam tanaman dalam waktu yang lama dan akibatnya mengurangi laju penyerapan unsur hara (Sugito, 2012).

Pemupukan merupakan suatu usaha mencukupi kebutuhan hara tanaman, memperbaiki proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman, menyebabkan akar akan lebih berkembang masuk kedalam tanah, dan dapat lebih baik dalam menggunakan persediaan air dari lapisan bawah tanah. Tanaman yang mendapatkan cukup unsur hara dapat menyelesaikan siklus hidupnya akan menjadi lebih cepat, sedangkan tanaman yang kekurangan unsur hara mengalami masa pemanenan yang cukup lama, tetapi jika tanaman kelebihan unsur hara juga tidak baik karena dapat meracuni tanaman karena terlalu berlebihan, sehingga proses pertumbuhan dan perkembangannya akan terganggu (Tim Karya Tani Mandiri, 2010).

Efisiensi pemupukan tidak hanya berperan penting dalam meningkatkan produksi dan pendapatan petani, tetapi juga terkait dengan keberlanjutan sistem produksi. Menurut Zakaria (2014), pemupukan harus memperhatikan pemahaman tentang penggunaan pupuk yang efisien seperti tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, dan tepat cara. Menurut Suradisastra et al. (2010), kemunduran (kerusakan tanah) kesuburan tanah secara fisik, kimia dan biologi akan menyebabkan penurunan produktivitas dan daya lahan karena aktivitas manusia/penyebab lain yang merugikan. Ketidakseimbangan hara, kadar bahan organik tanah dan lapisan tapak bajak merupakan penyebab lahan sawah terdegradasi. Selain itu, untuk mengatasi degradasi kesuburan tanah sawah diperlukan teknologi seperti perbaikan dosis pupuk sesuai konsep pemupukan berimbang, pengembalian biomassa, penggunaan pupuk organik, dan pengelolaan tanah (baik secara fisik maupun secara biologi).

Pemberian pupuk yang tepat dan seimbang pada tanaman khususnya padi akan menurunkan biaya pemupukan, takaran pupuk juga lebih rendah, hasil padi relatif sama, tanaman lebih sehat, mengurangi hara yang terlarut dalam air, dan menekan unsur berbahaya yang terbawa dalam makanan (Partohardjono, 1999).

Tujuan dilakukan pemupukan adalah untuk mencukupi kebutuhan hara tanaman karena tanah miskin hara, pertumbuhan tanaman terhambat walaupun sudah dilakukan penyiangan dan ditemukan gejala kekurangan unsur hara, pertumbuhan tanaman perlu dipercepat untuk mengurangi risiko akibat persaingan dengan gulma, dan ingin meningkatkan hasil pertambahan pertumbuhan per satuan luas pada akhir daur (Rajiman, 2020).

Pupuk NPK merupakan pupuk anorganik majemuk yang dimana kandungan unsur hara dalam pupuk majemuk dinyatakan dalam tiga angka berturut-turut menunjukkan kadar N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dan K<sub>2</sub>O. Pupuk majemuk umumnya dibuat dalam bentuk butiran yang seragam sehingga memudahkan dalam pengaplikasian sehingga penaburan merata (Afif, 2015).

Nitrogen (N) merupakan salah satu unsur hara makro yang relatif banyak dibutuhkan tanaman. Nitrogen di dalam tanah merupakan unsur hara yang sangat penting karena dibutuhkan tanaman dalam proses pembentukan protein, menaikkan potensi pembentukan daun dan untuk berbagai persenyawaan organik lainnya. (Fadli, 2013). Pemberian N yang tepat waktu, ke tanaman adalah suatu usaha yang dapat meningkatkan efisiensi N, sedangkan tiga kali pemberian pupuk N pada padi sawah biasa disarankan untuk mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi. Disamping itu, mengetahui kapan tanaman padi benar-benar memerlukan tambahan pupuk N akan sangat membantu, dan ini dapat memberikan peningkatan efisiensi serapan N yang nyata.

Nitrogen mempunyai peran penting bagi tanaman padi yaitu: mendorong pertumbuhan tanaman yang cepat dan memperbaiki tingkat hasil dan kualitas gabah melalui peningkatan jumlah anakan, pengembangan luas daun, pembentukan gabah, pengisian gabah, dan sintesis protein. Tanaman padi yang kekurangan nitrogen anakannya sedikit dan pertumbuhannya kerdil. Daun berwarna hijau kekuning-kuningan dan mulai mati dari ujung kemudian menjalar ke tengah helai daun. Sedangkan jika nitrogen diberikan berlebih akan mengakibatkan kerugian yaitu: melunakkan jerami

dan menyebabkan tanaman mudah rebah dan menurunkan kualitas hasil tanaman. Ada tiga hal yang menyebabkan hilangnya Nitrogen (N) dari tanah yaitu: 1) nitrogen dapat hilang karena tercuci bersama air drainase, 2) penguapan dan 3) diserap oleh tanaman. Keberadaan nitrogen pada tanah sawah sangat mempengaruhi pertumbuhan vegetatif pada tanaman padi sawah (Patty et al., 2013).

Fosfor (P) merupakan unsur yang diperlukan dalam jumlah besar (hara makro). Fosfor di dalam tanah tidak sepenuhnya ada dan tergantung pada sifat dan ciri tanah serta pengelolaan tanah. Pertambahan P di dalam tanah tidak terjadi dengan pengikatan biokimia seperti N, tetapi hanya bersumber dari deposit atau batuan dan mineral yang mengandung fosfat di dalam tanah (Saputra, 2016).

Unsur fosfor (P) merupakan unsur esensial bagi tanaman karena merupakan faktor pembatas yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman. Pada tanaman padi, unsur P (fosfor) berperan dalam mendorong pertumbuhan dan perkembangan akar, memicu pembungaan dan pematangan buah terutama pada kondisi iklim rendah, mendorong lebih banyak pembentukan rumpun/anakan yang memungkinkan pemulihan dan adaptasi yang lebih cepat pada saat tanaman padi mengalami cekaman, dan mendukung pembentukan bulir gabah yang lebih baik serta memiliki kandungan gizi yang lebih baik (Aisyah et al, 2010).

Kalium (K) juga merupakan unsur hara esensial (yang dibutuhkan dalam jumlah banyak) bagi tanaman. Kalium dalam tanah berasal dari proses pelapukan mineral tanah. Kalium dibutuhkan tanaman untuk membantu proses pembentukan protein

dan karbohidrat, memperkuat batang, akar, daun dan bunga tanaman. Defisiensi unsur kalium dalam tanaman dapat menyebabkan tanaman menjadi kerdil dan menurunkan produksi tanaman (Sihaloho, 2019).

### 5.2.2 Peranan Pupuk NPK

Unsur hara NPK mempunyai peranan yang sangat penting terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman, ketiga unsur tersebut saling berinteraksi satu sama lain dalam menunjang pertumbuhan tanaman. Unsur hara nitrogen (N) dapat diperoleh dari pupuk urea dan Z, unsur hara posfor (P) diperoleh dari pupuk TSP/SP-36 dan unsur hara kalium (K) diperoleh dari pupuk KCl (Rauf et al., 2000).

Rekomendasi pupuk untuk tanaman padi di Kecamatan Bajeng, Kabupaten Gowa, dalam satuan kg per ha, yakni pupuk tunggal diantaranya urea 250 kg/ha, ZA 100 kg/ha, SP-36 50 kg/ha dan KCl 50 kg/ha, sedangkan pupuk majemuk diantaranya NPK 175 kg/ha, urea 150 kg/ha, dan ZA 100 kg/ha (BPPP, 2020).

Unsur hara N adalah unsur hara yang cepat terlihat pengaruhnya terhadap tanaman, adapun peranan dari hara N yaitu merangsang pertumbuhan vegetatif (batang dan daun), meningkatkan jumlah anakan dan meningkatkan jumlah bulir/rumpun. Unsur hara P memiliki peranan yaitu dapat memacu terbentuknya bunga dan bulir pada malai, perkembangan akar halus dan akar rambut, memperkuat jerami sehingga tidak mudah rebah dan memperbaiki kualitas gabah. Unsur hara K memiliki peranan utama sebagai aktivator berbagai enzim, dengan adanya kalium dapat merangsang pertumbuhan akar, tanaman lebih tahan terhadap hama dan

penyakit, memperbaiki kualitas bulir dan dapat mengurangi pengaruh kematangan yang dipercepat oleh posfor (Rauf et al., 2000).





## **BAB VI**

# **TEKNIK ISOLASI, IDENTIFIKASI DAN PEMANFAATAN MIKROBA *METANOTROPH***



Teknis dan cara isolasi, identifikasi dan pemanfaatan mikroba metanotroph, terdiri dari dua tahapan, yaitu: (1) isolasi, karakterisasi morfologi dan mengidentifikasi isolate serta perbanyak isolate metanotroph, (2) mempelajari efek inokulasi terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi sawah.

## **6.1 Isolasi, Identifikasi Mikroba Metanotroph Asal Sidrap**

### **6.1.1 Tahapan Isolasi Koleksi dan identifikasi Isolat.**

Alat-alat yang digunakan dalam teknik isolasi dan identifikasi dibagi menjadi dua yaitu peralatan laboratorium dan peralatan lahan. Peralatan laboratorium antara lain: cawan petri, tabung reaksi, rak tabung, *hotplate*, autoclaf, oven, timbangan analitik, LAF (*Laminar Air Flou*), pipet tetes, bunsen, mortal, labu ukur, gelas ukur, labu elemeyer 500 ml, labu elemeyer 250 ml, incubator shaker, neraca analitik, tube, spatula, jarum ose, korek api, mikro pipet, batang pengaduk, sendok, vorteks, botol pial, dan kulkas. Adapun peralatan yang digunakan di lapangan antara lain: bajak, rotary, cangkul, meteran, patok, papan perlakuan, timbangan, kamera digital, wadah plastik, mesin air dan alat panen.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini baik di laboratorium maupun yang dipergunakan di lapangan. Bahan yang

digunakan di laboratorium antara lain: sampel tanah yang berasal dari Kabupaten Sidrap, Na<sub>2</sub>EDTA, FeSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, CoCl<sub>2</sub>, 6H<sub>2</sub>O, ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>. 2H<sub>2</sub>O, NiCl<sub>2</sub>. 6H<sub>2</sub>O, CaCl. 2H<sub>2</sub>O, MgSO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, KOH 3%, bacto tryptone, NaCl, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, bacto BTB (*Bromitol Blue*), bacto agar, aquades, alkohol 96 %, alkohol 70 %, agar, *Nutrium Brotrh* (NB), spiritus, *aluminium foil*, tissu, dan plastik wrab, kertas label. Bahan yang digunakan di lapangan antara lain: benih padi sawah IR66, pupuk anorganik (NPK), pupuk hayati, kompos dan kertas bekas.

## 6.2 Tahapan Pengujian Isolate pada Tanaman Padi Sawah

Rancangan pada percobaan ini, menggunakan RPT dengan 3 ulangan yaitu terdiri dari petak utama adalah pupuk NPK (P) dan anak petak menggunakan bakteri *Metanotrof* (M).

Petak utama dengan 4 taraf yaitu:

P0: tanpa pupuk NPK

P1: 75 g/petak

P2: 150 g/petak

P3: 300 g/petak

Adapun anak petak dalam percobaan ini adalah pemberian bakteri *Metanotrof* (M) yang terdiri dari 4 taraf yaitu:

M0: tanpa pemberian bakteri

M1: 10<sup>6</sup> CFU/mL

M2: 10<sup>7</sup> CFU/mL

M3: 10<sup>8</sup> CFU/mL

## 6.3 Pelaksanaan Penelitian

### 6.3.1 Pelaksanaan Penelitian di Laboratorium

#### 1. Perbanyak Bakteri *Metanotrof*

##### a) Pengambilan sampel

Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah dari Kabupaten Sidenreng-Rappang. Sampel diambil dengan cara menancapkan spoit 10 ml di zona perakaran tanaman padi (kedalaman sekitar 3 cm) pada sawah yang tergenang. Setelah spoit terisi penuh dengan sedimen (lumpur sawah) maka segera ditutup dan dimasukkan di dalam plastik untuk dibawa ke laboratorium.

##### b) Persiapan Media

1. Media yang digunakan adalah media *Nutrient Mineral Salt* (NMS) yang terdiri atas *treas element* 0,25 mL, aquades 500 mL, dan agar 6 g.
2. Menyiapkan alat dan bahan. Masukkan agar dan *treas element* ke dalam elemeyer 500 ml lalu ditambahkan aquades sebanyak 500 mL. menghomogenkan media diatas *hot plate*, lalu disterilisasikan menggunakan autoclaf pada tekanan 0,1 Megapascal (Mpa) dan suhu 121°C selama 15 menit. Kemudian media yang telah disterilisasi didinginkan (didiamkan) hingga suhu mencapai  $\pm 45-50^{\circ}\text{C}$ . menuangkan media sekitar 15 ml ke dalam cawan petri yang steril. Goyangkan cawan petri agar permukaan media merata dan diamkan sampai padat lalu wrapping.

c) Perbanyak *Metanotrof*

1. Tahap perbanyak di media *Nutrient Broth* (NB)

Menimbang *Nutrient Broth* sebanyak 13 gram. Menuangkan *Nutrient Broth* ke dalam botol 1000 ml. masukkan aquades sebanyak 1000 mL aduk sampai rata. Kemudian *Nutrient Broth* disterilisasi didinginkan kemudian menambahkan sampel tanah sebanyak 1 gram aduk hingga rata. Lalu di *shaker* selama  $\pm 1-2$  hari.

2. Tahap perbanyak di media *Nitrat Mineral Salt* (NMS)

Perbanyak dilakukan dengan memindahkan isolat dari media *Nutrient Broth* menggunakan mikro pipet kedalam media *Nitrat Mineral Salt* sebanyak 1 ml, lalu diinkubasi dengan menyimpan media ditempat dengan suhu kamar selama 3-7 hari (Lampiran 2).

3. Isolasi berdasarkan Reaksi Gram

Inkubasi yang telah memperoleh koloni tunggal kemudian di analisis dengan pengujian reaksi gram dengan tujuan manakah bakteri yang termasuk gram positif dan bakteri gram negatif, dengan cara menggores dengan menggunakan jarum ose kemudian dioleskan di gelas objek. Setelah itu diberi larutan KHO 3 % sebanyak 1 tetes, lalu diaduk hingga rata sekitar 5 detik, koloni yang berlendir termasuk reaksi positif (bakteri gram negatif) sebaliknya bakteri yang tidak berlendir termasuk reaksi negatif (bakteri gram positif).

#### 4. Isolasi berdasarkan Pengujian Aerob/Anaerob

Isolat yang termasuk reaksi gram negatif selanjutnya diuji aerob/anaerob dengan menggunakan media OF (Oksidatif Fermentatif) yang sudah disterilisasi, dengan bahan yang digunakan untuk menguji. Selanjutnya inokulasi bakteri dilakukan pada dua tabung reaksi yaitu tabung tertutup dan tabung terbuka dan diinkubasi pada suhu kamar. Perubahan warna yang terjadi pada media OF akan menentukan kategori bakteri tersebut. Apabila terjadi perubahan warna biru menjadi kuning pada tabung tertutup mengidentifikasi positif untuk pertumbuhan anaerob (berarti terjadi fermentasi) begitu sebaliknya



(a)



(b)



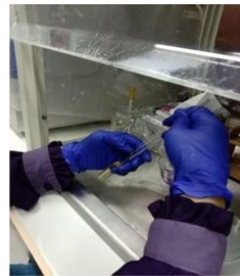
(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Gambar. 2 Proses Pembuatan Media OF

- a.) Menimbang bahan,
- b.) Mengaduk bahan hingga homogen,
- c.) Menuangkan larutan ke dalam tabung reaksi,

- d.) Menambahkan bromotil blue,
- e.) Hasil yang telah ditambahkan bromotil blue,
- f.) Menanam bakteri dengan menggunakan jarum ose, aduk hingga merata.
- g.) Hasil media Oksidatif Fermentatif (OF) setelah 2x 24 jam.

### 6.3.2 *Pelaksanaan di Lapangan*

#### 1. *Persiapan Lahan*

Pengolahan tanah akan dilakukan dengan menggunakan traktor tangan sebanyak dua kali. Setelah pengolahan tahap pertama dengan bajak, tanah digenangi selama 2 minggu. Setelah pengolahan tanah kedua yaitu *rotary*, perataan tanah secara manual dan air yang ada dibedengan dikurangi. Plot Percobaan dibuat dengan ukuran 4 m x 3m sebanyak 12 plot setiap ulangan. Plot percobaan dibuat sebanyak 48 petak dan dibuat pematang kecil sebagai pemisah antar plot.

#### 2. *Penyemaian dan Penanaman*

Benih di rendam dengan air dengan suhu hangat kuku selama ±24 jam hingga benih tersebut terdapat muncul plumula yang berwarna putih, setelah direndam kemudian ditiriskan selanjutnya disemai dibedengan yang telah dibuat sebelumnya. Benih padi siap ditanam sekitar umur 15-20 hari. Penanaman dilakukan pada saat bibit berumur 20 hari setelah semai. Penanaman bibit pada plot mengikuti barisan sepanjang 3 m x 4 m dengan jarak tanam 25 cm x 25 cm. Sebelum bibit padi ditanam, petakan di berikan kompos sebanyak 12 kg (Lampiran 6).

#### 3. *Pemupukan*

Pemupukan pertama atau pemupukan dasar dilakukan pada saat tanaman berumur 12 HST. Pemupukan kedua dilakukan pada saat tanaman berumur 4 minggu HST sesuai dosis yang telah ditentukan.

Pemupukan ketiga dilakukan pada saat tanaman berumur 40 HST (Lampiran 6).

#### 4. Aplikasi Bakteri Metanotrof di Lapangan

*Metanotrof* diaplikasi dua minggu setelah tanam. Sebelum pengaplikasian terlebih dahulu menakar bakteri *metanotrof* sesuai konsentrasi yang telah ditentukan. Pengaplikasian dilakukan dengan menyemprot *metanotrof* menggunakan *spayer* dengan konsentrasi masing-masing  $10^6$  CFU/mL,  $10^7$ CFU/mL dan  $10^8$  CFU/mL (Lampiran 6).

#### 5. Pemeliharaan

Pemeliharaan yang dilakukan meliputi penyulaman, pemupukan, pengendalian gulma dan pengendalian OPT. Penyulaman dilakukan pada saat 1 minggu pada tanaman yang tidak tumbuh atau pada tanaman yang memiliki pertumbuhan kurang baik. Pengendalian gulma dilakukan dengan mencabut gulma yang tumbuh pada bedengan atau disekitar tanaman padi (Lampiran 6).

#### 6. Panen

Pemanenan akan dilakukan pada saat padi berumur 105-110 hari setelah tanam, padi yang siap dipanen yang ditandai dengan bulir padi semua sudah menguning (Lampiran 6).

### 6.4 Teknik Pengambilan Sampel

Metode penarikan sampel dilakukan dengan cara diagonal pada peta sawah yaitu pada setiap sudut dan bagian tengah areal pertanaman padi (sub-petak) yang masing-masing berjumlah 10 rumpun.

## 6.5 Parameter Pengamatan

Parameter pertumbuhan yang akan diamati adalah:

1. Tinggi Tanaman (cm), dihitung mulai dari pangkal batang sampai pangkal helai daun. Tinggi tanaman diamati pada saat umur tanaman padi 8 MST.
2. Jumlah Anakan (batang) per rumpun, dihitung jumlah anakan yang terbentuk dalam 10 MST.
3. Panjang malai (cm), diukur dari pangkal malai sampai ujung malai. Pengukuran dilakukan setelah panen.
4. Jumlah anakan produktif (batang) per rumpun, dihitung jumlah anakan yang menghasilkan malai pada umur padi 10 MST.
5. Hasil produksi perpetak (kg), ditimbang gabah basah setelah panen.
6. Gabah kering panen (kg) perpetak, dihitung setelah gabah dijemur.
7. Persentase (%) gabah kering giling, dihitung dengan rumus:  
$$\frac{\text{Bobot gabah kering giling}}{\text{Bobot gabah kering panen}} \times 100\%$$
8. Bobot 100 butir Gabah Kering Giling (g), ditimbang 100 biji.

## 6.6 Analisis Data

Dari hasil data yang diperoleh di lapangan dianalisis menggunakan analisis ragam. Hasil analisis ragam yang berpengaruh kemudian diuji lanjut dengan uji beda nyata terkecil (BNT) pada taraf ( $\alpha 0.05$ ).

## 6.7 Luas Lahan dan Media Tanam

Luas Lahan : 4 m X 6 m

Jarak Tanam : 25 cm x 25 cm

: Sampel tanaman padi

### Lampiran 2. Komposisi Media

Media Komponen Konsentrasi (mg L<sup>-1</sup>)

Na<sub>2</sub>EDTA 0,5

FeSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O 0,2

H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0,03

Treas elemen CoCl<sub>2</sub>. 6H<sub>2</sub>O 0,02

ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0,01

MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O 3,0

Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>. 2H<sub>2</sub>O 3,0

NiCl<sub>2</sub>. 6H<sub>2</sub>O 2,0

CaCl. 2H<sub>2</sub>O 1,0

NMS (Nitrat MgSO<sub>4</sub>, 1,0

Mineral Salt) KNO<sub>3</sub> 1,0

Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0,717

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,272

CaCl<sub>2</sub> 1,3425

NH<sub>4</sub>Cl 0,004

Uji Gram KOH 3%, 0,5

OF (Oksidatif Bacto tryptone 2,0

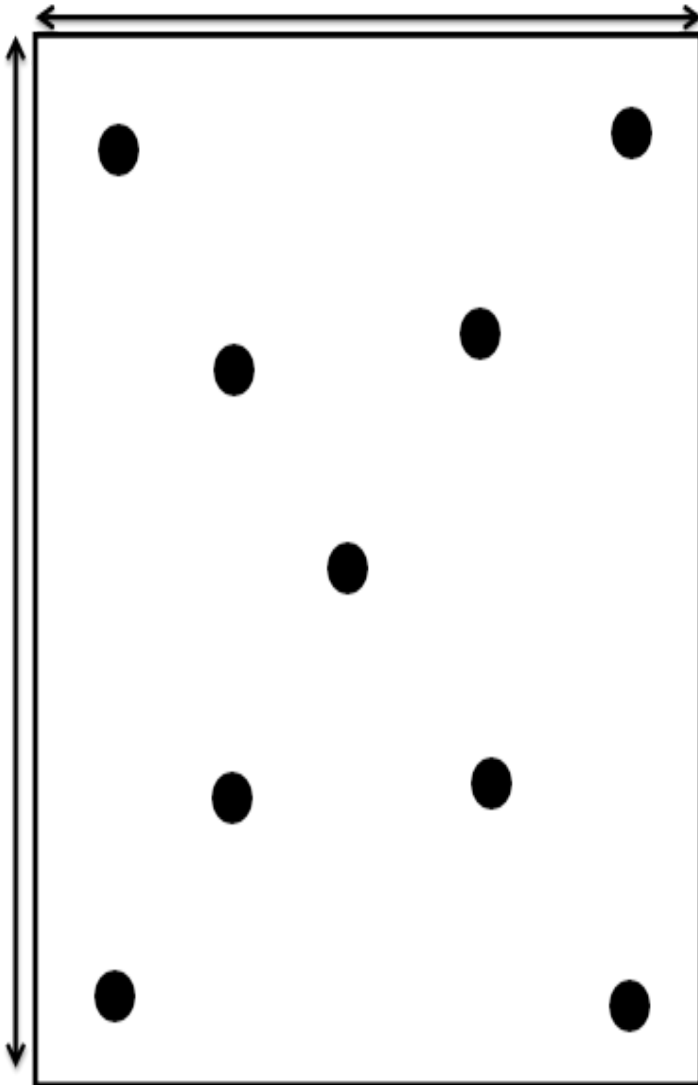
Fermentatif) NaCl, 5,0

K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0,3

Bacto BTB (Bromitol Blue) 0,08

Bacto agar 2,0

## 6.8 Denah Pengambilan Sampel







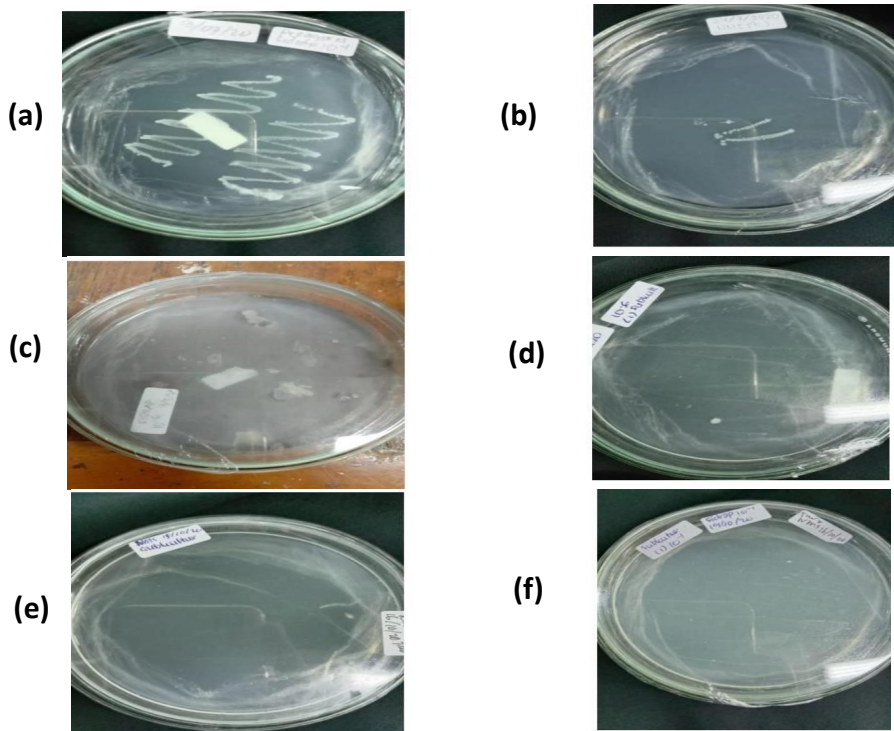
## **BAB VI**

# **HASIL TERAPAN TEKNOLOGI MIKROBA**



## 7.1 Hasil Terapan Teknologi Mikroba

### 7.1.1 Hasil Isolasi Bakteri Metanotrof



Gambar. 3 Hasil Isolasi Bakteri Metanotrof 10-6 (a), 10-6 (b), 10-7 (c), 10-7 (d), 10-8 (e) dan 10-8 (f)

Berdasarkan gambar 3. menunjukkan bahwa bakteri *metanotrof* yang telah diisolasi selama  $\pm 14$  hari sehingga didapatkan koloni tunggal dari bakteri metanotrof dengan metode zig zag.

### 7.1.2 *Isolasi dan Karakteristik Morfologi Isolat*

#### a. Pengambilan Sampel

Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah yang berasal dari sawah irigasi. Sampel diambil dengan cara menancapkan spoit 10 ml di zona perakaran tanaman padi (kedalaman sekitar 3 cm). Setelah spoit terisi penuh dengan sedimen (lumpur sawah) maka segera ditutup dan dimasukkan di dalam plastik untuk dibawa ke laboratorium.

#### b. Pembuatan Media *Nutrient Mineral Salt* (NMS)

- 1) Menyiapkan alat dan bahan untuk membuat media NMS (*Nitrat Mineral Salt*).
- 2) Menimbang bahan untuk membuat media NMS (*Nitrat Mineral Salt*), yaitu terdiri atas 20 g agar, 1 g  $\text{MgSO}_4$ , 1 g  $\text{KNO}_3$ , 0,717 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , 0,272 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0,2 g  $\text{CaCl}_2$  dan 4 mg  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
- 3) Memasukkan bahan tersebut kedalam *erlenmeyer*, tambahkan aquades sebanyak 1 liter, kemudian aduk hingga seluruh bahan terlarut.
- 4) Menambahkan 0,5 mL *trace element* kedalam larutan NMS (*Nitrat Mineral Salt*).
- 5) Memanaskan media NMS dengan menggunakan *hot plate* sampai butiran bahannya terlarut.

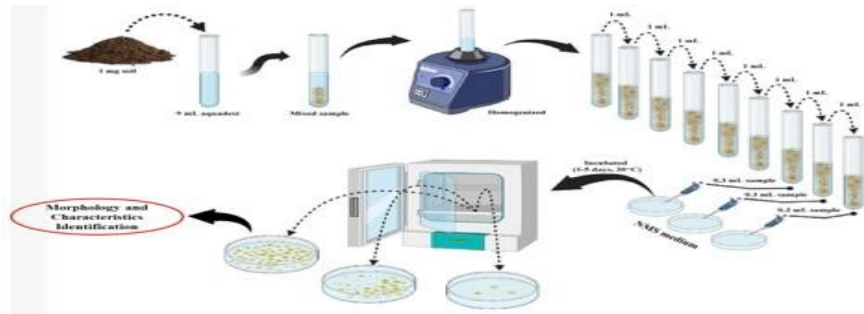
- 6) Menghomogenkan media diatas *hot plate*, lalu distrelisasi menggunakan *autoclaf* pada tekanan 0,1 Megapascal (Mpa) dan suhu 121C selama 15 ° menit. Kemudian, media yang telah disterilisasi didinginkan hingga suhu mencapai  $\pm 45-50$  °C.
- 7) Menuangkan media NMS sekitar 15 mL kedalam cawan petri yang steril pada *Laminar Air Flow* (LAF) dan memastikan seluruh permukaan cawan petri terisi dengan media agar. Lalu, diamkan media NMS hingga memadat dan rekatkan menggunakan *wrapping*.

c. Isolasi dan Permuanian

Isolasi bakteri *Metanotrof* dimulai dengan melakukan pengenceran sampel tanah yang telah digerus dan ditambah aquades sebanyak 9 mL, setelah itu gunakan mikro pipet untuk masukkan kedalam tabung  $10^{-1}$  sampai tabung  $10^{-8}$ . Selanjutnya sampel ditumbuhkan di media NMS (*Nitrat Mineral Salt*) yang merupakan media selektif. Setelah itu diinkubasi selama 10-14 hari. Hasil inkubasi diamati apakah terdapat koloni yang tumbuh,

### **7.1.3 Pengamatan Karakteristik Bakteri.**

Pengamatan karakteristik bakteri dilakukan untuk melihat karakter bakteri yang tumbuh pada media NMS. Karakterisasi morfologi bakteri dimulai dengan mengamati warna koloni, bentuk koloni, permukaan koloni, reaksi gram, uji katalase dan fiksasi Nitrogen.



Gambar. 4 Proses isolasi bakteri metanotrof diawali dengan penghalusan 1 g sampel tanah. Kemudian, sampel tanah dilarutkan dalam 9 mL akuades steril, kemudian dihomogenkan menggunakan vortex

#### 7.1.4 *Isolat berdasarkan reaksi gram.*

Inkubasi yang telah diperoleh satu koloni kemudian dianalisis dengan uji reaksi gram dengan tujuan untuk mengetahui bakteri mana yang gram positif dan gram negatif dengan cara dikerok menggunakan jarum kemudian dioleskan pada kaca objek. Setelah itu diberi larutan KOH 3% dan diaduk hingga rata selama kurang lebih 5 detik, dan koloni yang berlendir termasuk reaksi positif (bakteri gram negatif). (Powers, 1995)

#### 7.1.5 *Uji Katalase*

Pengamatan dilakukan di *Laminar Air Flow*. Membuka *wrapping* pada media biakan hasil isolasi bakteri Jarum ose yang akan digunakan celupkan kedalam alkohol 96%, di tiriskan lalu di sterilisasi secara *flaming* diatas bunsen. Terakhir diangin-anginkan. Mengambil secara halus bakteri dengan menggunakan jarum ose. Meletakkan bakteri diatas preparat, kemudian tambahkan setetes  $H_2O_2$  amati reaksi yang terjadi, apabila terbentuk gelembung, maka reaksi positif, tetapi jika tidak terjadi gelembung

maka reaksi negatif hal tersebut menunjukkan bahwa isolat memiliki enzim katalase yang dapat memecah hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) menjadi air dan oksigen (Huda & Salni, 2012).

### **7.1.6 Pengujian Fiksasi Nitrogen**

Isolat yang telah diuji katalase selanjutnya diuji fiksasi nitrogen menggunakan media Burk's dengan bahan yang digunakan yaitu; 0,20 g  $MgSO_4$ , 0,05 g  $K_2HPO_4$ , 0,15 g  $KH_2PO_4$ , 1,3 g  $CaSO_4$  yang kemudian dicampur, dan larutan FeMo dengan bahan yang digunakan yaitu; 0,145 g  $FeCl_3$ , 2 g  $Na_2MoO_4$  yang dilarutkan dengan 100 mL Aquades. Setelah kedua stok bahan tersebut telah siap, campurkan 1,3 g media Burks's, 1 mL larutan FeMo, 2 g sukrosa, 17 g agar kedalam *erlenmeyer* yang kemudian dilarutkan menggunakan 1 liter aquades diatas *hot plate*. Media Burks's disterilisasi menggunakan *autoclaf* pada suhu 121 °C selama 25 menit. Diinginkan media

Burk's pada suhu  $\pm 45-50$  °C, kemudian tuang media agar tersebut pada cawan petri, lalu diinkubasi hingga memadat selama 10-14 hari pada suhu ruang. Setelah media padat sebanyak 1 ose isolat bakteri yang diuji digoreskan pada media burk dan diinkubasi selama 48 jam dalam suhu ruang. Isolat positif sebagai pemfiksasi nitrogen jika bakteri tersebut mampu tumbuh dalam media Burk Salt yang ditandai dengan tumbuhnya bakteri pada media burk. Isolat yang tumbuh diberi tanda + (positif), sedangkan yang tidak tumbuh diberi kode - (negatif).

### **7.1.7 Perhitungan Jumlah Koloni**

Koloni bakteri adalah sekumpulan dari bakteri-bakteri yang sejenis yang mengelompok menjadi satu dan membentuk suatu colony. Untuk mengetahui pertumbuhan suatu bakteri dapat dilakukan dengan menghitung jumlah colony bakteri dalam cawan petri. Perhitungan suatu koloni biasa dilakukan secara manual dengan menandai dan menghitung koloni bakteri yang ada pada cawan petri. (Wicaksono et al., 2019). Dalam metode ini memerlukan perlakuan pengenceran sebelum ditumbuhkan pada medium agar-agar di dalam cawan petri, sehingga setelah di inkubasi akan terbentuk colony pada cawan tersebut dalam jumlah yang dapat dihitung. Pengenceran biasanya dilakukan secara desimal yaitu 1:10, 1:100, 1:1000, dan seterusnya, atau 1:100, 1:10000, 1:1000000 dan seterusnya (Haris, 2016)

### **7.1.8 Perbanyakkan Bakteri Metanotrof**

Bakteri yang digunakan untuk aplikasi dilapangan adalah bakteri metanotropoh dengan kode isolat WPM1.



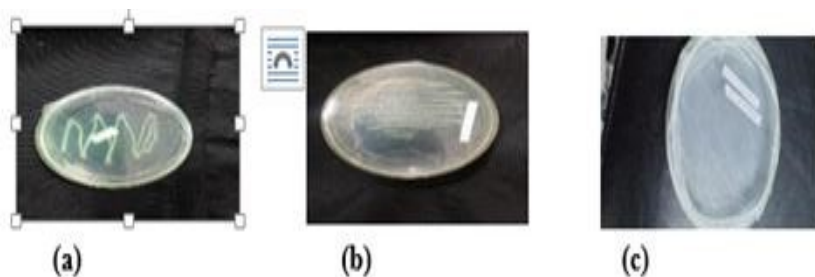
Gambar. 5 Isolat bakteri metanotrof yang digunakan pada penelitian di Desa Lantula Kecamatan Witaponda dengan Kode isolat (WPM I)

Isolat yang digunakan merupakan hasil proses perbanyakan bakteri, yaitu dengan cara:

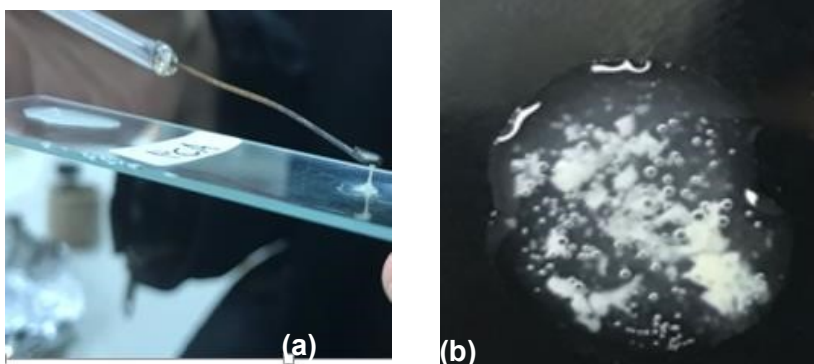
- 1) isolat (WPMI) diambil sebanyak 10 ose, kemudian diinokulasikan ke dalam aquadest steril di dalam erlenmeyer yang berisi 1000 mL media Nutrient Broth (NB). Dosis NB yang digunakan 0,8 gram. Kemudian diaduk di atas Hot Plate sampai mendidih dan ditutup dengan aluminium foil. Selanjutnya disterilisasi dengan suhu 121°C selama 15 menit. Kemudian suspensi bakteri di *shaker* kecepatan 110 rpm, suhu 37°C, selama 5-7 hari.

Pertumbuhan bakteri ditunjukkan dengan adanya kekeruhan pada media di dalam tabung reaksi (baik di permukaan tabung, di tengah media, di dasar tabung maupun tersebar di dalam media).

- 2) Koloni sebanyak 10 mL, 15 mL, dan 20 mL kemudian dilarutkan ( $\text{mL} \approx 2.95 \times 10^6 \text{FU/mL}$ ).
- 3) Hasil pengenceran ini selanjutnya diaplikasikan ke tanah sawah (Tahap 3)



Gambar. 6. Warna Koloni (a) Koloni yang berwarna kuning (b) koloni yang berwarna putih kekuningan (c) koloni yang berwarna putih



Gambar. 7 a) Uji Reaksi Gram (b) Uji Katalase

### 7.1.9 Hasil Uji Bakteri Metanotrof

Tabel 1 Hasil Uji Gram dan Uji Aerob/Anaerob Bakteri *Metanotrof*

No	Isolat	Uji Gram		Uji
		Reaksi	Gram	Aerob/Anaerob
1	10 <sup>6</sup>	+	-	Aerob
2	10 <sup>6</sup>	+	-	Aerob
3	10 <sup>7</sup>	+	-	Aerob
4	10 <sup>7</sup>	-	+	Anaerob
5	10 <sup>8</sup>	+	-	Aerob
6	10 <sup>8</sup>	-	+	Anaerob

Keterangan: (+) positif dan (-) negatif

Hasil Isolasi yang dilakukan di Laboratorium menunjukkan bahwa bakteri metanotrof yang telah diuji menggunakan KOH 3 % sebanyak satu tetes ini menghasilkan 4 isolat yang menunjukkan bahwa bakteri tersebut termasuk gram negatif dan reaksinya positif. Hal uji aerob dan anaerob menggunakan media Oksidatif Fermentatif (OF) menunjukkan 4 isolat termasuk aerob.

### 7.1.9 Analisis Hasil Aplikasi Bakteri Metanotrof dan Pemupukan NPK

#### a. Tinggi Tanaman (cm)

Hasil pengamatan karakter tinggi tanaman dan sidik ragam disajikan pada Tabel Lampiran 1a dan 1b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pemberian mikroba metatroph pada pertambahan tinggi tanaman padi, sedangkan pada pemberian NPK tidak berpengaruh nyata demikian juga dengan interaksi antara pemberian metanotroph dan NPK dosis rendah.

Tabel 2 Rata-Rata Tinggi Tanaman (cm) 8 MST dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk NPK (a)	<i>Metanotrof</i> (b)				Rata-Rata
	M0	M1	M2	M3	
	0 CFU/mL	10 <sup>6</sup> CFU/mL	10 <sup>7</sup> CFU/mL	10 <sup>8</sup> CFU/mL	
P0 (0 g)	93,22	97,22	94,34	88,00	93,19
P1 (75 g)	96,11	97,00	95,70	92,67	95,37
P2 (150 g)	97,17	104,33	80,45	94,78	94,18
P3 (300 g)	97,78	111,17	93,11	94,11	
Rata-Rata	96,07 <sup>a</sup>	102,43 <sup>a</sup>	90,90 <sup>bc</sup>	92,39 <sup>b</sup>	95,45
NP BNT	6,81				

Hasil uji BNT  $\alpha=0,05$  pada Tabel 2, menunjukkan bahwa rata rata tinggi tanaman padi, perlakuan bakteri *metanotrof* dengan konsentrasi 106 CFU per mL (M1) menghasilkan tinggi rata-rata tanaman padi tertinggi yaitu 102,43 cm tidak berbeda nyata dengan

perlakuan bakteri *metanotrof* dengan konsentrasi tanpa bakteri *Metanotrof* 0 CFU per ml (M0) dan berbeda nyata dengan perlakuan bakteri *Metanotrof* konsentrasi 10<sup>7</sup> CFU per ml (M2) serta konsentrasi 10<sup>8</sup> CFU per ml (M3) dengan rata-rata tinggi tanaman berturut-turut yaitu 92,39 cm dan 90,90 cm.

**b. Jumlah Anakan (Batang) Perumpun**

Hasil pengamatan jumlah anakan dan sidik ragam disajikan pada Tabel Lampiran 2a dan 2b. Analisis sidik ragam menunjukkan terdapat pengaruh nyata pada perlakuan pupuk NPK sebaliknya tidak berpengaruh pada perlakuan bakteri metanotrof dan interaksi terhadap jumlah anakan padi.

Tabel 3 Rata-Rata Jumlah Anakan (Batang) 10 MST dengan Perlakuan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

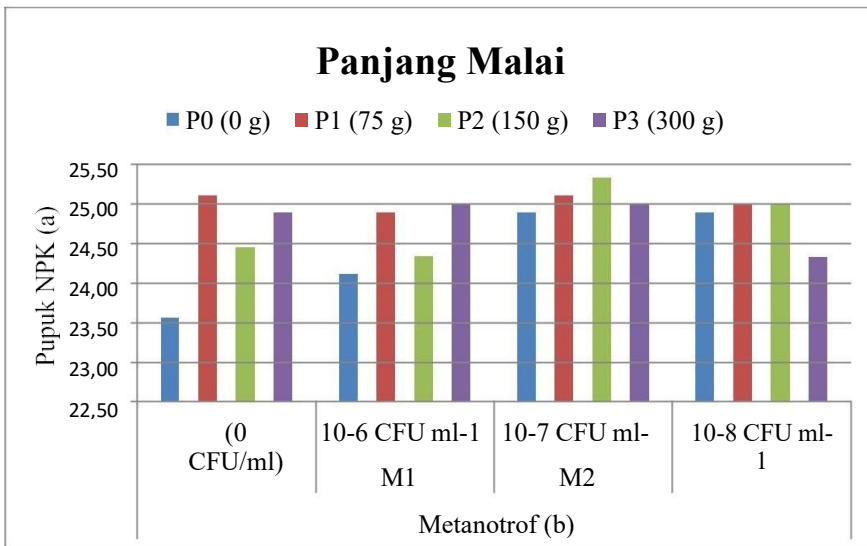
Pupuk NPK(a)	<i>Metanotrof</i> (b)				Rata- Rata
	M0 0 CFU/ml	M1 10 <sup>6</sup> CFU/ml	M2 10 <sup>7</sup> CFU/ml	M3 10 <sup>8</sup> CFU/ml	
P0 (0 g)	10,44	11,22	7,22	11,45	10,08bc
P1 (75 g)	11,44	13,11	11,34	13,33	12,31a
P2 (150 g)	9,89	10,00	9,33	13,00	10,56b
P3 (300 g)	9,33	11,56	11,22	12,44	11,08a
Rata-Rata	10,28	11,47	9,78	12,56	11,01
NP BNT			1,26		

Hasil uji BNT  $\alpha=0,05$  pada Tabel 3, menunjukkan bahwa rata-rata jumlah anakan padi, perlakuan pupuk NPK dengan dosis 75 g per petak (P1) menghasilkan jumlah anakan padi rata-rata

tertinggi yaitu 12,31 batang tidak berbeda nyata dengan perlakuan pupuk NPK dengan dosis 300 g per petak (P3) dan berbeda nyata dengan perlakuan pupuk NPK dengan dosis 150 g per petak (P2) serta tanpa pupuk NPK 0 g per petak (P0) dengan rata-rata tinggi tanaman berturut-turut yaitu 10,56 batang dan 10,08 batang.

**c. Panjang Malai (cm)**

Hasil pengamatan panjang malai dan sidik ragam disajikan pada Tabel Lampiran 3a dan 3b. Analisis sidik ragam menunjukkan tidak terdapat pengaruh nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri *metanotrof* serta interaksi terhadap panjang malai padi.



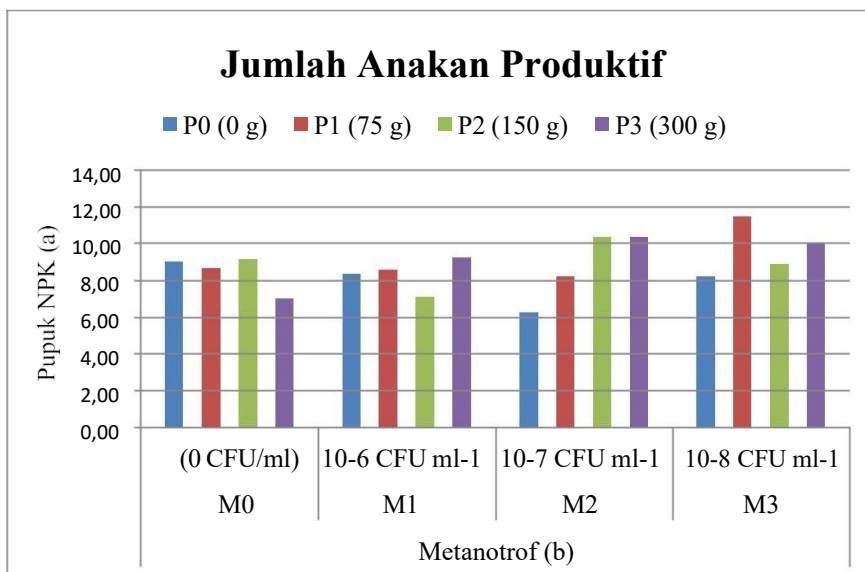
Gambar. 8 Grafik Rata-Rata Panjang Malai (cm) Padi dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Berdasarkan gambar 8. menunjukkan bahwa Perlakuan pupuk NPK 150 g/petak dan bakteri *metanotrof* 10<sup>8</sup> CFU per mL menghasilkan panjang malai padi rata-rata tertinggi yaitu 25,33 cm,

sedangkan terendah yaitu 23,56 cm pada perlakuan pupuk NPK 0 g per petak dan Bakteri *metanotrof* 0 CFU per mL.

#### d. Jumlah Anakan Produktif (Batang)

Analisis statistik menunjukkan tidak terdapat pengaruh nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri *metanotrof* serta interaksi terhadap jumlah anakan produktif padi.



Gambar. 9 Grafik Rata-Rata Jumlah Anakan Produktif (Batang) 10 MST Padi dengan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Berdasarkan gambar 9. menunjukkan bahwa perlakuan pupuk NPK 300 g per petak dan bakteri *Metanotrof* 108 CFU per ml menghasilkan jumlah anakan produktif tertinggi yaitu 11,45 batang, sedangkan terendah yaitu 6,22 batang pada perlakuan pupuk NPK 0 g per petak dan Bakteri *metanotrof* 107 CFU per ml.

### e. Hasil Produksi Perpetak (kg)

Analisis statistik menunjukkan hasil pengaruh nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri *metanotrof* serta interaksinya terhadap hasil produksi perpetak pada tanaman padi sawah.

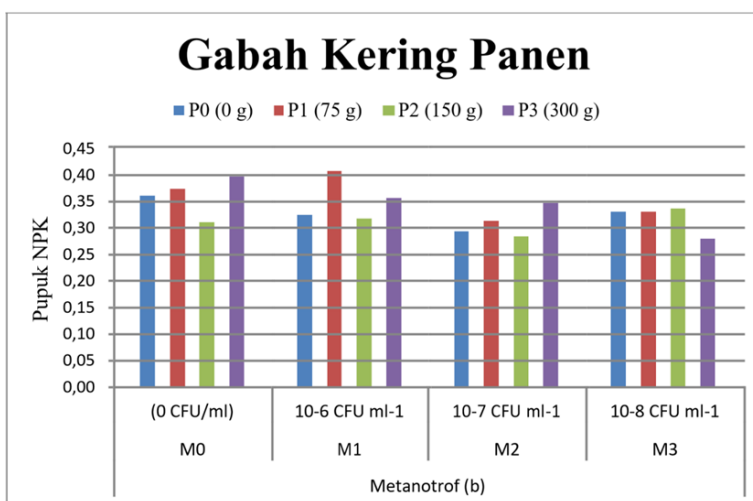
Tabel 4 Rata-Rata Hasil Produksi Perpetak (kg) dengan Perlakuan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk NPK (a)	<i>Metanotrof</i> (b)				Rata- Rata	NP BNT
	M0 0 CFU/ml	M1 10 <sup>6</sup> CFU/ml	M2 10 <sup>7</sup> CFU/ml	M3 10 <sup>8</sup> CFU/ml		
P0 (0 g)	0,77	0,56	0,58	0,53	0,61	
P1 (75 g)	0,62	0,57	0,79	0,65	0,66	
P2 (150 g)	0,54	0,50	0,54	0,77	0,59	0,15
P3 (300 g)	0,69	<b>0,96</b>	0,71	0,43	0,70	
Rata-rata	0,65	0,65	0,66	0,59	0,64	
NP BNT	0,12					

Hasil uji BNT  $\alpha=0,05$  pada Tabel 4, menunjukkan bahwa interaksi perlakuan pupuk NPK 300 g/petak dengan konsentrasi bakteri *metanotrof* 106 CFU per mL menghasilkan hasil produksi perpetak tertinggi dengan rata-rata yaitu 0,96 kg dan berbeda tidak nyata dengan interaksi perlakuan pupuk NPK 75 g per petak dengan konsentrasi bakteri *metanotrof* 107 CFU per mL, perlakuan pupuk NPK 150 g per petak dengan konsentrasi bakteri *metanotrof* 108 CFU per mL, perlakuan pupuk NPK 0 g per petak dengan tanpa bakteri berturut-turut 0,79 kg, 0,77 kg dan 0,77 kg, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan yang lainnya.

#### f. Gabah Kering Panen (kg) Perpetak

Analisis statistik menunjukkan tidak terdapat pengaruh nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri *metanotrof* serta interaksi terhadap gabah kering panen tanaman padi.



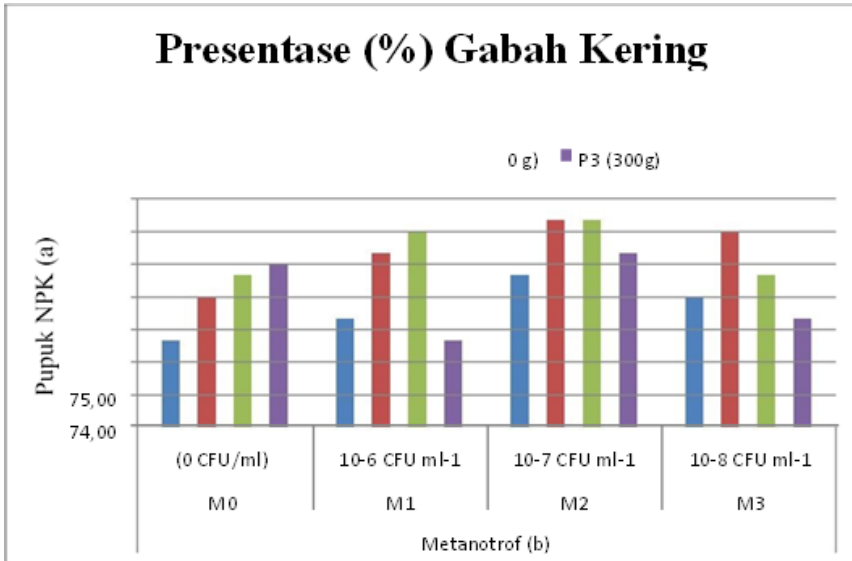
Gambar. 10 Gambar 10. Grafik Rata-Rata Gabah Kering Panen Padi dengan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Berdasarkan gambar 10. menunjukkan bahwa perlakuan pupuk NPK 75 g/petak dengan bakteri *metanotrof* 106 CFU per ml menghasilkan gabah kering panen rata-rata tertinggi yaitu 0,41 kg, sedangkan terendah yaitu 0,28 kg pada perlakuan pupuk NPK 150 g per petak dan bakteri *metanotrof* 107 CFU per ml dan perlakuan pupuk NPK 300 g per petak dan bakteri *metanotrof* 108 CFU per ml.

#### g. Persentase (%) Gabah Kering Giling

Analisis statistik menunjukkan tidak pengaruh nyata pada perlakuan pupuk NPK dan tidak pengaruh pada perlakuan bakteri

*metanotrof* serta interaksi terhadap presentase gabah kering giling padi.



Gambar. 11 Gambar 11. Grafik Rata-Rata Presentase (%) Gabah Kering Giling (g) Padi dengan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Berdasarkan gambar 11. menunjukkan bahwa perlakuan pupuk NPK 150 g/petak dan bakteri *metanotrof* 107 CFU per ml dengan perlakuan pupuk NPK 75 g per petak dan bakteri *metanotrof* 107 CFU per ml menghasilkan presentase gabah kering giling tertinggi yaitu 80,33 %, sedangkan terendah yaitu 76,67 % pada perlakuan pupuk NPK 300 g per petak dan Bakteri *metanotrof* 106 CFU per ml.

#### **h. Bobot 100 butir (g) Gabah Kering Panen**

Hasil pengamatan bobot 100 butir dan sidik ragam disajikan pada Tabel Lampiran 8a dan 8b. Analisis sidik ragam menunjukkan

berpengaruh nyata pada perlakuan bakteri *metanotrof* sebaliknya tidak berpengaruh nyata pada perlakuan pupuk NPK dan diinteraksi terhadap bobot 100 bulir padi.

Tabel 5 Rata-Rata Bobot 100 Butir (g) Gabah Kering Panen (g) Tanaman Padi dengan Perlakuan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk NPK (a)	<i>Metanotrof</i> (b)				Rata-Rata
	M0 0 CFU/ml	M1 10 <sup>6</sup> CFU/ml	M2 10 <sup>7</sup> CFU/ml	M3 10 <sup>8</sup> CFU/ml	
P0 (0 g)	3,26	3,51	3,41	3,43	3,40
P1 (75 g)	3,01	3,40	3,26	3,49	3,29
P2 (150 g)	3,06	2,94	3,32	3,42	3,18
P3 (360 g)	3,19	3,53	3,42	3,30	3,36
Rata-Rata	3,13b	3,35a	3,35a	3,41a	3,31
NP BNT			0,21		

Hasil uji BNT  $\alpha=0,05$  pada Tabel 5, menunjukkan bahwa rata-rata gabah kering panen tanaman padi, perlakuan bakteri *metanotrof* dengan konsentrasi 108 CFU per ml menghasilkan bobot 100 butir tanaman padi rata-rata tanaman padi tertinggi yaitu 3,41 g, tidak berbeda nyata dengan perlakuan bakteri *metanotrof* dengan konsentrasi 107 CFU per ml, konsentrasi 106 CFU per ml dengan rata-rata bobot 100 butir tanaman padi berturut-turut 3,35 dan 3,35 g serta berbeda nyata dengan perlakuan bakteri *metanotrof* konsentrasi 0 CFU per ml (M0).

## 7.2 Pembahasan

Hasil isolasi dan pemurnian sampel sedimen yang diperoleh dari *rhizofe* tanaman padi. Berdasarkan uji gram terseleksi 4 isolat yang termasuk gram negatif (Tabel 1.). Hal ini sejalan dengan Auman *et.al.* (2001) melaporkan bahwa bakteri *metanotrof* adalah bakteri gram negatif, bersifat aerob dan menggunakan metan sebagai sumber karbon dan energi.

Hasil pengamatan uji pada media OF (oksidatif fermentatif) diperoleh 4 isolat positif terhadap pertumbuhan aerob, yang dapat disimpulkan sebagai aerob (Tabel 1.). Hal tersebut ditandai dengan terjadinya perubahan warna media biru menjadi kuning pada tabung terbuka dan tidak terjadi perubahan warna pada tabung tertutup, artinya bakteri tersebut tidak mampu beraktivitas pada kondisi yang tidak adanya oksigen (anaerob) sebaliknya sangat membutuhkan oksigen dalam beraktivitasnya.

Berdasarkan hasil statistik, kombinasi pemberian pupuk NPK dengan konsentrasi pemberian bakteri *metanotrof* berpengaruh nyata terhadap pengamatan tinggi tanaman, jumlah anakan, hasil produksi perpetak dan bobot 100 butir padi, namun tidak pengaruh nyata pada parameter lain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan bakteri *metanotrof* dengan konsentrasi 106 CFU per ml menghasilkan tinggi rata-rata tanaman padi tertinggi yaitu 102,43 cm, perlakuan pupuk NPK dengan dosis 75 g per petak menghasilkan jumlah anakan padi rata-rata tertinggi yaitu 12,31 batang, perlakuan pupuk NPK dengan dosis 300 g per petak menghasilkan hasil produksi perpetak rata-rata tanaman padi tertinggi yaitu 0,96 kg, dan perlakuan bakteri *metanotrof* dengan

konsentrasi 108 CFU per ml menghasilkan bobot 100 butir tanaman padi rata-rata tanaman padi tertinggi yaitu 3,41 g.

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam pemberian bakteri *metanotrof* memberikan pengaruh nyata pada tinggi tanaman dan bobot 100 butir karena bakteri *metanotrof* mampu membuat gas metana yang berada di dalam tanah, efek pemberian pupuk NPK yang tinggi dapat ditekan oleh bakteri *metanotrof* dan dapat menghasilkan enzim *monooksigenase* yang berperan penting dalam proses oksidasi yang digunakan dalam proses gas metana yang berada di lahan sawah. Hal ini sesuai dengan pendapat Hapsary (2008), yang menyatakan bahwa bakteri *metanotrof* merupakan salah satu jenis mikroba tanah yang mampu mengoksidasi senyawa gas metan. 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.

Pengaruh pemberian pupuk NPK berpengaruh nyata pada jumlah anakan dan hasil produksi perpetak, memberikan pengaruh nyata kerana pupuk NPK mampu memberikan efek atau dampak terhadap tanaman padi sawah karena pupuk NPK terkandung di dalamnya yaitu nitrogen, fospor dan kalium yang cocok bagi tanaman padi sawah baik masa vegetatif ataupun generatif. Hal ini sesuai dengan pendapat Simanjuntak (2015), yang menyatakan bahwa pupuk (NPK) merupakan salah satu pupuk anorganik yang dapat digunakan sangat efisien dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara makro (N, P, dan K), menggantikan pupuk tunggal

seperti urea, SP-36, dan KCl yang susah diperoleh dipasaran dan sangat mahal.

Aplikasi pupuk NPK dan bakteri *metanotrof* pada tanaman padi memberikan hasil terbaik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi. Tidak adanya pengaruh interaksi yang terjadi pada parameter tinggi tanaman, jumlah anakan, panjang malai, jumlah anakan produktif, hasil produksi perpetak, gabah kering panen, presentase gabah berisi dan bobot 100 butir dapat disebabkan kondisi lahan pada area pertanaman dan intensitas curah hujan yang rendah dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman secara langsung. Hal ini sejalan dengan pendapat Makarim *et al.* (1993) bahwa hasil maksimal merupakan potensi hasil yang besarnya beragam menurut kondisi iklim terutama radiasi matahari dan suhu serta kesuburan tanah yang sifat spesifik lokasi.

Interaksi antara pemberian pupuk NPK dan bakteri *metanotrof* berpengaruh nyata terhadap parameter pengamatan hasil produksi perpetak. Kedua faktor ini saling mempengaruhi satu sama lain. adanya interaksi dari kedua perlakuan ini dapat terjadi dikarenakan aplikasi pupuk NPK saat padi berumur sekitar 30 hari setelah tanam karena difase tersebut adalah fase penting karena pada tahap tersebut padi berada pada fase vegetatif. Sedangkan aplikasi bakteri *metanotrof* diberikan pada daerah perakaran padi dengan cara penyemprotan sehingga mempengaruhi aktifitas metanotroph yang ada di lahan sawah. kedua hal ini dapat memberikan pengaruh pertumbuhan dan produksi yang optimal bagi tanaman karena kebutuhan unsur hara yang diperoleh dari akar dapat dipenuhi oleh tanaman. Hal ini didukung oleh Novizan (2002), yang menyatakan

bahwa unsur hara makro dan mikro berperan dalam pertumbuhan tanaman. Unsur hara yang diperoleh tanaman baik dari akar maupun dari daun dapat memenuhi kebutuhan hara pada tanaman sehingga pertumbuhan tanaman dapat optimal. Kedua hal ini saling menguntungkan dalam proses pertumbuhan tanaman.

Kedua perlakuan ini memiliki unsur nitrogen pada pupuk NPK dan bakteri *metanotrof* juga dapat menghasilkan nitrogen melalui proses fiksasi antara bakteri *metanotrof* dengan gas nitrogen yang ada di atmosfer. Hal ini sesuai pendapat Vaksmaa *et al.* (2017), yang menyatakan bahwa nitrogen dalam bentuk ion nitrat dan nitrit yang tidak digunakan dalam proses pertumbuhan akan digunakan bakteri *metanotrof* untuk bereaksi dengan  $\text{CH}_4$  dengan hasil  $\text{CO}_2$  dan  $\text{N}_2$  dalam kondisi aerobik.

Aplikasi pupuk NPK dan bakteri *metanotrof* pada tanaman padi memberikan hasil terbaik terhadap produksi tanaman padi yaitu pada parameter hasil produksi perpetak. Berdasarkan hasil analisis statistik tidak terdapat pengaruh interaksi yang terjadi pada parameter tinggi tanaman, jumlah anakan, panjang malai, jumlah anakan produktif, gabah kering panen, presentase gabah berisi dan bobot 100 butir padi di duga hal tersebut disebabkan oleh keterlambatan dalam pengaplikasian bakteri *metanotrof* yang tidak optimal bagi tanaman padi. Indikasi ini dapat dijadikan sebagai suatu pengalaman yang dapat digunakan untuk pengaplikasian metanotroph berikutnya.

### 7.2.9 Aplikasi Bakteri *Metanotrof*

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan bakteri *metanotrof* berpengaruh nyata pada parameter pengamatan rata-rata tinggi tanaman dan bobot 100 butir. Namun pada parameter panjang malai, jumlah anakan produktif, gabah kering panen dan presentase gabah berisi menunjukkan hasil yang tidak berpengaruh nyata.

Penelitian menunjukan bahwa pemberian bakteri *metanotrof* memberikan hasil yang signifikan terhadap rata-rata tinggi tanaman dan bobot 100 butir padi . Hal ini di duga terjadi karena pemberian bakteri *metanotrof* yang diaplikasikan ditanaman padi pada umur 2 minggu setelah tanam. Hal ini tidak sesuai dengan pendapat Widodo *et al.* (2016), bahwa aplikasi NPK memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman , hal ini dikarenakan unsur hara N yang sangat rendah dalam tanah, sehingga peningkatan dosis pupuk NPK dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara N yang sangat dibutuhkan tanaman, terutama untuk pertumbuhan vegetatif.

Hal ini diduga juga karena adanya faktor lingkungan yang kurang mendukung, pada saat penelitian berlangsung keadaan di lapangan yaitu serangan hama wereng dan tikus dikarenakan kurangnya sanitasi. Sanitasi perlu dilakukan karena untuk pembersihan di daerah sekitar tanaman atau di irigasi. Hal ini didukung oleh penelitian Arif *et al.* (2016), yang menyatakan bahwa sistem irigasi yang digunakan akan mempengaruhi parameter lingkungan biofisik dalam tanah yang berakibat terhadap perubahan aktivitas mikroorganisme dalam tanah. Kondisi tersebut akan mempengaruhi besarnya efek GRK yang akan dilepaskan ke

atmosfer. Pola umum kerusakan (serangan) tikus di areal persawahan biasa ditemukan menyerupai stadion sepakbola dengan bagian tengah lebih pendek karena rusak terserang dan sering menyisakan bagian pinggir saja yang tidak terserang (Solikhin dan Purnomo, 2008).

#### **7.2.10 Aplikasi Pupuk NPK Dosis Rendah**

Berdasarkan hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan NPK berpengaruh nyata terhadap jumlah anakan dan hasil produksi perpetak. Namun tidak berpengaruh nyata terhadap parameter jumlah anakan produktif panjang malai dan presentase gabah berisi.

Perlakuan beberapa taraf konsentrasi pupuk NPK memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi sawah (Tabel 3 dan Tabel 4). Hal ini dapat terjadi karena pemberian pupuk NPK yang diberikan mengandung unsur-unsur terpenting yang dibutuhkan oleh tanaman padi seperti nitrogen, fosfor dan kalium. Hal ini sejalan dengan pendapat Annisa (2016) menyatakan bahwa fosfor merupakan unsur yang cukup berperan terhadap pertumbuhan tanaman padi. Alavan *et al.* (2015) melaporkan bahwa pemberian pupuk berdasarkan jenis atau takaran berpengaruh terhadap respon tanaman padi sehingga berdampak terhadap pertumbuhan padi tersebut.

Perlakuan pupuk NPK dosis 75 g per petak tidak berbeda nyata dengan dosis pupuk NPK 300 g per petak (Tabel 3) yang memberikan hasil terbaik pada pertumbuhan dan produksi tanaman padi sawah. Hal ini sesuai dengan pendapat Kaya (2013), menyatakan bahwa

perlakuan pupuk NPK, makin tinggi dosis pupuk yang diberikan dapat meningkatkan jumlah anakan produktif/perumpun padi, namun secara statistika dosis pupuk 600 g per petak hanya berbeda nyata dengan tanpa maupun diberi dosis 150 g per petak tetapi tidak berbeda dengan dosis 300 dan 450 g per petak.

Pengaruh pemberian pupuk NPK menunjukkan dengan dosis pupuk NPK 75 g per petak, menghasilkan rata-rata jumlah anakan yaitu (12,38 batang) memberikan pertumbuhan jumlah anakan yang paling baik karena dapat mereduksi gas metan yang dihasilkan oleh penggunaan pupuk NPK yang berlebihan. Hal ini sesuai pendapat Schaefer *et. al* (2016), melaporkan bahwa penyebab peningkatan gas metana di atmosfer telah berganti sumber dari termogenik menjadi biogenik. Mereka mengidentifikasi bahwa kemungkinan besar sumber gas metana tersebut berasal dari pertanian dan peternakan daripada dari lahan basah. Metana biogenik adalah yang diproduksi dari proses biologis (misalnya yang dihasilkan oleh lahan basah atau pertanian dan peternakan) (Ulumuddin, 2019).





## **BAB VIII**

**HASIL TERAPAN TEKNOLOGI  
MIKROBA METATROPH PADA  
PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI PADI  
SAWAH (*Oryza sativa* L.) PADA  
PENGUNAAN PUPUK NPK DOSIS  
RENDAH**



## 8.1 Analisis Hasil Aplikasi Bakteri *Metanotrof* dan Pemupukan NPK

### a. Tinggi Tanaman Padi (cm)

Hasil pengamatan rata-rata pertambahan tinggi tanaman dan sidik ragamnya disajikan pada tabel Lampiran 1a dan 1b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* berpengaruh nyata, sedangkan konsentrasi pupuk NPK dosis rendah dan interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap pertambahan tinggi tanaman.

Tabel 6 Rata-Rata Tinggi Tanaman (cm) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri *Metanotrof* dan Pupuk NPK Dosis Rendah

Dosis Pupuk NPK (p)	Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> (m)			
	Kontrol (m0)	10 <sup>6</sup> CFU/mL (m1)	10 <sup>7</sup> CFU/mL (m2)	10 <sup>8</sup> CFU/mL (m3)
Kontrol (P0)	89,45	100,11	79,67	100,67
NPK 62,5 kg/ha (p1)	97,66	98,55	96,45	95,89
NPK 125 kg/ha (p2)	87,00	102,78	91,67	95,78
Rata-rata	91,37 ab	100,48 c	89,26 a	97,44 bc
NP BNT 0,05		7,65		
NP BNT 0,05	7,65			

Tabel 6, menunjukkan bahwa perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof*  $10^6$  CFU/mL (m1) memiliki rata-rata tinggi tanaman tertinggi yaitu (100,48 cm), berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof*  $10^7$  CFU/mL (m2) memiliki rata-rata tinggi tanaman terendah yaitu (89,26 cm).

### b. Jumlah Anakan (Batang)

Hasil pengamatan rata-rata jumlah anakan serta sidik ragamnya disajikan pada tabel Lampiran 2a dan 2b. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* berpengaruh nyata terhadap rata-rata jumlah anakan, sedangkan pada perlakuan pemberian pupuk NPK dosis rendah dan interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap rata-rata jumlah anakan tanaman padi.

Tabel 7 Rata-Rata Jumlah Anakan (Batang) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri *Metanotrof* dan Pupuk NPK Dosis Rendah

Dosis Pupuk NPK (p)	Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> (p)			
	Kontrol (m0)	$10^6$ CFU/mL (m1)	$10^7$ CFU/mL (m2)	$10^8$ CFU/mL (m3)
Kontrol (p0)	11,56	13,22	13,33	16,11
NPK 62,5 kg/ha (p1)	13,44	13,44	11,44	14,33
NPK 125 kg/ha (p2)	12,56	12,00	14,44	16,00
Rata-Rata	12,52 a	12,89 ab	13,07 abc	15,48 d
NP BNT 0,05			1,21	

Tabel 7, menunjukkan bahwa perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof*  $10^8$  CFU/mL memiliki rata-rata jumlah anakan terbanyak yaitu (15,48 batang) yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof*  $10^6$  CFU/mL memiliki rata-rata jumlah anakan terendah yaitu (12,52 batang).

### c. Jumlah Anakan Produktif (Batang)

Hasil pengamatan rata-rata jumlah anakan produktif serta sidik ragamnya disajikan pada Tabel Lampiran 3a dan 3b. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* berpengaruh nyata terhadap jumlah anakan produktif, sedangkan pada perlakuan pupuk NPK dosis rendah dan interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap rata-rata jumlah anakan produktif tanaman padi.

Tabel 8 Rata-Rata Jumlah Anakan Produktif (Batang) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri *Metanotrof* dan Pupuk NPK Dosis Rendah

Konsentrasi Pupuk (p)	Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> (m)			
	Kontrol (m0)	$10^6$ CFU/mL (m1)	$10^7$ CFU/mL (m2)	$10^8$ CFU/mL (m3)
Kontrol (P0)	8,45	11,00	11,33	13,56
NPK 62,5 kg/ha (P1)	9,89	11,55	10,00	13,11
NPK 125 kg/ha (P2)	10,11	10,78	11,33	14,33
Rata-Rata	9,48 a	11,11 ab	10,89 abc	13,67 abc
NP BNT 0,05			1,2	

Tabel 8, menunjukkan bahwa pada perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof*  $10^8$  CFU/mL yang memiliki rata-rata jumlah anakan produktif tertinggi yaitu (13,67 batang produktif) yang

berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan pada perlakuan pemberian jumlah koloni bakteri *metanotrof*  $10^6$  CFU/mL memiliki rata-rata jumlah anakan produktif terendah yaitu (9,48 batang produktif).

#### d. Panjang Malai (cm)

Hasil rata-rata panjang malai dan sidik ragamnya disajikan pada tabel lampiran 4a dan 4b. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan pupuk NPK dosis rendah berpengaruh nyata terhadap panjang malai, sedangkan pada perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* dan interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap panjang malai tanaman padi.

Tabel 9 Rata-Rata Panjang Malai (cm) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri *Metanotrof* dan Pupuk NPK Dosis Rendah

Dosis Pupuk NPK (p)	Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> (m)				Rata-rata	NP BNT
	m0	m1	m2	m3		
p0	25,67	25,22	24,22	25,45	25,14	ab
p1	25,78	25,33	23,44	23,89	24,61	a
p2	25,89	25,33	25,67	26,11	25,75	b

Tabel 9, menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 125 kg/ha memiliki rata-rata panjang malai terpanjang (25,75 cm) yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 62,5 kg/ha (p1) memiliki rata-rata panjang malai terpendek yaitu (24,61 cm).

#### e. Persentase Gabah Berisi (%)

Data pengamatan persentase gabah berisi dan sidik ragamnya disajikan pada tabel Lampiran 5a dan 5b. Hasil analisis

sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* dan konsentrasi pupuk NPK dosis rendah serta interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap persentase gabah berisi.

Tabel 10 Rata-Rata Persentase Gabah Berisi (%) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri *Metanotrof* dan Pupuk NPK Dosis Rendah

Dosis Pupuk NPK (p)	Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> (m)			
	Kontrol (m0)	10 <sup>6</sup> CFU/mL (m1)	10 <sup>7</sup> CFU/mL (m2)	10 <sup>8</sup> CFU/mL (m3)
Kontrol (p0)	80,27	81,86	82,03	80,53
NPK 62,5 kg/ha (p1)	81,24	84,53	85,00	81,90
NPK 125 kg/ha (p2)	82,04	84,52	81,34	82,61

Tabel 10, menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi pupuk NPK dosis rendah 62,5 kg/ha (p1) dan koloni bakteri *metanotrof* 10<sup>8</sup> CFU/mL (m2) memiliki rata-rata nilai persentase gabah berisi tertinggi yaitu (85,00 %), sedangkan pada perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* (kontrol) dan konsentrasi pupuk NPK dosis rendah (kontrol) memiliki rata-rata nilai persentase gabah berisi terendah yaitu (80,27 %).

#### f. Bobot 100 Bulir (g)

Data hasil pengamatan bobot 100 bulir dan sidik ragamnya disajikan pada Tabel lampiran 6a dan 6b. Hasil analisis sidik ragamnya menunjukkan bahwa perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* dan konsentrasi pupuk NPK dosis rendah berpengaruh tidak nyata terhadap bobot 100 bulir gabah kering panen. Sedangkan interaksi antara perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* dan

konsentrasi pupuk NPK dosis rendah berpengaruh nyata terhadap bobot 100 bulir gabah kering panen perpetak.

Tabel 11 Rata-Rata Bobot 100 Bulir (g) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri *Metanotrof* dan Pupuk NPK Dosis Rendah

Dosis Pupuk NPK (p)	Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> (m)			
	Kontrol (m0)	10 <sup>6</sup> CFU/mL (m1)	10 <sup>7</sup> CFU/mL (m2)	10 <sup>8</sup> CFU/mL (m3)
Kontrol (p0)	3,03 a p	2,96 a p	2,99 a p	3,10 a p
NPK 62,5 kg/ha (p1)	2,98 a p	3,00 ab p	3,04 ab p	3,04 a p
NPK 125 kg/ha (p2)	2,88 a p	3,18 b qr	3,22 b r	3,04 a pq

Tabel 11, menunjukkan bahwa interaksi perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* 10<sup>7</sup> CFU/mL dan konsentrasi pupuk NPK dosis 125 kg/ha memiliki rata-rata bobot 100 bulir tertinggi yaitu (3,22 g) dan berbeda nyata terhadap semua perlakuan, sedangkan rata-rata bobot 100 bulir terendah terdapat pada kombinasi perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* (kontrol) dengan konsentrasi pupuk NPK dosis (kontrol) memiliki rata-rata bobot 100 bulir terendah yaitu (2,88 g).

### g. Hasil Panen Per Petak (kg)

Hasil analisis menunjukan bahwa perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* dan konsentrasi pupuk NPK dosis rendah berpengaruh tidak nyata terhadap hasil panen perpetak serta interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap hasil panen per petak tanaman padi.

Tabel 12. Rata-Rata Hasil Per Petak (kg) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri *Metanotrof* dan Pupuk NPK Dosis Rendah

Dosis Pupuk NPK (p)	Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> (m)			
	Kontrol (m0)	10 <sup>6</sup> CFU/mL (m1)	10 <sup>7</sup> CFU/mL (m2)	10 <sup>8</sup> CFU/mL (m3)
Kontrol (p0)	5,69	4,68	4,94	5,53
NPK 62,5 kg/ha (p1)	5,44	5,73	5,34	4,79
NPK 125 kg/ha (p2)	5,28	6,33	5,38	5,38

Tabel 12, menunjukkan bahwa interaksi perlakuan dengan jumlah koloni bakteri *metanotrof* 10<sup>6</sup> CFU/mL dan konsentrasi pupuk NPK 125 kg/ha memiliki rata-rata hasil panen tertinggi yaitu (6,33 kg), sedangkan rata-rata hasil panen perpetak terendah yaitu pada perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* 10<sup>7</sup> CFU/mL dengan konsentrasi pupuk NPK (kontrol) yaitu (4,68 kg).

#### **h. Hasil Gabah Kering panen perpetak (kg)**

Data hasil rata-rata pengamatan gabah kering panen perpetak dan sidik ragamnya disajikan pada tabel Lampiran 8a dan 8b. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof*, konsentrasi pupuk NPK dosis rendah dan interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap rata-rata hasil gabah kering perpetak.

Tabel 13 Rata-Rata Hasil Gabah Kering Panen (kg) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri *Metanotrof* dan Pupuk NPK Dosis Rendah

Dosis pupuk NPK (p)	Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> (m)			
	Kontrol (m0)	10 <sup>6</sup> CFU/mL (m1)	10 <sup>7</sup> CFU/mL (m2)	10 <sup>8</sup> CFU/mL (m3)
Kontrol (p0)	3,46	2,66	2,77	3,24
NPK 62,5 kg/ha (p1)	3,70	3,46	3,13	2,78
NPK 125 kg/ha (p2)	2,97	3,34	3,11	4,12

Tabel 13, menunjukkan hasil bahwa rata-rata jumlah gabah kering panen tertinggi terdapat pada perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* 10<sup>8</sup> CFU/mL dengan konsentrasi pupuk NPK 125 kg/ha yaitu (4,12 kg), sedangkan rata-rata jumlah gabah kering panen terendah terdapat pada perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* 10<sup>6</sup> CFU/mL dengan konsentrasi pupuk NPK (kontrol) yaitu (2,66 kg).

#### **i. Produksi Per Hektar (kg)**

Data hasil rata-rata produksi padi per hektar dan sidik ragamnya disajikan pada Tabel Lampiran 9a dan 9b. Hasil analisis sidik ragamnya menunjukkan bahwa perlakuan pemberian jumlah koloni bakteri *metanotrof* dan konsentrasi pupuk NPK dosis rendah berpengaruh tidak nyata terhadap rata-rata produksi padi perhektar, sedangkan interaksinya berpengaruh tidak nyata terhadap rata-rata produksi padi per hektar.

Tabel 14 Rata-Rata Produktivitas Per Hektar (kg) Pada Berbagai Jumlah Koloni Bakteri *Metanotrof* dan Pupuk NPK Dosis Rendah

Dosis Pupuk NPK (p)	Koloni Bakteri <i>Metanotrof</i> (m)			
	Kontrol (m0)	10 <sup>6</sup> CFU/mL (m1)	10 <sup>7</sup> CFU/mL (m2)	10 <sup>8</sup> CFU/mL (m3)
Kontrol	47,41	38,98	41,20	46,11
NPK 62,5 kg/ha	47,21	47,78	44,53	39,91
NPK 125 kg/ha	41,29	52,78	44,82	44,82

Tabel 14, menunjukkan bahwa perlakuan dengan jumlah koloni bakteri *metanotrof* 10<sup>6</sup> CFU/mL dan konsentrasi pupuk NPK 125 kg/ha memiliki rata-rata hasil produksi tertinggi yaitu (52,78 kg), sedangkan rata-rata hasil produksi terendah yaitu pada perlakuan jumlah koloni bakteri *metanotrof* 10<sup>6</sup> CFU/mL dan konsentrasi pupuk NPK (kontrol) yaitu (38,98 kg).

## 8.2 Pembahasan

### 8.2.1 Pengaruh Koloni Bakteri *Metanotrof*

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan Bakteri *Metanotrof* berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah anakan dan jumlah anakan produktif, namun berpengaruh tidak nyata terhadap panjang malai, bobot 100 bulir, hasil perpetak, hasil gabak kering giling, dan hasil produksi perhektar.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pemberian jumlah koloni bakteri *Metanotrof* dengan konsentrasi 10<sup>7</sup> CFU/mL menghasilkan rata-rata tinggi tanaman tertinggi yaitu (100,48 cm), perlakuan jumlah koloni bakteri *Metanotrof* dengan konsentrasi 10<sup>8</sup> CFU/mL yang menghasilkan rata-rata jumlah anakan padi tertinggi yaitu (15,48 batang) dan perlakuan jumlah koloni bakteri *Metanotrof*

dengan konsentrasi  $10^8$  CFU/mL yang menghasilkan rata-rata jumlah anakan produktif tertinggi yaitu (13,67 batang produktif).

Berdasarkan hasil analisis pemberian koloni bakteri *Metanotrof* memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah anakan dan jumlah anakan produktif tanaman padi dikarenakan kondisi lingkungan yang menguntungkan akibat ketersediaan air sehingga mempengaruhi indikator pertumbuhan tanaman padi yang mampu membuat produksi eksudat akar tanaman padi lebih aktif dan lebih efektif sehingga substrat yang dibutuhkan bakteri *Metanotrof* terpenuhi. Hal ini sesuai dengan pendapat Das dan Baruah (2008), yang mengatakan bahwa curah hujan yang intensif selama musim tanam mengakibatkan kondisi lingkungan yang menguntungkan karena ketersediaan air hujan mencukupi bagi pertumbuhan tanaman yang lebih baik. Salah satu indikator pertumbuhan tanaman yang baik adalah produksi eksudat akar tanaman padi yang lebih aktif. Eksudat akar menyediakan substrat untuk bakteri metanogen ataupun bakteri *metanotrof* yang terdiri atas karbohidrat, asam-asam organik, asam-asam amino, dan senyawa fenolik sehingga eksudat akar tersebut dapat mempertinggi emisi metana.

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian bakteri *Metanotrof* berpengaruh nyata terhadap rata-rata tinggi tanaman, hal ini disebabkan karena tersedianya unsur hara nitrogen yang dihasilkan dari fiksasi N di udara oleh bakteri penambat. Hal ini sesuai dengan pendapat Syaiful *et al* (2013) yang mengatakan bahwa penambahan tinggi tanaman kerap diasosiasikan dengan ketersediaan unsur N sehingga diduga bahwa

pertumbuhan padi disebabkan oleh senyawa yang dihasilkannya mampu merangsang pembelahan bakteri lebih cepat. Hal tersebut membuat laju fiksasi N oleh bakteri penambat terjadi lebih cepat sehingga merangsang pertumbuhan tinggi tanaman padi.

### **8.2.2 Pengaruh Konsentrasi Pupuk NPK**

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis rendah berpengaruh tidak nyata terhadap pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah anakan dan jumlah anakan produktif. Hal ini terjadi karena disebabkan pemberian dosis pupuk NPK yang rendah sehingga unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman tidak tercukupi oleh tanaman yang mengakibatkan pertumbuhan menjadi tidak optimal, misalnya sumbangan unsur N,P,K. Unsur N mempunyai peranan dalam mempercepat pertumbuhan tanaman yang dalam hal ini tinggi tanaman jumlah anakan serta memperbaiki kualitas tanaman padi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kaya (2013), bahwa nitrogen merupakan nutrisi utama bagi tanaman yang jumlahnya sangat terbatas pada ekosistem tanah. Nitrogen mempunyai peran penting bagi tanaman padi yaitu: mendorong pertumbuhan tanaman yang cepat dan memperbaiki tingkat hasil dan kualitas gabah melalui peningkatan jumlah anakan, pengembangan luas daun, pembentukan gabah, pengisian gabah, dan sintesis protein. Tanaman padi yang kekurangan nitrogen anakannya sedikit dan pertumbuhannya akan terganggu (kerdil). Daun berwarna hijau kekuning-kuningan dan mulai mati dari ujung kemudian menjalar ke tengah helai daun. Sedangkan jika nitrogen diberikan berlebihan maka akan mengakibatkan kerugian yaitu

melunakkan jerami dan menyebabkan tanaman mudah rebah dan menurunkan kualitas hasil tanaman.

Menurut Totong *et al.* (2015) peningkatan aplikasi dosis sampai 400 kg pupuk anorganik ha<sup>-1</sup> akan meningkatkan ketersediaan unsur hara terutama N, P, dan K tanah. Komponen hasil dan hasil gabah dipengaruhi oleh fotosintesis tanaman, karena proses ini dipengaruhi oleh unsur hara N, P, dan K. Unsur N berfungsi meningkatkan kandungan klorofil daun tanaman sehingga proses fotosintesis tanaman meningkat. Jumlah klorofil yang tinggi menunjukkan proses fotosintesis dapat berjalan dengan baik. Hasil penelitian Dong *et al.* (2009); Zhang *et al.* (2011) menunjukkan bahwa pemberian N 60% pada tahap awal dan 40% tahap akhir menyebabkan meningkatnya ketersediaan N pada tahap pertumbuhan akhir yang dapat mempengaruhi metabolisme daun selama pengisian biji. Unsur P berperan dalam suplai dan transfer energi seluruh proses biokimia padi, salah satunya yaitu mempercepat pemasakan dan perkembangan gabah sehingga bobot gabah meningkat. Unsur K berfungsi untuk pembentukan gula, zat tepung dan berbagai macam enzim sehingga jumlah gabah per malai dan persen gabah isi dapat ditingkatkan.

Rata-rata panjang malai menunjukkan bahwa pemberian pupuk NPK dengan konsentrasi 125 kg/ha memiliki rata-rata panjang malai tertinggi yaitu (25,75 cm) dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, pemberian pupuk NPK dengan konsentrasi 62,5 kg/ha memiliki rata-rata panjang malai terendah yaitu (24,61 cm). Hal ini sangat dipengaruhi oleh pemberian pupuk NPK yang terbilang rendah. Dengan pemberian pupuk NPK yang

normal sesuai dengan dosis yang di anjurkan dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman padi. Hal ini terjadi karena pupuk NPK dapat menyediakan unsur hara makro dan mikro dalam jumlah yang cukup seimbang bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Hal ini sesuai pendapat Hadisuwito (2007), menyatakan bahwa fungsi unsur hara N yaitu membentuk protein dan klorofil, fungsi unsur P sebagai sumber energi yang membantu tanaman dalam perkembangan fase vegetatif, fungsi Ca untuk mengaktifkan pembentukan bulu-bulu akar dan menguatkan batang, unsur K berfungsi dalam pembentukan protein dan karbohidrat serta fungsi dari unsur S membantu dalam pembentukan asam amino, dan membantu proses pertumbuhan lainnya, juga ada unsur hara mikro Fe, Zn yang tersedia dan diserap oleh tanaman untuk pertumbuhan vegetatif tanaman.

Doberman dan Fairhust (2000) menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman sangat ditentukan oleh kecukupan hara N dan K. Ketidakterdediaan unsur N dapat disebabkan karena kemampuan tanah dalam menyediakan unsur N rendah, tidak efisien dalam mengaplikasikan pupuk mineral N, efisiensi yang rendah bagi tanaman dalam menyerap pupuk N, kondisi penanaman yang dapat mengurangi suplai pupuk N sehingga tanaman mengalami pertumbuhan yang lambat.

### **8.2.3 Interaksi Koloni Bakteri dan Konsentrasi Pupuk NPK**

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis rendah dengan pemberian koloni bakteri *Metanotrof* terhadap parameter

pengamatan bobot 100 bulir gabah kering panen perpetak dan tidak terjadi interaksi terhadap variabel lainnya.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 125 kg/ha yang dikombinasikan dengan koloni bakteri *Metanotrof* memiliki rata-rata bobot 100 bulir tertinggi yaitu (3,18 gr) dan sedangkan rata-rata bobot 100 bulir terendah yaitu (2,88 gr) pada perlakuan tanpa pupuk NPK (kontrol) yang dikombinasikan dengan tanpa pemberian koloni bakteri *Metanotrof* (kontrol). Hal ini menunjukkan bahwa faktor genetik yang mempengaruhi berat 100 bulir karena berhubungan dengan bentuk dan ukuran biji, semakin besar bentuk biji maka bobot setiap biji akan semakin tinggi. Sehingga memungkinkan bobot 100 biji akan semakin tinggi atau semakin berat. Hal ini sesuai dengan pendapat Rahimi *et al*, (2011) yang mengatakan bahwa apabila terjadi perbedaan pada ukuran biji maka yang berperan adalah faktor genetik. Sitompul dan Guritno (1995), juga berpendapat bahwa Faktor eksternal merupakan faktor lingkungan, seperti iklim, tanah dan faktor biotik. Perbedaan pertumbuhan dari hasil yang diperoleh dipengaruhi oleh satu atau lebih dari faktor tersebut. Perbedaan susunan genetik merupakan salah satu faktor penyebab keragaman penampilan tanaman dan perbedaan susunan genetik akan selalu terjadi sekalipun bahan tanaman yang digunakan berasal dari jenis tanaman yang sama.



## **BAB IX**

**PENGARUH PENGAPLIKASIAN BAKTERI  
METANOTROF DAN PUPUK NPK  
TERHADAP PERTUMBUHAN DAN  
PRODUKSI TANAMAN PADI SAWAH  
(*Oryza sativa* L.)**



## 9.1 Analisis Hasil Aplikasi Bakteri *Metanotrof* dan Pemupukan NPK

### a. Tinggi Tanaman (cm)

Analisis menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri metanotrof (M) serta interaksi terhadap tinggi tanaman padi.

Tabel 15 Rata-Rata Tinggi Tanaman dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri

Pupuk	Metanotrof					Rata-Rata
	M0 0 CFU ml <sup>-1</sup> (Kontrol)	M1 10-7 CFU ml <sup>-1</sup> (Gowa)	M2 10-7 CFU ml <sup>-1</sup> <sup>1</sup> (Maros)	M3 10-7 CFU ml <sup>-1</sup> (Pangkep)	M4 10-7 CFU ml <sup>-1</sup> (Sidrap)	
P0 (0 g)	199.70a	204.93a	207.46a	205.26a	217.36b	206.94
P1 (62,5 g)	211.41b	216.14b	200.50b	200.79b	201.10b	205.99
P2 (125 g)	205.07a	211.64a	202.81a	210.59a	200.23a	206.07
P3 (187,2 g)	214.87a	218.61c	<b>227.01d</b>	214.56d	223.63e	219.74
P4 (250 g)	200.10e	210.77e	201.10e	<b>198.86e</b>	201.94e	202.55
<b>Rata-Rata</b>	206.23	212.42	207.78	206.01	208.85	208.26
<b>NP BNT</b>	5.8					

Hasil uji BNT  $\alpha=0,05$  pada tabel 15, menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml asal daerah maros menghasilkan tinggi tanaman tertinggi dengan total yaitu 227,01 cm dan berbeda sangat nyata pada interaksi perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Sidrap serta

perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrrof  $10^{-7}$  asal daerah Gowa tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

### b. Jumlah Anakan (Batang)

Hasil pengamatan jumlah anakan dan sidik ragam disajikan pada Tabel Lampiran 3a dan 3b. Analisis sidik ragam menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK (P) dan bakteri metanotrof (M) serta interaksi terhadap jumlah anakan tanaman padi.

Tabel 16 Rata-Rata Jumlah Anakan dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk	Metanotrof					Rata-Rata
	M0 0 CFU ml-1 (Kontrol)	M1 10-7 CFU ml-1 (Gowa)	M2 10-7 CFU ml- 1 (Maros)	M3 10-7 CFU ml-1 (Pangkep)	M4 10-7 CFU ml- 1 (Sidrap)	
P0 (0 g)	84.14a	84.86a	89.71a	77.43a	94.00a	86.03
P1 (62,5 g)	92.86a	<b>109.14a</b>	91.57a	93.29a	84.00a	94.17
P2 (125 g)	95.43a	91.00a	87.43a	94.57a	95.71a	92.83
P3 (187,2 g)	<b>81.43a</b>	93.14a	96.00a	94.71a	91.57a	91.37
P4 (250 g)	87.29a	93.00a	87.71a	92.43a	84.14a	88.91
<b>Rata-Rata</b>	88.23	94.23	90.49	90.49	89.89	90.66
<b>NP BNT</b>	9.66					

Hasil uji BNT  $\alpha=0.05$  pada tabel 16, menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml asal daerah Gowa menghasilkan jumlah anakan tertinggi dengan total yaitu 109,14 batang dan tidak berbeda nyata pada interaksi perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Maros serta perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrrof  $10^{-7}$

asal daerah Sidrap, juga tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

**c. Jumlah Anakan Produktif (Batang)**

Analisis statistika menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri metanotrof serta interaksi terhadap jumlah anakan produktif tanaman padi.

Tabel 17 Rata-Rata Jumlah Anakan Produktif dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk	Metanotrof					Rata
	M0 0 CFU ml <sup>-1</sup> (Kontrol)	M1 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Gowa)	M2 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Maros)	M3 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Pangkep)	M4 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Sidrap)	- Rata
P0 (0 g)	53.86a	60.43a	53.57a	51.29a	55.29a	54.8 9
P1 (62,5 g)	59.29a	59.86a	52.43a	57.43a	51.29a	56.0 6
P2 (125 g)	58.43a	54.43a	<b>48.86a</b>	56.71a	51.57a	54.0 0
P3 (187,2 g)	56.86a	50.43a	61.57a	64.29a	69.14b	60.4 6
P4 (250 g)	<b>69.86c</b>	62.14c	56.57c	52.86c	55.57c	59.4 0
<b>Rata-Rata</b>	59.66	57.46	54.60	56.51	56.57	56.9 6
<b>NP BNT</b>	3.96					

Hasil uji BNT  $\alpha=0.05$  pada tabel 17, menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof 10<sup>-7</sup> CFU/ml (kontrol) menghasilkan jumlah anakan produktif tertinggi dengan total yaitu 69,86 batang dan berbeda sangat nyata pada interaksi perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof 10<sup>-7</sup> asal daerah

Sidrap serta perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Pangkep tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

#### d. Jumlah Cabang Malai (Buku)

Analisis sidik ragam menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri metanotrof serta interaksi terhadap jumlah cabang malai tanaman padi.

Tabel 18 Rata-Rata Jumlah Cabang Malai dengan Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk	Metanotrof					Rata-Rata
	M0 0 CFU ml <sup>-1</sup> (Kontrol)	M1 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Gowa)	M2 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Maros)	M3 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Pangkep)	M4 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Sidrap)	
P0 (0 g)	807.86a	906.43a	789.29a	769.29a	829.9a	820.43
P1 (62,5 g)	889.29a	897.86a	786.43a	840.00a	755.00a	833.71
P2 (125 g)	876.43a	827.14a	<b>732.86a</b>	850.71a	773.57a	812.14
P3 (187,2 g)	852.86a	756.43a	900.71a	964.29a	1037.14b	902.29
P4 (250 g)	<b>1047.86c</b>	932.14c	820.00c	792.86c	805.00c	879.57
<b>Rata-Rata</b>	894.86	864.00	805.86	843.43	840.00	849.63
<b>NP BNT</b>	57.22					

Hasil uji BNT  $\alpha=0.05$  pada tabel 18, menunjukkan bahwa perlakuan P4 dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml (kontrol) menghasilkan jumlah cabang malai tertinggi dengan total yaitu 1047,86 dan berbeda nyata pada interaksi perlakuan dengan

konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Sidrap serta perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Pangkep, tetapi berbeda tidak nyata dengan perlakuan lainnya.

**e. Berat Seluruh Gabah (g)**

Analisis menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri metanotrof serta interaksi terhadap berat seluruh gabah tanaman padi.

Tabel 19 Rata-Rata Berat Seluruh Gabah Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk	Metanotrof					Rata-Rata
	M0 0 CFU ml <sup>-1</sup> (Kontrol )	M1 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Gowa)	M2 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Maros)	M3 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Pangkep)	M4 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Sidrap)	
P0 (0 g)	<b>106.03a</b>	121.06a	121.53a	113.09a	106.37a	113.6 1
P1 (62,5 g)	122.66a	144.03b	119.14b	119.24b	113.26b	123.6 7
P2 (125 g)	130.37b	120.66b	124.40b	113.44b	114.06b	120.5 9
P3 (187,2 g)	123.26b	117.57b	140.20c	151.81d	<b>153.24e</b>	137.2 2
P4 (250 g)	121.02e	130.33e	118.40e	124.31e	127.37e	124.2 9
<b>Rata-Rata</b>	120.67	126.73	124.73	124.38	122.86	123.8 7
<b>NP BNT</b>	9.52					
<b>NP BNT</b>	9.52					

Hasil uji BNT  $\alpha=0.05$  pada tabel 19, menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml asal daerah Sidrap menghasilkan berat seluruh gabah tertinggi dengan

total yaitu 153,24 g dan berbeda sangat nyata pada interaksi perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Pangkep serta perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Gowa tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

#### f. Bobot 100 Bulir (g)

Analisis menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri metanotrof serta interaksi terhadap bobot 100 bulir gabah tanaman padi.

Tabel 20 Rata-Rata Berat 100 Biji Gabah Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk	Metanotrof					Rata - Rata
	M0 0 CFU ml <sup>-1</sup> (Kontrol )	M1 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Gowa)	M2 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Maros)	M3 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Pangkep)	M4 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Sidrap)	
P0 (0 g)	9.19a	9.00a	8.83a	9.09a	9.03a	9.03
P1 (62,5 g)	9.31a	9.06a	8.94a	8.90a	9.44a	9.13
P2 (125 g)	9.17a	<b>9.44a</b>	9.31a	9.17a	8.90a	9.20
P3 (187,2 g)	9.41a	9.30a	8.80a	8.70a	9.13a	9.07
P4 (250 g)	9.00a	8.90a	9.16a	<b>8.66a</b>	9.00a	8.94
<b>Rata-Rata</b>	9.22	9.14	9.01	8.90	9.10	9.07
<b>NP BNT</b>	0.26					
<b>NP BNT</b>	0.26					

Hasil uji BNT  $\alpha=0.05$  pada tabel 20, menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml asal daerah Gowa menghasilkan bobot 100 bulir gabah tertinggi dengan

total yaitu 9,44 g dan tidak berbeda nyata pada interaksi perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Sidrap serta perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Maros, juga tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

**g. Jumlah Gabah Berisi (bulir)**

Analisis statistika menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri metanotrof serta interaksi terhadap jumlah gabah berisi tanaman padi.

Tabel 21 Rata-Rata Jumlah Gabah Berisi Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk	Metanotrof					Rata-Rata
	M0 0 CFU ml <sup>-1</sup> (Kontrol)	M1 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Gowa)	M2 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Maros)	M3 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Pangkep)	M4 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Sidrap)	
P0 (0 g)	<b>3492.14</b> a	4036.57 a	4270.86a	4099.86a	3633.29a	3906.5 4
P1 (62,5 g)	4079.29 a	5204.14 b	4165.14b	4226.86b	3919.29b	4318.9 4
P2 (125 g)	4631.29 c	4268.71 c	5157.00d	4036.86d	4114.71d	4441.7 1
P3 (187,2 g)	4309.57 e	4183.57 e	4831.14f	<b>5680.71g</b>	5227.14h	4846.4 3
P4 (250 g)	4335.14i	5199.86 j	3973.57j	4291.57k	4517.14l	4463.4 6
<b>Rata-Rata</b>	4169.49	4578.57	4479.57	4467.17	4282.31	4395.4 2
<b>NP BNT</b>						264.15

Hasil uji BNT  $\alpha=0.05$  pada tabel 21, menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml asal daerah Pangkep menghasilkan jumlah gabah berisi tertinggi dengan total yaitu 5.680,71 bulir dan berbeda sangat nyata pada interaksi perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Sidrap serta perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Gowa, juga berbeda sangat nyata dengan perlakuan lainnya.

#### h. Jumlah Gabah Hampa (Bulir)

Analisis statistik menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri metanotrof serta interaksi terhadap jumlah gabah hampa tanaman padi.

Tabel 22 Rata-Rata Jumlah Gabah Hampa Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk	Metanotrof					Rata-Rata
	M0 0 CFU ml <sup>-1</sup> (Kontrol)	M1 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Gowa)	M2 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Maros)	M3 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Pangkep)	M4 10 <sup>-7</sup> CFU ml <sup>-1</sup> (Sidrap)	
P0 (0 g)	50.10a	47.978a	56.89a	52.30a	50.50a	51.55
P1 (62,5 g)	54.73a	50.86a	48.33a	51.31a	<b>47.84a</b>	50.62
P2 (125 g)	51.89a	48.44a	50.95a	51.77a	48.32a	50.27
P3 (187,2 g)	55.96a	53.78a	<b>58.03a</b>	55.02a	51.45a	54.85
P4 (250 g)	48.52a	52.56a	53.48a	54.19a	49.86a	51.72
<b>Rata-Rata</b>	52.24	50.72	53.54	52.92	49.59	51.80
<b>NP BNT</b>	3.37					

Hasil uji BNT  $\alpha=0.05$  pada tabel 22, menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml asal daerah Maros menghasilkan jumlah gabah hampa tertinggi dengan

total yaitu 58,03 bulir dan tidak berbeda nyata pada interaksi perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  (kontrol) serta perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  (kontrol), juga tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml asal daerah Sidrap menghasilkan jumlah gabah hampa terendah dengan total yaitu 57,84 bulir.

**i. Berat Total Gabah Berisi (g)**

Analisis statistika menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri metanotrof serta interaksi terhadap berat total gabah berisi tanaman padi.

Tabel 23 Rata-Rata Berat Total Gabah Berisi Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk	Metanotrof					Rata-Rata
	M0 0 CFU/ ml (Kontrol)	M1 $10^{-7}$ CFU/ ml (Gowa)	M2 $10^{-7}$ CFU/ ml (Maros)	M3 $10^{-7}$ CFU/ ml (Pangkep)	M4 $10^{-7}$ CFU/ ml (Sidrap)	
P0 (0 g)	96.60a	116.76a	115.66a	107.29a	<b>95.70a</b>	106.40
P1 (62,5 g)	119.53a	139.53b	114.70b	111.41b	107.33b	118.50
P2 (125 g)	128.77c	121.80c	112.04c	112.39c	107.41c	116.48
P3 (187,2 g)	117.70c	116.93c	132.54d	144.11e	<b>163.95f</b>	135.05
P4 (250 g)	115.91f	123.16f	119.33f	120.54f	133.49g	122.49
<b>Rata-Rata</b>	115.70	123.63	118.85	119.15	121.58	119.78
<b>NP BNT</b>	9.74					

Hasil uji BNT  $\alpha=0.05$  pada tabel 23, menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml asal daerah Sidrap menghasilkan berat total gabah berisi tertinggi dengan total yaitu 163,95 g dan berbeda sangat nyata pada interaksi perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Pangkep serta perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Gowa, juga berbeda sangat nyata dengan perlakuan lainnya.

#### j. Produksi Per Petak (Kg)

Analisis statistika menunjukkan terdapat pengaruh sangat nyata pada perlakuan pupuk NPK dan bakteri metanotrof serta interaksi terhadap produksi gabah per petak tanaman padi.

Tabel 24 Rata-Rata Produksi Gabah Per Petak Perlakuan Pupuk NPK dan Bakteri *Metanotrof*

Pupuk	Metanotrof					Rata-Rata
	M0 0 CFU ml-1 (Kontrol)	M1 10-7 CFU ml-1 (Gowa)	M2 10-7 CFU ml- 1 (Maros)	M3 10-7 CFU ml-1 (Pangkep)	M4 10-7 CFU ml- 1 (Sidrap)	
P0 (0 g)	20.36a	23.24a	23.33a	21.71a	20.42a	21.81
P1 (62,5 g)	23.55a	27.65b	22.87b	22.89b	21.75b	23.74
P2 (125 g)	25.03b	23.17b	23.88b	21.78b	21.90b	23.15
P3 (187,2 g)	23.67b	22.57b	26.92c	29.15d	29.42e	26.35
P4 (250 g)	23.24e	25.02e	22.73e	23.87e	24.46e	23.86
<b>Rata-Rata</b>	23.17	24.33	23.95	23.88	23.59	23.78
<b>NP BNT</b>	1.83					

Hasil uji BNT  $\alpha=0.05$  pada tabel 24, menunjukkan bahwa perlakuan P3 dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml asal daerah Sidrap menghasilkan produksi gabah per petak tertinggi

dengan total yaitu 29,42 kg dan berbeda sangat nyata pada interaksi perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Pangkep serta perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  asal daerah Gowa tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. sedangkan perlakuan dengan konsentrasi bakteri Metanotrof  $10^{-7}$  CFU/ml (kontrol) menghasilkan produksi gabah per petak terendah dengan total yaitu 20,36 kg.

## **9.2 Pembahasan**

### **9.2.1 *Interaksi Bakteri Metanotrof dari Empat Daerah dan Konsentrasi Pupuk NPK***

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara perlakuan konsentrasi pupuk NPK dengan pemberian bakteri Metanotrof asal empat daerah terhadap parameter tinggi tanaman, jumlah anakan, jumlah anakan produktif, jumlah cabang malai, berat seluruh gabah, bobot 100 bulir, jumlah gabah berisi, jumlah gabah hampa, berat total gabah berisi dan produksi per petak (kg).

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 187,2 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Maros memiliki rata-rata tinggi tanaman yang tertinggi yaitu 227,01 cm, sedangkan rata-rata tinggi tanaman yang terendah yaitu 198,86 cm pada perlakuan pupuk NPK dosis 250 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal Pangkep.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 62,5 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Gowa memiliki rata-rata jumlah anakan yang tertinggi yaitu 109,14 batang,

sedangkan rata-rata jumlah anakan yang terendah yaitu 81,43 batang pada perlakuan pupuk NPK 187,2 kg/ha yang tanpa kombinasi dengan bakteri Metanotrof.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 250 kg/ha tanpa dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof memiliki rata-rata jumlah anakan produktif tertinggi yaitu 69,86 batang, sedangkan rata-rata jumlah anakan produktif terendah yaitu 48,86 batang pada perlakuan pupuk NPK 125 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Maros.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 250 kg/ha tanpa dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof memiliki rata-rata jumlah cabang malai tertinggi yaitu 1047,86 batang, sedangkan rata-rata jumlah cabang malai terendah yaitu 732,86 batang pada perlakuan pupuk NPK 125 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Maros.

Pengaruh pemberian pupuk NPK pada parameter tinggi tanaman, jumlah anakan, jumlah anakan produktif, dan jumlah cabang malai memberikan pengaruh sangat nyata karena adanya unsur hara yang tercukupi pada masa vegetatif tanaman padi yaitu dengan pemberian pupuk NPK. Pupuk NPK mengandung nitrogen, posfor dan kalium yang cocok bagi tanaman padi sawah sehingga mampu memberikan efek positif bagi pertumbuhan tanaman padi. Hal ini sesuai dengan pendapat Simanjuntak (2015) yang menyatakan bahwa salah satu pupuk anorganik yang dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara makro dan sangat efisien adalah pupuk NPK, yang mampu menggantikan pupuk tunggal

seperti urea, SP-36, dan KCl yang sulit diperoleh dipasaran dan biayanya yang sangat mahal.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 125 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Gowa memiliki rata-rata bobot 100 bulir tertinggi yaitu 9,44 g, sedangkan rata-rata bobot 100 bulir terendah yaitu 8,66 g pada perlakuan pupuk NPK 250 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Pangkep. Hal ini menunjukkan bahwa bobot 100 bulir dipengaruhi oleh faktor genetik yang berhubungan dengan bentuk dan ukuran bulir, apabila semakin besar bentuk dan ukuran bulir maka semakin tinggi bobot dari setiap bulir padi. Hal ini sesuai dengan pendapat Rahimi et al (2011), yang menyatakan bahwa faktor genetik merupakan salah satu faktor penyebab keragaman penampilan tanaman yang berperan dalam terjadinya perbedaan bentuk dan ukuran biji.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 187,2 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Sidrap memiliki rata-rata berat seluruh gabah tertinggi yaitu 153,24 g, sedangkan rata-rata berat seluruh gabah terendah yaitu 106,03 g pada perlakuan tanpa pupuk NPK dan bakteri Metanotrof.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 187,2 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Pangkep memiliki rata-rata jumlah gabah berisi tertinggi yaitu 5680,71 bulir, sedangkan rata-rata gabah berisi terendah yaitu 3492,14 bulir pada perlakuan tanpa pupuk NPK dan bakteri Metanotrof.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 187,2 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Maros

memiliki rata-rata jumlah gabah hampa tertinggi yaitu 58,03 bulir, sedangkan rata-rata jumlah gabah hampa terendah yaitu 48,44 bulir pada perlakuan pupuk NPK 125 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Gowa.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 187,2 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Sidrap memiliki rata-rata berat total gabah berisi tertinggi yaitu 163,95 g, sedangkan rata-rata berat total gabah berisi terendah yaitu 95,70 g pada perlakuan tanpa pemberian pupuk NPK yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Sidrap.

Perlakuan konsentrasi pupuk NPK dosis 187,2 kg/ha yang dikombinasikan dengan bakteri Metanotrof asal daerah Sidrap memiliki rata-rata produksi per petak tertinggi yaitu 29,42 kg, sedangkan rata-rata produksi per petak terendah yaitu 20,36 kg pada perlakuan tanpa pupuk NPK dan bakteri Metanotrof.

Pengaruh pemberian pupuk NPK terhadap bobot 100 bulir, berat seluruh gabah, jumlah gabah berisi, jumlah gabah hampa, berat total gabah berisi dan produksi per petak memiliki interaksi sangat nyata dengan pemberian bakteri metanotrof, karena pupuk NPK mampu membantu pertumbuhan tanaman dengan menyuplai unsur hara makro pada tanaman dan bakteri metanotrof mampu memfiksasi nitrogen sehingga unsur hara yang tidak tercukupi dapat tersedia di tanah. Hal ini sesuai dengan pendapat Dedysh et al (2004) yang menyatakan bahwa bakteri Metanotrof mampu memfiksasi nitrogen, sedangkan pendapat dari Theowidavitya (2019) yang menyatakan bahwa terdapat interaksi mutualistik antara tanaman

dan mikroba yang dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dan membantu penyerapan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman.

### **9.2.2 Pengaruh Konsentrasi Pupuk NPK**

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi pupuk NPK berpengaruh sangat nyata terhadap parameter tinggi tanaman (187,2 kg/ha), jumlah anakan (62,5 kg/ha), jumlah anakan produktif (250 kg/ha), jumlah cabang malai (250 kg/ha), bobot 100 bulir (125 kg/ha), berat seluruh gabah (187,2 kg/ha), jumlah gabah berisi (187,2 kg/ha), jumlah gabah hampa (187, 2 kg/ha), berat total gabah berisi (187,2 kg/ha) dan produksi per petak 187,2 kg/ha. Hal ini menunjukkan bahwa, pengurangan dosis pupuk NPK tetap memberikan pertumbuhan tanaman padi sawah yang cukup baik dengan adanya bantuan bakteri metanotrof sebagai agen pemfiksasi nitrogen, namun proses awal pertumbuhan tanaman padi sawah dengan dosis rendah selama di lapangan sedikit lebih lambat dikarenakan kemampuan tanah dalam menyediakan unsur N rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Doberman dan Fairhurst (2000) yang menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman sangat ditentukan oleh ketersediaan dan kecukupan hara N dan K. ketersediaan unsur hara N disebabkan oleh kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara N rendah sehingga tidak efisien bagi tanaman dalam menyerap pupuk N, kondisi penanaman yang dapat mengurangi suplai pupuk N sehingga mengakibatkan pertumbuhan yang lambat. Hal ini juga didukung oleh pendapat Kaya (2013) yang menyatakan bahwa nitrogen merupakan nutrisi utama bagi tanaman yang jumlahnya sangat terbatas pada ekosistem tanah. Nitrogen mempunyai peran penting bagi tanaman padi yaitu: mendorong

pertumbuhan tanaman yang cepat dan memperbaiki tingkat hasil dan kualitas gabah melalui peningkatan jumlah anakan, pengembangan luas daun, pembentukan gabah, pengisian gabah, dan sintesis protein.

Pemberian bakteri metanotrof sebagai agen pemfiksasi nitrogen membantu dalam penyediaan unsur hara N di tanah, sehingga mampu memberikan pertumbuhan yang optimal meskipun dengan dosis pupuk NPK yang rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Binarti et al (2014) yang menyatakan bahwa Isolat bakteri metanototrof BGM3 dan BGM9 berperan dalam memfiksasi nitrogen karena memiliki gen *nifH* dan *nifD* penyedia enzim dinitrogenase reductase (protein Fe) dan submit  $\alpha$  dari dinitrogenase (protein Fe-Mo).

### **9.2.3 Pengaruh Bakteri Metanotrof dari Empat Daerah Asal**

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan bakteri Metanotrof dari empat daerah asal berpengaruh sangat nyata terhadap parameter tinggi tanaman, jumlah anakan, bobot 100 bulir, berat seluruh gabah, jumlah gabah berisi, jumlah gabah hampa, berat total gabah berisi, dan produksi per petak. Bakteri Metanotrof asal daerah Gowa berpengaruh sangat nyata pada parameter jumlah anakan (109,14 batang), bobot 100 bulir (9,44 g) dan jumlah gabah hampa terendah (48,44 bulir), bakteri Metanotrof asal daerah Maros berpengaruh sangat nyata pada parameter tinggi tanaman (227,01 cm), bakteri Metanotrof asal daerah Pangkep berpengaruh sangat nyata pada parameter jumlah gabah berisi (5680,71 bulir), sedangkan bakteri Metanotrof asal daerah Sidrap berpengaruh

sangat nyata pada parameter berat seluruh gabah (153,24 g), berat total gabah berisi (163,95 g) dan produksi per petak (29,42 kg/ha).

Data ini menunjukkan bahwa bakteri Metanotrof asal daerah Sidrap paling berpengaruh pada tiga parameter pengamatan yaitu berat seluruh gabah, berat total gabah berisi dan produksi per petak, hal ini juga sama dengan bakteri asal daerah Gowa yang sangat berpengaruh pada tiga parameter pengamatan yaitu jumlah anakan, bobot 100 bulir dan jumlah gabah hampa terendah. Sedangkan bakteri metanotrof asal pangkep hanya memberikan satu pengaruh nyata pada parameter jumlah gabah berisi, begitupula dengan bakteri asal daerah Maros hanya memberikan pengaruh nyata pada parameter tinggi tanaman. Hal ini dikarenakan tersedianya unsur hara di dalam tanah yang disebabkan oleh adanya bakteri metanotrof yang mampu memfiksasi nitrogen (N) di udara sehingga sangat mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman padi. Hal ini sesuai dengan pendapat Syaiful et al (2013) yang menyatakan bahwa penambahan tinggi tanaman diasosiasikan dengan ketersediaan unsur N sehingga diduga bahwa pertumbuhan padi disebabkan oleh senyawa yang dihasilkannya mampu merangsang pembelahan bakteri lebih cepat. Hal tersebut membuat laju fiksasi N oleh bakteri penambat terjadi lebih cepat sehingga merangsang penambahan tinggi tanaman padi.





## **BAB X**

# **INVENSI APLIKASI *METANOTROPH* DAN NPK**



Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan pada padi sawah yang diberi metanotroph dan NPK terdapat hasil yang diduga jika pupuk NPK dan bakteri *metanotrof* diberikan pada konsentrasi tertentu bisa membantu pertumbuhan padi namun dalam kajian penelitian belum di kaji keterkaitan penggunaan metanotroph mampu mengurangi emisi CH<sub>4</sub> ,penulis mengharapkan akan terlaksana kajian selanjutnya tentang penggunaan metanotroph untuk mengurangi emisi CH<sub>4</sub> . Pupuk NPK dengan dosis 300 g/petak yang dikombinasikan dengan bakteri *metanotrof* dengan konsentrasi 106 CFU per ml diperoleh hasil produksi perpetak dengan bobot 0,96 kg. Hasil belum maksimal karena bobot yang diperoleh masih sangat rendah. Meskipun bobot belum diperoleh hasil yang optimal tetapi bakteri *metanotrof* memberikan hasil yang signifikan terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi seperti rata-rata tinggi tanaman dan bobot 100 butir padi. Konsentrasi 106 CFU per ml menghasilkan tinggi rata-rata tanaman padi tertinggi yaitu 102,43 cm dan bakteri *metanotrof* dengan konsentrasi 108 CFU per ml menghasilkan bobot 100 butir tanaman padi rata-rata tertinggi yaitu 3,41 g.

Secara umum pemberian Pupuk NPK dengan dosis 300 g/petak tetap yang dapat memberikan hasil pertumbuhan dan produksi terbaik seperti pada hasil produksi perpetak menghasilkan hasil produksi perpetak rata-rata tanaman tertinggi yaitu 63,32 g dan

gabah kering panen rata-rata tanaman tertinggi yaitu 38,61 g. Berdasarkan hasil penelitian maka dilaksanakan penelitian dengan menggunakan metanotroph yang akan diisolasi dari empat lokasi yang berbeda dan diuji multilokasi.

Bergey dan Holt (1994) dalam *Burgy's Manual of Determinative Bacteriology* mengklasifikasikan bakteri metanotrof ke dalam bakteri gram negatif. Bakteri gram negatif memiliki peptidoglikan yang tipis sehingga mudah terekstraksi oleh etanol (alkali) dan meningkatkan permeabilitas dinding sel bakteri. Uji Gram dengan menggunakan larutan KOH 3% akan melarutkan dinding sel bakteri gram negatif dan menyebabkan keluarnya lendir yang merupakan materi genetik (DNA) (Powers, 1995) Selanjutnya, Auman et al. (2001) melaporkan bahwa bakteri metanotrof merupakan bakteri gram negatif, bersifat aerob, anaerob dan menggunakan metana sebagai sumber karbon dan energi.

Perbedaan sifat Gram dipengaruhi oleh kandungan dinding selnya yaitu bakteri Gram positif, kandungan peptidoglikannya lebih kental jika dibandingkan dengan bakteri Gram negatif ( Dew, 2013 ; Rani et al. 2017). Hal ini sesuai dengan penjelasan Fitri and Yasmi (2011) bahwa struktur dinding sel bakteri gram positif terdiri dari peptidoglikan yang tebal, sedangkan struktur dinding sel bakteri gram negatif banyak mengandung lipid.

Bakteri methanotroph adalah mikroorganisme aerobik yang dapat tumbuh dan berkembang dengan CH<sub>4</sub> sebagai satu-satunya sumber energ dan dapat juga memanfaatkan muliticarbon sebagai sumber energi. Oleh karena itu, oksidasi CH<sub>4</sub> dapat terjadi pada lingkungan mikro yang bersifat aerobik pada zona perakaran dan

pada bagian yang bersifat oksik pada lapisan permukaan tanah. (Oremland and Capone, 1988).

Perbedaan warna yang dihasilkan disebabkan adanya pigmen intraseluler yang dihasilkan oleh bakteri. Karakterisasi morfologi makroskopis yang dilakukan didapatkan bahwa koloni bakteri yang tumbuh memiliki karakteristik morfologi yang berbeda, hal ini dikarenakan setiap tempat memiliki kandungan hara yang berbeda dan sistem pengolahan tanah yang berbeda. berbeda sehingga jumlah bakteri yang ditemukan dan karakterisasi morfologi yang dihasilkan berbeda. Pengolahan tanah yang terus menerus dapat menurunkan kandungan C-organik dalam tanah, sehingga jumlah C-organik yang berperan sebagai nutrisi bagi bakteri tanah akan cenderung berkurang. Sistem tanpa olah tanah memiliki keuntungan yaitu tidak menyebabkan gangguan C-organik tanah, perubahan kandungan C-organik ini merupakan akibat dari kombinasi peningkatan laju dekomposisi bahan organik dan berkurangnya gangguan terhadap tanah (Six et al., 1999)

Temuan dari invesni mikroba juga memberikan gambaran jika bakteri metanotrof bersifat katalase positif dengan terbentuknya gelembung-gelembung udara yang menjelaskan sifat aerobnya. Menurut Susana et al (2017) mengatakan uji katalase positif isolat bakteri ditandai dengan gelembung-gelembung oksigen yang menunjukkan bahwa organisme yang bersangkutan menghasilkan enzim katalase Hal ini sejalan dengan pendapat Zou et al. (2018). katalase adalah enzim yang mengkatalisis penguraian hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen. Hidrogen peroksida bersifat racun bagi sel karena menonaktifkan enzim dalam sel. bahwa

hidrogen peroksida terbentuk selama metabolisme aerobik, sehingga mikroorganisme yang tumbuh dalam lingkungan aerobik harus menguraikan bahan beracun. Hasil uji katalase menunjukkan kemampuan mendegradasi hidrogen peroksida. Hidrogen peroksida merupakan zat toksik yang berbahaya untuk tanaman karena mampu menghancurkan sel dengan cepat. Beberapa bakteri memiliki enzim katalase atau peroksidase yang mampu mengubah hidrogen.

Lebih lanjut (Auman et al., 2001) melaporkan bahwa bakteri metanotrofik merupakan bakteri gram negatif, bersifat aerob dan anaerob dan menggunakan metana sebagai sumber karbon dan energi.

Penemuan beberapa isolat yang mampu mengikat nitrogen dari udara. Pengujian bakteri penambat nitrogen dilakukan dengan menggunakan media selektif Burk's yang tidak mengandung unsur nitrogen sehingga bakteri harus mengikat nitrogen yang ada di udara. Hal ini sesuai dengan pendapat (Bintarti et al., 2014) yang menyatakan bahwa Isolat bakteri Metanototrof berperan dalam memfiksasi nitrogen karena memiliki gen *nifH* dan *nifD* penyedia enzim dinitrogenase reductase (protein Fe) dan submit  $\alpha$  dari dinitrogenase (protein Fe-Mo) Pemberian bakteri metanotrof sebagai agen pemfiksasi nitrogen membantu dalam penyediaan unsur hara N di tanah, sehingga mampu memberikan pertumbuhan yang optimal. Nitrogen merupakan unsur hara esensial bagi tanaman, yang memiliki sifat hilang jika berada didalam tanah, hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti menguap (volatilisasi), nitrifikasi, denitrifikasi atau tercuci oleh air dan erosi

Penambahan nitrogen secara hayati yang non simbiotik dilakukan oleh jasad mikro yang hidup bebas. Enterobacteriaceae, Bacillus, Azotobacter, Azospirillum, dan Herbaspirillum telah terbukti mampu melakukan fiksasi N<sub>2</sub> (Khatoon et al. 2020). Di samping itu, Azotobacter merupakan bakteri fiksasi N<sub>2</sub> yang mampu menghasilkan substansi zat pemacu tumbuh giberelin dan sitokinin sehingga dapat memacu pertumbuhan akar (Geddes et al. 2015).

Kondisi tanah yang sering tergenang menghasilkan populasi bakteri methanotroph lebih banyak bila dibandingkan dengan lokasi yang jarang tergenang (tadah hujan). Hal ini berhubungan dari sifat bakteri methanotroph yang mereduksi gas metan yang dihasilkan oleh bakteri metanogen sebelum di lepas ke atmosfer. Keberadaan bakteri methanotroph sangat dipengaruhi oleh keberadaan bakteri metanogen sebagai penghasil CH<sub>4</sub>. Lokasi yang tergenang menyebabkan terjadinya perombakan bahan organik disekitar perakaran misalnya jerami, akar yang melapuk secara anaerob pada lahan persawahan yang tergenang merupakan substrat utama pembentukan CH<sub>4</sub> (Weber *et al.* 2001; Whitman *et al.* 2006).

Kondisi tanah yang tergenang menyebabkan atmosfer reduktif di dalam tanah sehingga pertumbuhan bakteri metanogenik meningkat (Nonci et al., 2016). Proses oksidasi metana dapat berlangsung secara aerob dan anaerob (Cristoserdova et.al 2005)

Pada kondisi aerob bakteri methanotroph menggunakan oksigen untuk mengoksidasi metana, dan kondisi anaerob bakteri methanotroph menggunakan sulfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) ataupun nitrat (NO<sub>3</sub>) untuk mengoksidasi metana. (Octaviana, 2010). Menurut Rahman

(2010) bahwa bakteri methanotroph senyawa multikarbon sebagai energi selain menggunakan metana



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman A. Dariah A. Dan Mulyani A. 2008. Strategi dan teknologi pengelolaan lahan kering mendukung pengadaan pangan nasional. *Jurnal Litbang Pertanian*. 27 (2): 43-49.
- Åberg, C. H., Kelk, P., & Johansson, A. (2015). *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*: Virulence of its leukotoxin and association with aggressive periodontitis. *Virulence*, 6(3), 188–195 <https://doi.org/10.4161/21505594.2014.982428>
- Adiratma, E.R. 2004. *Stop Tanam Padi*. Penebur Swadaya. Jakarta.
- Ade A., R Hayati dan E. Hayati. 2015. Pengaruh Pemupukan terhadap Pertumbuhan beberapa Variets Padi Gogo (*Ooriza sativa* L.). *Jurnal Floratek*. Vol. 10. Hal: 61-68.
- Adiningsih, J.S. 1992. Peranan Efisiensi Penggunaan Pupuk untuk Mmelestarikan Swasembada Pangan. Orasi Pengukuran Ahli peneliti utama. Jakarta.
- Afif, M. 2015. *Pengaruh Dosis Pupuk NPK Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Produksi Tanaman Bayam (Amaranthus sp)*. Skripsi, Fakultas Pertanian. Universitas Teuku Umar, Aceh.
- Agussalim, M., Wani, U., & Syechfani. (2010). Rice Husk Biochar for Rice Based Cropping System in Acid Soil 1. The

Characteristics of Rice Husk Biochar and Its Influence on the Properties of Acid Sulfate Soils and Rice Growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agriculture Science*, 2, 39–47.

Akhdiya, A. 2003. Isolasi Bakteri Penghasil Enzim Protease Alkali Termotabil. *Buletin Plasma Nutfah*. 9 (2).

Aisyah D. Suyono, A D.,<sup>1</sup> dan Citraresmini, A. 2010. Komposisi Kandungan Fosfor Pada Tanaman Padi Sawah (*Oryza Sativa* L.) Berasal Dari Pupuk P Dan Bahan Organik. *Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*. Vol. 12, No.3, November 2010:126–135. Fak. Pertanian, Univ. Padjadjaran.

Andi, H., Norsamsi, Putri, S. F. S., & Novy, P. P. (2014). Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Konversi* 3(2), 57–66. <https://doi.org/10.20527/k.v3i2.161>

Andrenelli, M. C., Maienza, A., Genesio, L., Miglietta, F., Pellegrini, S., Vaccari, F. P., & Vignozzi, N. (2016). Field application of pelletized biochar: Short term effect on the hydrological properties of a silty clay loam soil. *Agricultural Water Management*, 163, 190–196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.017>

Annisa, W., D. Cahyana., H. Syahbuddin and A. Rachman. 2017. Laboratory Study of Methane Flux From Acid Sulphate Soil in South Kalimantan. International Conference on Innovative Research-ICIR EUROINVENT 2017. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 209 (2017) 012089. Doi: 10.1088/1757899X/209/1/012089.

- Astiningrum, M. 2005. *Manajemen Persampahan*, *Majalah Ilmiah Dinamika* Universitas Tidar Magelang 15 Agustus 2005. Magelang 8 hal.
- Astuty DD. 2019. *Karakterisasi fisiologis dan identifikasi molekuler isolat-isolat bakteri metanotrof asal sawah wilayah Bogor dan Sukabumi*. Bogor; Istitut Pertanian Bogor.
- Arif , Chusnul dkk. 2016. Potensi Pemanasan Global dari Padi Sawah Sistem of *Rice Intenfication* (SRI) dengan berbagai Ketinggian Muka Air Tanah. *Jurnal Irigasi*. Vol. 11, No. 2. Hal: 81 – 90.
- Anggraini, F., Suryanto, A., & Aini, N. (2013). Sistim Tanam dan Umur Bibit Pada Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) Varietas Inpari 13. *Jurnal Produksi Tanaman*, 1(2), 52–60.
- Arifin, Z., & Susilowati, L. E. (2022). *Aplikasi biochar dalam mempengaruhi aktivitas mikrobia tanah pada pertanaman jagung yang menerapkan pola pemupukan terpadu 1234*. 4(November 2021), 23–24.
- Aslam, Z., Khalid, M., & Aon, M. (2014). Impact of Biochar on Soil Physical Properties. *Scholarly Journal of Agricultural Science*, 4(5), 280–284.
- Aulia, Septi Lora. 2018. *Pengaruh Kombinasi Pupuk Organik dan Anorganik Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi Beras Merah (Oryza nivara L.)*. [Skripsi]. Universitas Sriwijaya: Palembang.
- Auman, A. J., C. C. Speake and M. E. Lidstrom. 2001. nifH Sequences and Nitrogen Fixation in type I and Type II Methanotrophs. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 67, no. 9, pp. 4009–4016.

- Azrai, H. 2005. *Laporan Tahunan Puslitbang Tanaman Pangan 2000/2001*. Puslitbang. Bogor.
- Babalola, O. O. (2010). Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology Letters*, 32(11), 1559–1570. <https://doi.org/10.1007/s10529010-0347-0>
- Baiamonte, G., Crescimanno, G., Parrino, F., & De Pasquale, C. (2021). Biochar amended soils and water systems: Investigation of physical and structural properties. *Applied Sciences(Switzerland)*,11(24).<https://doi.org/10.3390/app112412108>
- Bakhtiar, Purwoko, B. S., Trikoesoemaningtyas, & Dewi, I. S. (2010). Analisis Korelasi dan Koefisien Lintas Antar Beberapa Sifat Padi Gogo pada Media Tanah Masam. *J. Floraktek*, 5, 86–93.
- Bashan, Y., & de-Bashan, L. E. (2010). How the plant growth-promoting bacterium azospirillum promotes plant growth-a critical assessment. In *Advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 108, Issue C). Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8)
- Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. P. (2012). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Their Potensial as Antagonists and Biocontrol Agents. *Genetics and Molecular Biology*, 4, 1044–1051. <http://www.scielo.br/pdf/gmb/v35n4s1/20.pdf>
- Bi, H., Ni, Z., Tian, J., Wang, C., Jiang, C., Zhou, W., Bao, L., Sun, H., & Lin, Q. (2021). The effect of biomass addition on pyrolysis characteristics and gas emission of coal gangue by multi-component reaction model and TG-FTIR- MS. *Science of the*

*Total Environment*, 798, 149290. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149290>

Bintarti, A. F., Rusmana, I., & Wahyudi, A. T. (2010). *Identification of nif D and nif H Genes of Methanotrophic Bacteria from Rice Field*.

Badan Pusat Statistik. 2020. *Statistika Indonesia (Statistica Year Book of Indonesia)*. Badan Pusat Statistik/BPS-Statistics Indonesia, Jakarta.

Bintarti AF., Rusmana I. dan Wahyudi AT. 2014. Identification of *nifD* and *nifH* Genes of Methanotrophic Bacteria from Rice Field. *Annales Bogorienses*. 18 (2): 13-25.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2014. *Kumpulan Deskripsi Varietas Padi*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian. Jawa Tengah.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2020. *Rekomendasi Pupuk NPK Spesifik Lokasi untuk Tanaman Padi, Jagung dan Kedelai pada Lahan Sawah (Per Kecamatan)*. Balitbangtan. Jakarta.

Badan Pusat Statistik. 2020. *Hasil Sensus Penduduk 2020*. <https://www.bps.go.id>. (diakses tanggal 4 agustus 2021).

Badan Pusat Statistik. 2021. *Luas panen dan produksi padi tahun 2020*. <https://www.bps.go.id>. (diakses tanggal 26 juni 2021).

Badan Ketahanan Pangan dan Penyuluh Pertanian Aceh, 2009. *Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan*. Syarat Tumbuh Tanam Padi.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Jakarta.

Bintarti, A. F. 2011. *Methane oxidation and ammonium accumulation activity and characterization of nifH and nifD genes of methanotrophic bacteria from ricefields*. [Tesis]. Bogor: Major of Mmicrobiology, Graduate School, Bogor Agricultural University.

Belova SE., Baani M., Suzina NE., Bodelier PLE., Liesack W. and Dedysh SN. 2011. Acetate utilization as a survival strategy of peat-inhabiting *Methylocystis* spp. *Environ Microbiol Rep.* 3 (1): 36-46.

Bodelier, P.L., Roslev, P., Henckel, T., Frenzel, P., 2000. Stimulation by ammonium based fertilizers of methane oxidation in soil around roots. *Nature* 403, 421–424. Butterbach - Bahl , K ., Papen, H., Rennenberg, H., 1997. Impact of gas transportthrough rice cultivars on methane emission in rice paddy fields. *Plant Cell Environ.* 20, 1175–1183.

Cahyadi, D., & Widodo, W. D. (2017). Efektivitas Pupuk Hayati Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Caisin (*Brassica Chinensis* L.). *Buletin Agrohorti*, 5(3), 292–300. <https://doi.org/10.29244/agrob.v5i3.16466>

Citraresmini, A., & Aplikasi, P. (2016). *Dinamika Fosfat Pada Aplikasi Kompos Jerami-Biochar dan Pemupukan Fosfat Pada Tanah Sawah Phosphate Dynamics on The Application of Rice Straw Compost- Biochar and Phosphate Fertilization in Rice Fields*. 133–146.

Christanti Agustina\* , Mochtar Lutfi Rayes, Novalia Kusumarini, Khanza Amaladewi Sudharta. 2020. Pemetaan Bahan

Organik Tanah Pada Sawah Irigasi Dan Tadah Hujan Di Kecamatan Turen, Malang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. Vol 7 No 1 : 69-75.

Dariah, A., Sutono, S., Nurida, N. L., Hartatik, W., Pratiwi, E., Penelitian, B., Jl, T., Pelajar, T., & Email, B. (2015). *Pembenah Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Pertanian*. 67–84.

Devi, Nur Islam Erma. 2019. *Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>) dari Sedimen dan Bagian Tanaman Sonneratia alba dan Korelasinya terhadap jarak Tanaman ke Daratan di Kawasan Hutan Mangrove Pulau Pari Kabupaten Kepulauan Seribu*. [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah : Jakarta.

Demirbas, A. (2004). Effects of temperature and particle size on biochar yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72(2), 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.07.003>

Dewi K. A. (2013). Isolation, Identification and Sensitivity test of Staphylococcus aureus against Amoxicillin of the Milk Sample in the Mastitis Crossbreed Ettawa Goat at Girimulyo Area, Kulonprogo, Yogyakarta. *Sain Veteriner*, 31(2).

Domene, X., Mattana, S., Hanley, K., Enders, A., & Lehmann, J. (2014). Mediumterm effects of corn biochar addition on soil biota activities and functions in a temperate soil cropped to corn. *Soil Biology and Biochemistry*, 72, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.035>

Dominguez, E. L., Uttran, A., Loh, S. K., Manero, M. H., Upperton, R., Tanimu, M. I., & Thomas Bachmann, R. T. (2020). Characterisation of industrially produced oil palm kernel

shell biochar and its potential as slow release nitrogen-phosphate fertilizer and carbon sink. *Materials Today: Proceedings*, 31(xxxx), 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.143>

Dobermann, A dan T. Fairhurst. 2000. Nutrient Disorders and Nutrient Management. *Tham Sin Chee*. Graham DW, Korich DG, Leblanc RP, Sinclair NA, Arnold RG. 1992. Applications of a colorimetric plate assay for soluble methane monooxygenase activity. *Appl Environ Microbiol* 58:2231-2236.

Dong GC, Wang YL, Juan Z, Biao Z, Zhang CS, Zhang YF, Yang LX, Huang JY. 2009. *Characteristics of nitrogen distribution and translocation in conventional indica rice varieties with different nitrogen use efficiency for grain output*. *Acta Agron. Sin.* 35:149- 155.

Dubey, S. K. 2005. *Microbial ecology of methana emossion in rice agroecosystem: A review*. *Applied Ecology and environmental research* 3(2): 1-27.

Eginarta, W. S., Nuraini, Y., & Purwani, J. (2021). Efektivitas Berbagai Bahan Formula Pupuk Hayati Sianobakteri Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Padi Gogo Varietas Situ Bagendit. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 415–426. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.2.13>

Fadli, U, 2013. *Pengaruh Pemupukan NPK Nitrophonska dan Jarak Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung Manis (Zea mays saccharate Strurt L)*. Skripsi, Fakultas Pertanian. Universitas Teuku Umar, Aceh.

- Fagi. 2001. *Peran Padi Indonesia Sebagai Sumber Daya Genetik Padi Modern*. Badan Litbang Unisri. Surakarta.
- Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A. S., Bindar, Y., & Irawan, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-Char, BioOil Dan Gas Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12. <https://doi.org/10.30872/cmg.v3i2.3578>
- Ferreira, M. F. P., Oliveira, B. F. H., Pinheiro, W. B. S., Correa, N. F., França, L. F., & Ribeiro, N. F. P. (2020a). Generation of biofuels by slow pyrolysis of palm empty fruit bunches: Optimization of process variables and characterization of physical-chemical products. *Biomass and Bioenergy*, 140(August), 105707. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105707>
- Ferreira, M. F. P., Oliveira, B. F. H., Pinheiro, W. B. S., Correa, N. F., França, L. F., & Ribeiro, P. (2020b). Biomass and Bioenergy Generation of biofuels by slow pyrolysis of palm empty fruit bunches: Optimization of process variables and characterization of physical-chemical products. *Biomass and Bioenergy*, 140(August), 105707. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105707>
- Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C., & Bibens, B. (2008). *Effect Of Low-Temperature Pyrolysis Conditions On Biochar For Agriculture Use*. 51(6), 2061–2069.
- Ghorbani, M., Asadi, H., & Abrishamkesh, S. (2019). Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. *International Soil and Water*

*Conservation Research*, 7(3), 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.005>

- Goenadi, D. H., & Santi, L. P. (2020). Kontroversi Aplikasi dan Standar Mutu Biochar. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(1), 23. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v11n1.2017.23-32>
- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., & Deng, H. (2015). Physicochemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 206, 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015>
- Gurning, Indah Pratiwi., Yuprin AD. dan Eka Nor Taufik. 2019. Trend dan Estimasi Produksi Padi dan Konsumen Beras di Provinsi Kalimantan Tengah. *Journal Socio Economics Agricultural*. 14 (1): 48-61.
- Hanson, RS and Hanson, TE. 1996. Methanotrophic bacteria: a review. *Microbiol*. 60 (2): 439-471.
- Hadisuwito, S. 2007. *Membuat Pupuk Kompos Cair*. Penerbit Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Hanafiah, K. A. 2010. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Rajawali Pers. Jakarta.
- 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.
- Hartatik, W., dan J.S. Adiningsih. 2003. Evaluasi Rekomendasi Pemupukan NPK pada Lahan yang mengalami Pelandaian Produktivitas (*levelling off*). *Prosiding Seminar Nasional*

*Inovasi Teknologi Sumberdaya Tanah dan Iklim*. Bogor. Hal: 17-36.

- Hamim, H., Ashri, K., Miftahudin, M., & Triadiati, T. (2008). Analisis Status Air, Prolin Dan Aktivitas Enzim Antioksidan Beberapa Kedelai Toleran Dan Peka Kekeringan Serta Kedelai Liar. *Agrivita*, 30(3), 201–210.
- Haris, A. (2016). *Colony Counter Dilengkapi LCD Berbasis Microcontroller ATmega16*. 5–22.
- Hatta, M. (2012). Uji Jarak Tanam Sistem Legowo terhadap Pertumbuhan dan Hasil Beberapa Varietas Padi Pada Metode SRI. *Jurnal Agrista*, 16(2), 87– 93.
- Hidayat, W., Ismianto, T., Wibowo, R., Rinarti, M., Prasetya, H., Hasanudin, U., & Niswati, A. (2020). Karakterisasi arang hayati dari limbah kayu sengon ( *falcataria moluccana* ) dan meranti ( *shorea sp.*). *Konservasi Sumber Daya Alam Untuk Pembangunan Berkelanjutan*, 13.
- Huda, C., & Salni, M. (2012). Penapisan Aktivitas Antibakteri dari Bakteri yang Berasosiasi dengan Karang Lunak Sarcophyton sp. *Maspuri Journal*, 04, 69– 76.
- Hussain, A., & Hasnain, S. (2011). Phytostimulation and biofertilization in wheat by cyanobacteria. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38(1), 85–92. <https://doi.org/10.1007/s10295-010-0833-3>
- Honson, R. S. & Honson, T. E. (1996). Methanotrophic Bacteria. *Microbiological Reviews*, 60 (2), 439-471.
- Igalavithana, A. D., Ok, Y. S., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M. I., Oleszczuk, P., & Lee, S. S. (2015). *The Effects of Biochar*

*Amendment on Soil Fertility*. 123–144. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub63.2014.0040>

- Islami, T. (2019). Penggunaan Biochar Diperkaya Nitrogen pada Tanaman Jagung. *Buana Sains*, 19(1), 17–24.
- IPCC. 1990. *Climate Change. The scientific assessment*. Cambridge. University Press. Cambridge.
- Jamil, Ali., Sarlan Abdulrachman, dan Mahyuddin Syam. 2014. Dinamika Anjuran Dosis Pemupukan N, P, dan K pada Padi Sawah. *IPTEK Tanaman Pangan*. Vol. 9. No. 2.
- Jindo, K., Mizumoto, H., Sawada, Y., Sanchez-Monedero, M. A., & Sonoki, T. (2014). Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, 11(23), 6613–6621. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6613-2014>
- Jones, D. L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T. H., & Murphy, D. V. (2012). Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 45, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.10.012>
- Juhriah, A., Masniawati, A., Tambaru, E., & Sajak, A. (2013). Karakterisasi Morfologi Malai Plasma Nutfah Padi Lokal Kabupaten Tana Toraja Utara, Sulawesi Selatan. *Sainsmat*, II(1).
- Juhendi, E. 2008. *Pengembangan pertanian hemat air melalui SRI (system of rice intensifications) dan PET (pembelajaran ekologi tanah)*. Departemen pekerjaan Umum, Cirebon.

- Kaya, E. 2013. *Pengaruh kompos jerami dan pupuk npk terhadap n-tersedia tanah, serapan-n, pertumbuhan, dan hasil padi sawah (Oryza sativa L.)*. *Agrologia*, Vol. 2, No. 1., hal 43-50. Fakultas pertanian, universitas pattimura.
- Kapli, H., Wahyudi, A. T., & Husen, E. (2017). Pengaruh Rizobakteria Pemacu Tumbuh dan Toleran Kekeringan serta Kelimpahan dan Akitvitas Mikroba Tanah terhadap Tanaman Jagung (*Zea mays L.*). *Biospecies*, 10(1). <https://doi.org/10.22437/biospecies.v10i1.3485>
- Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., Schwanninger, M., Gerzabek, M. H., & Soja, G. (2012). Characterization of Slow Pyrolysis Biochars: Effects of Feedstocks and Pyrolysis Temperature on Biochar Properties. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 990–1000. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0070>
- Knoblauch, C., Priyadarshani, S. H. R., Haefele, S. M., Schröder, N., & Pfeiffer, E. M. (2021). Impact of biochar on nutrient supply, crop yield and microbial respiration on sandy soils of northern Germany. *European Journal of Soil Science*, 72(4), 1885–1901. <https://doi.org/10.1111/ejss.13088>
- Kurniati, E. (2008). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif. *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*, 8(2), 96–103.
- Kurniawan, A., Haryono, B., Baskara, M., & Tyasmoro, S. Y. (2016). The Effects of biochar Application to Planting Media on The Growth of Sugarcane Seeds (*Saccharum officinarum L.*) *Jurnal Produksi Tanaman*, 4(2), 153–160.

- Karim, A.M. dan Suhartatik E. 2015. *Morfologi dan Fisiologi Tanaman Padi*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi Balitbangtan Kementerian Pertanian. Subang.
- Lam, S. S., Wan Mahari, W. A., Cheng, C. K., Omar, R., Chong, C. T., & Chase, H. A. (2016). Recovery of diesel-like fuel from waste palm oil by pyrolysis using a microwave heated bed of activated carbon. *Energy*, 115, 791–799. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.076>
- Lambers, H., & Oliveira, R. S. (2019). Plant physiological ecology. In *Plant Physiological Ecology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1>
- Lehman, & Joseph, S. (2010). Biochar for Environmental Management. In *Earthscan Pub*. Earthscan Pub.
- Lehman, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, preprint(2007), 1. <https://doi.org/10.1890/060133>
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011a). Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011b). Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Lehmann, J., Silva Jr, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching an an

archaeological Anthrosol and a Ferralsol. *Plant and Soil*, 249, 343–357.

Lestari, A. P., & Aswidinnoor, H. (2007). Uji daya hasil pendahuluan dan mutu beras 21 padi hibrida harapan. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 35(1), 1–7. <https://doi.org/10.24831/jai.v35i1.1303>

Loekito, H. (2002). Teknologi pengelolaan limbah industri kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(3), 242–250.

Lusiana, N. putu N., Suwastika, A. A. N. G., Atmaja, I. wayan D., & Kesuma DewiI, A. A. (2021). Pemanfaatan Biochar sebagai Pembawa Rhizobium terhadap Pembentukan Bintil Akar dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max L. Merrill*). *Agrotrop : Journal on Agriculture Science*, 11(2), 189. <https://doi.org/10.24843/ajoas.2021.v11i.02.p08>

Makarim, A.K., A. Hidayat., S. Roechan., I. Nasution., M.FMuhadjir., S. Ningrum dan M.Djazuli & Mutado. 1993. Status P dan Pendugaan Keperluan Pupuk pada Padi Sawah. *Prosiding Lokakarya Ppenelitian Komoditi dan Studi Khusus 1992*. Volume 3. Path. Hal 199-209.

Masykur. (2013). Pengembangan Industri Kelapa Sawit Sebagai Penghasil Energi

Bahan Alternatif dan Mengurangi Pemanasan Global. *Jurnal Reformasi*, 3, 96–107.

Mateus, R., Kantur, D., & Moy, D. A. N. L. M. (2017). Pemanfaatan Biochar Limbah Pertanian sebagai Pembenh Tanah untuk Perbaikan Kualitas Tanah dan Hasil Jagung di Lahan Kering

Utilization of Agricultural Biochar Waste as Soil Conditioner for Improved. *Jurnal Agrotrop*, 7(2), 99–108.

Mawardiana, Sufardi, & Edi, H. (2013). Pengaruh residu biochar dan pemupukan npk terhadap sifat kimia tanah dan pertumbuhan serta hasil tanaman padi musim tanam ketiga. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Lahan*, 2(3), 255–260.<http://repository.unsyiah.ac.id/MSDL/article/view/2198>

Mehmood, K., Chávez Garcia, E., Schirrmann, M., Ladd, B., Kammann, C., WrageMönnig, N., Siebe, C., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizabal, T., Cayuela, M., Sigua, G., Spokas, K., Cowie, A. L., Novak, J., Ippolito, J. A., & Borchard, N. (2017). Biochar research activities and their relation to development and environmental quality. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(3).  
<https://doi.org/10.1007/s13593-017-0430-1>

Mukherjee, A., & Zimmerman, A. R. (2013). Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. *Geoderma*, 193–194, 122–130.<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.002>

Muttaqin, M., Miftahuddin, & Imam, R. (2017). Bacteria as Greenhouse Gases Reducing Agents from Paddy Plantation. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, 2(2), 45–51.  
<https://doi.org/10.29244/jsdh.2.2.45-51>

Nashrulloh, F., Sulaiman, M., & Budiarto, R. (2021). Potential and Feasibility Analysis of Biomass Energy from Palm Oil Mills on North Penajam Paser Regency Region. *Technologies of Sustainable Development*, 104(1), 73–82.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ast.104.73>

- Nashrulloh, F., Sulaiman, M., Budiarto, R., Mada, U. G., Mada, U. G., Engineering, P., & Mada, U. G. (2020). *POTENTIAL AND FEASIBILITY ANALYSIS OF BIOMASS ENERGY FROM PALM OIL MILLS ON NORTH PENAJAM PASER REGENCY REGION OF*. 4(1), 20–26.
- Natasia, D., Nelvia, & Islan. (2012). The Effect of Applying Nitrogen Fertilizer and Palm Oil Empty Bunches Mixed Compost Witha Boiler On Rice Growth and Yield. *Agrotechnology Depatmen*, 2012.
- Nonci, M., Baharuddin, B., Rasyid, B., & Pirman, P. (2016). Seleksi Bakteri Methanotrof (Pereduksi Emisi Gas Metan Di Lahan Sawah) Berdasarkan Aktivitas Enzim Methan Monooksigenase. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 13(2), 87. <https://doi.org/10.14710/jil.13.2.87-91>
- Nugrahaeni, N., & Taufiq, A. (2014). *Stabilitas Hasil Galur Kedelai Toleran Cekaman Kekeringan*. 5, 54–60.
- Nur, S. I. (2014). Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Tanah Di Kecamatan Pattallassang Kabupaten Gowa. *Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Tanah Di Kecamatan Pattallassang Kabupaten Gowa, skripsi*, 103.
- Nurida, N. L., Dariah, A., & Rachman, D. A. (2009). *Kualitas Limbah Pertanian Sebagai Bahan Baku Pembengah Tanah Berupa Biochar Untuk Rehabilitasi Lahan*. 214–218.
- Nonci., Maimuna, Baharuddin, Burhanuddin Rasyid, Pirman. 2015. Seleksi Bakteri Metanotrof (Pereduksi Gas emetan di Lahan Sawah ) berdasarkan Aktivitas Enzim Methan Mo Emisi Mooksinase. 2005. *Jurnal Lingkungan Hidup*. Volume 13 Issue 2: 86-91. ISSN 1829-8907.

- Nyanjang, R., A. A. Salim., Y. Rahmiati. 2003. *Penggunaan Pupuk Majemuk NPK 25-7-7 Terhadap Peningkatan Produksi Mutu Pada Tanaman The Menghasilkan di Tanah Andisols*. PT. Perkebunan Nusantara XII. Prosiding Teh Nasional. Gambung. Hal 181- 185.
- Novizan. 2002. *Petunjuk Pemupukan yang Efektif*. Agromedia Pustaka. Jakarta
- Ohta, H. 2005. *Overview of greenhouse effect gas emission from agricultural soils through microbial activities*. Papper of the International Workshop on Ecological Analysis and Control of Greenhouse Gas Emissions from Agriculture in Asia. Ibaraki, 15-16 September 2005, Japan.
- Oktrisna, D., Fifi, P., & Zuhri, E. (2017). Uji Bakteri Bacillus sp Endofit Diformulasi Dengan Beberapa Limbah Terhadap Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa L.*). *JOM Faperta*, 4(12 (152)), 1–13.
- Pambudi, A., Noriko, N., & Sari, E. P. (2017). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Tanah Sawah di Kecamatan Medan Satria dan Bekasi Utara, Kota Bekasi, Jawa Barat. *JURNAL AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 3(4), 187. <https://doi.org/10.36722/sst.v3i4.233>
- Pambudi, A., Susanti, & Priambodo, W. (2017). Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Tanah Sawah Di Desa Sukawali Dan Desa Belimbing, Kabupaten Tangerang. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi*, 10(2), 105–113. <https://doi.org/10.15408/kaunyah.v10i2.4907>

- Pangaribuan, D., & Pujisiswanto, H. (2008). Pemanfaatan Kompos Jerami Untuk Meningkatkan Produksi Dan Kualitas Buah Tomat. *Universitas Lampung, January 2008*, 17–18.
- Panjaitan, E., Indradewa, D., Martono, E., & Sartohadi, J. (2015). Sebuah dilema pertanian organik terkait emisi metan. *J. Manusia Dan Lingkungan*, 22(1), 66– 72.
- Parween, T., Jan, S., Mahmooduzzafar, S., Fatma, T., & Siddiqui, Z. H. (2016). Selective Effect of Pesticides on Plant—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1), 160–179. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.787969>
- Patten, C. L., & Glick, B. R. (2011). Inspection Non-Destructive Inspection With Shearography. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2248(8), 1–34. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795>
- Pingak, G. M. F., Sutanto, H., Akhdiya, A., & Rusmana, I. (2014). Effectivity of Methanotrophic Bacteria and Ochrobactrum Anthropi as Biofertilizer and Emission Reducer of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in Inorganic Paddy Fields. *Journal of Medical and Bioengineering*, 3(3), 217–221. <https://doi.org/10.12720/jomb.3.3.217-221>
- Powers, E. M. (1995). Efficacy of the Ryu nonstaining KOH technique for rapidly determining gram reactions of food-borne and waterborne bacteria and yeasts. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(10), 3756–3758. <https://doi.org/10.1128/aem.61.10.3756-3758.1995>
- Pratiwi, G., Suhartatik, E., & Makarim, A. (2009). Produktivitas dan komponen hasil tanaman padi sebagai fungsi dari populasi tanaman. *Jurnal Tanah Dan Lingkungan*, 11(1), 1–8.

- Prendergast-Miller, M. T., Duvall, M., & Sohi, S. P. (2014). Biochar–root interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 173–185. <https://doi.org/10.1111/ejss.12079>
- Purbalisa, Zulaeha, W., Ina, P. W., Wahyuni, D. M., & Sri. (2020). Jurnal Presipitasi Dinamika Karbon dan Mikroba dalam Tanah pada. *Jurnal Presipitasi*, 17(2), 138–143.
- Putrie R. (2016). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Pgpr) Penghasil Eksopolisakarida Sebagai Inokulan Area Pertanian Lahan Kering. *BioTrends*, 7(1), 35–41.
- Padmanabha, I Gede., I Dewa Made Arthagama dan I Nyoman Dibia. 2014. Pengaruh Dosis Pupuk Organik dan Anorganik Terhadap Hasil Padi (*Oryza Sativa L.*) dan Sifat Kimia Tanah pada Inceptisol Kerambitan Tabanan. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. Vol 3, no. 1, ISSN: 2301-6515.
- P. S. Patti, E. Kaya dan Ch. Silahooy. 2013. *Analisis Status Nitrogen Tanah Dalam Kaitannya Dengan Serapan N Oleh Tanaman Padi Sawah Di Desa Waimital, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat*. *Agrologia*, Vol. 2, No. 1, 2013, Hal. 51-58.
- Pratama, riza. 2019. *Efek rumah kaca terhadap bumi*. Vol. 14, No.2,(hlm. 120-126). Universitas Islam Sumatera Selatan.
- 7(1), 35–41.
- Qambrani, N. A., Rahman, M. M., Won, S., Shim, S., & Ra, C. (2017). Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater

treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(May), 255–273.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.057>

Qiao, Y., Wang, B., Zong, P., Tian, Y., Xu, F., Li, D., Li, F., & Tian, Y. (2019). Thermal behavior, kinetics and fast pyrolysis characteristics of palm oil: Analytical TG-FTIR and Py-GC/MS study. *Energy Conversion and Management*, 199(May), 111964. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111964>

Quilliam, R. S., Glanville, H. C., Wade, S. C., & Jones, D. L. (2013). Life in the “charosphere” - Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms? *Soil Biology and Biochemistry*, 65, 287–293.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.004>

Rani, M. I., Puji, L. R., Dita, R. E., Mat, A., & Astriani Meli. (2017). Uji Bakteri Pelarut Fosfat dan Penghasil IAA pada Mol Buah Bintaro (*Cerbera manghas* L). *Florea : Jurnal Biologi Dan Pembelajarannya*, 4(2), 11.  
<https://doi.org/10.25273/florea.v4i2.1752>

Rasool, R., Kukal, S. S., & Hira, G. S. (2007). Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice-wheat system. *Soil and Tillage Research*, 96(1–2), 64–72.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2007.02.011>

Rahimi, Z. Zhury, E. Nurbaiti. 2011. *Pengaruh Jarak Tanam Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Padi Saah (Oryza Sativa L.). Varietas Batang Piaman Dengan Metode System Of Rice*

*Intensifications (SRI) di Padang Marpoyan Pekanbaru*. Jurnal. Fakultas Pertanian. Universitas Riau.

- Rajiman. 2020. *Pengantar Pemupukan*. Deepublish, Yogyakarta.
- Rajakishore SK, Doraisamy P, Subramanian KS, Maheswari M. 2013. Methane emission patterns and their associated soil microflora with SRI and conventional systems of rice cultivation in Tamil Nadu, India. *Taiwan Water Conservancy*. 61(4): 126–134.
- Rauf, Abdul Wahid., Syamsuddin T. dan Sri Rahayu Sihombing. 2000. *Peranan Pupuk NPK Pada Tanaman Padi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Irian Jaya.
- Ridjayanti, S. M., Bazenet, R. A., Hidayat, W., Sukri Banuwa, I., & Riniarti, M. (2021). Pengaruh Variasi Kadar Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Limbah Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*). *Perennial*, 17(1), 5–11. <http://dx.doi.org/10.24259/perennial.v17i1.13504>
- Robertson, S. J., Michael Rutherford, P., López-Gutiérrez, J. C., & Massicotte, H.
- B. (2012). Biochar enhances seedling growth and alters root symbioses and properties of sub-boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(2), 329–340. <https://doi.org/10.4141/CJSS2011-066>
- Rokhmah, N., Wening, R., & Bobihoe, J. (2014). Keragaman Genetik 17 Padi Lokal asal Provinsi Jambi berdasarkan Karakterisasi Morfologi dan Marka Molekuler. In *Inovasi Teknologi Padi Mendukung Pertanian Bioindustri*.

- Rusmana, I., & Akhdiya, A. (2009). Isolation and characterization of methanotrophic bacteria from rice fields. *Biotropia*, 16(2), 71–78. <https://doi.org/10.11598/btb.2009.16.2.53>
- Sagala BT. 2009. *Seleksi dan Uji Aktivitas Fiksasi Nitrogen (N<sub>2</sub>) Bakteri Metanotrof Asal Sawah pada Konsentrasi Oksigen (O<sub>2</sub>) Berbeda* [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Saputra, D. 2016. *Respon Kedelai (Glycine max L. Merril) Terhadap Sistem Olah Tanah dan Pemberian Pupuk NPK Majemuk Berbagai Tingkat Dosis*. Skripsi, Jurusan Agroteknologi. Metro : Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Dharma Wacana.
- Satoto, A.A. Daradjat dan sri Wahyuni. 2008. *Varietas unggul padi sawah. Informasi ringkas*, bank pengetahuan padi.
- Satria, Bima., Erwin Masrul Harahap dan Jamilah. 2017. Peningkatan Produktivitas Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) Melalui Penerapan Beberapa Jarak Tanam dan Sistem Tanam. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*. Vol.5.No.3. Hal: 629- 637.
- Sahara, N., Wardah, & Rahmawati. (2019). Populasi Fungi Dan Bakteri Tanah Di Hutan Pegunungan Dan Dataran Rendah Di Kawasan Taman Nasional Lore Lindu Sulawesi Tengah. *J. ForestSains*, 16(2), 85–93.
- Saito, M., & Marumoto, T. (2002). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi: The status quo in Japan and the future prospects. *Plant and Soil*, 244(1–2), 273–279. <https://doi.org/10.1023/A:1020287900415>
- Salem, I. Ben, Saleh, M. B., Iqbal, J., Gamal, M. El, & Hameed, S. (2021). ScienceDirect Date palm waste pyrolysis into biochar

for carbon dioxide adsorption. *Energy Reports*, 7, 152–159.  
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.027>

Sanchez-Silva, L., López-González, D., Villaseñor, J., Sánchez, P., & Valverde, J. L. (2012). Thermogravimetric-mass spectrometric analysis of lignocellulosic and marine biomass pyrolysis. *Bioresource Technology*, 109, 163–172.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.001>

Sandi, K., Ricky, S., & Moondra, Z. (2020). Thermodynamis Carbon Active Adsorption Empty Fruit Bunch of Heavy Metal From Liquid Waste. *IJCST*, 03, 64–66.

Santi, L.P., & Goenadi, D. H. (2010). Pemanfaatan bio-char sebagai pembawa mikroba untuk pemantap agregat tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung. *Menara Perkebunan*, 78(2), 52–60.

Santi, Laksmi Prima. (2020). Pemanfaatan Biochar Asal Cangkang Kelapa Sawit untuk Meningkatkan Serapan Hara dan Sekuestrasi Karbon pada Media Tanah Lithic Hapludults di Pembibitan Kelapa Sawit. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 41(1), 9.  
<https://doi.org/10.21082/jti.v41n1.2017.9-16>

Saputra, I., & Juanda, B. R. (2016). Pengaruh Biochar dan NPK Terhadap Beberapa Sifat Fisika Tanah dan Pertumbuhan Serta Produksi Kentang (*Solanum tuberosum* L.). *Agrotek Lestar*9, 2(2), 15–26.

Septeyadi, Muhammad Dimas. 2019. *Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>) Sedimen Keramba*

- Setyorini, D. 2005. *Pupuk Organik Tingkatan Produksi Pertanian*. Warta Penelitian, Produksi dan Pengembangan Pertanian. Vol.27, N0.6 : Bogor.
- Selvarajoo, A., & Oochit, D. (2020). Effect of pyrolysis temperature on product yields of palm fibre and its biochar characteristics. *Materials Science for Energy Technologies*, 3, 575–583. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.06.003>
- Setiawati, M., Sofyan, E., & Mutaqin, Z. (2016). Pengaruh Pupuk Hayati Padat Terhadap Serapan N Dan P Tanaman, Komponen Hasil Dan Hasil Padi Sawah ( *Oryza sativa* L.). *Jurnal Agroekoteknologi*, 8(2), 120–130.
- Simanungkalit, R. D. ., Ardi, S. D., Rasti, S., Diah, S., & Hartatik, W. (2006). *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*.
- Six, J., Elliott, E. T., & Paustian, K. (1999). Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. *Soil Science Society of America Journal*, 63(5),1350–1358. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6351350x>
- Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105(1), 47–82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- Stagnari, F., Jan, S., Galieni, A., & Pisante, M. (2016). Sustainable agricultural practices for water quality protection. *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*, 1–2(June), 75–85. <https://doi.org/10.1002/9781119054450.ch6>

- Suhartatik, E., & Makarim, A. K. (2009). Kebutuhan hara padi di lahan rawa lebak. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 28(2), 101–108.
- Sukmawati. (2020a). *Bahan Organik Menjanjikan dari Biochar Tongkol Jagung, Cangkang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Berdasarkan Sifat Kimia*. 9(2), 82–94.
- Sukmawati. (2020b). *Bahan Organik Menjanjikan Dari Biochar Tongkol Jagung, Cangkang Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Berdasarkan Sifat Kimia*. *J. Agroplantae*, Vol. 9 No.(2), 8294. <https://scholar.archive.org/work/e4lqwldzirfd7hjdq6fkqmkgmy/access/wayback/https://ppnp.ejournal.id/agro/article/download/223/172>
- Sukmawati, Ala, A., Patandjengi, B., & Gusli, S. (2020a). The Physicochem Propetural Waste Inoculated With Alginat Producing Bacteria : Structural Modification For Biochar Stability As A Soil Amendement Formula. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 21, 87–101.
- Sukmawati, Ala, A., Patandjengi, B., & Gusli, S. (2020b). the physicochemical properties oF agricultural waste inoculated WITH alginat-producing bacteria: structural modification fOR biochar stability as a soil amendement formula. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 21(67–68), 87–101.
- Susana, M., Feliatra, & Lukistyowati, I. (2017). Isolasi dan Karakteristik Bakterti Heterotrofik pada Perairan Laut Kawasan Pemukiman dan Perairan Bersalinitas Rendah di Kelurahan Purnama Dumai Provinsi Riau. *Jurnal Online*

*Mahasiswa Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan  
Universitas Riau.*

Susanto, J. P., Santoso, A. D., & Suwedi, N. (2017). Perhitungan Potensi Limbah

Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 165. <https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2046>

Suswana, S. (2019). Pengaruh Biochar terhadap Pertumbuhan Padi dalam Sistem Aerobik. *AGROTECHNOLOGY RESEARCH*, 3(June), 44–49.

<https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v3i1.30396>

Sutanto, R. (2002). *Penerapan Pertanian Organik*. Kanisus.

Syafitri, R., Hermansah, H., & Yulnafatmawita, Y. (2020). Pengaruh Pencampuran Lapisan Olah Dan Lapisan Tapak Bajak Terhadap Karakteristik Sifat Kimia Tanah Sawah. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(2), 359–365. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.2.21>

Sihaloho, D, 2019. *Pengaruh Pupuk Npk (15-15-15) Granular Filler blotong terhadap pertumbuhan dan produksi Tanaman jagung manis (Zea Mays Saccharata)*. Skripsi, Fakultas pertanian. Institut pertanian bogor, bogor.

*Situ Gintung dengan Penambahan Subtrat Kompetitif dan Subtrat NonKkompetitif*. [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah : Jakarta.

Simanjuntak, Carolina Permata Sari., Jonatan Ginting dan Meiriani. 2015. Pertumbuhan dan Produksi Padi Sawah pada beberapa

Varietas dan Pemberian Pupuk NPK. *Jurnal Online Agroteknologi*. Vol. 3. No. 4.

Solikhin dan Purnomo. 2008. Preferensi Tikus Sawah (*Rattus-rattus Aggentiventer*) dan Pengaruhnya terhadap Pola Kerusakan Padi Varietas Dodokan dan Cianjur. *J. HPT Tropika*. Vol. 8. No. 1

Supangkat, G. 2017. Eksistensi varietas padi lokal pada berbagai ekosistem sawah irigasi: studi di daerah istimewa yogyakarta. *Jurnal Agrosains*. Vol.5 No. 1: Yogyakarta.

Suradisastra K, Pasaribu SM, Sayaka B, Dariah A, Las I, Haryono.2010. *Jurnal Agribisnis Terpadu 119* .Pasandaran E.. Membalik Kecenderungan Degradasi Sumber Daya Lahan dan Air. Bogor: PT Penerbit IPB Press.

Suprihati, Iswandi A., Daniel M., Supiandi S. dan Gunawan D. 2006. Fluks Metana dan Karakteristik Tanah pada Beberapa Macam Sistem Budidaya. *Bul. Agron*. 34(3): 181-187.

Sutanto, R. 2006. *Penerapan Pertanian Organik (Pemasyarakatan dan Pengembangannya)*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Syaiful SA, Syam'un E, Dachlan A, Jusoff K, Haerani N. 2013. The Effect of Inoculating nitrogen-fixing bacteria on productions of rice. *World Appl Sci J*. 26:94-99.

Taiz, L., & Zeiger. 2002. *Plant Physiologi*. Massachusetts: Sinauer Associates Inc. Publisher.

Tambunan, S., Siswanto, B., & Handayanto, E. (2014). Biochar Terhadap Ketersediaan P Dalam Tanah Di Lahan Kering Malang Selatan. *Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 1(1), 85–92.

- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., & Yang, Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, *125*, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>
- Tarigan, A. D., & Nelvia, N. (2020). Pengaruh Pemberian Biochart Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Mikoriza Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung (*Zea mays sacharrata* L.) Di Tanah Ultizol ULTISOL. *Jurnal Agroekoteknologi*, *12*(1), 23. <https://doi.org/10.33512/jur.agroekotetek.v12i1.8769>
- Teh, C. B. S. (2016). Availability, use, and removal of oil palm biomass in Indonesia. *Report Prepared for the International Council on Clean Transportation, January*, 1– 39. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4697.4485>
- Theowidawatya, Muttaqin, Mafrikhul, Miftahuddin, & Thajjoleksono, A. (2019). Analisis Metabolomik pada Interaksi Padi dan Bakteri. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, *5*(1), 18–24. <https://doi.org/10.29244/jsdh.5.1.18-24>
- Tipayawong, N., Rerkkriangkrai, P., Aggarangsi, P., & Pattiya, A. (2018). Characterization of biochar from pyrolysis of corn residues in a semicontinuous carbonizer. *Chemical Engineering Transactions*, *70*, 1387–1392. <https://doi.org/10.3303/CET1870232>
- Try, M. A., & Rahayu, Y. S. (2007). *pada Media Tanam untuk Pertumbuhan Tanaman Aglaonema The Effect of Pseudomonas aeruginosa in Media on the Growth of Aglaonema*

- Theowidavitya, Brian., Mafrikhul Mutaqqin., Miftahudin dan Aris Tjahjoleksono. 2019. Analisis Metabolomik Pada Interaksi Padi dan Bakteri. *Jurnal Sumberdaya Hayati*. Vol. 5. No. 1, Hlm 18-24.
- Tim karya tani mandiri. 2010. *Pedoman Bertanam jagung*. CV Nuansa Aulia : Bandung.
- Totong S, Sugiyanta, Melati M. 2015. Peran Pupuk Organik dalam Peningkatan Efisiensi Pupuk. *J. Agronomi Indonesia* 43 (1) : 8 – 14.
- Tu, C., Wei, J., Guan, F., Liu, Y., Sun, Y., & Luo, Y. (2020). Biochar and bacteria inoculated biochar enhanced Cd and Cu immobilization and enzymatic activity in a polluted soil. *Environment International*, 137(October 2019), 105576. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105576>
- Ulumuddin, Yaya Ihya. 2019. Metana: Emisi Gas Rumah Kaca dari Ekosistem Karbon Biru, Mangrove. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Volume 17 Issue 2 (2019) : 359-372.
- Utami dan Handayani. 2003. Sifat Kimia *entisol* pada Sistem Pertanian Organik. *Jurnal Ilmu Petanian*.
- Vaksmaa A, Guerrero-cruz S, Van Alen TA, Cremers G, Ettwig KF, Luke C and Jatten MSM. 2017. Enrichment of Anaerobic Nitrate-Dependent Methanotropic Candidatus Methanoperedens Nitroreducens Archaea from an Italian Paddy Field Soil. *Applied Microbiology and biotechnology*, 101 (18), 7075-7084.
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M. L., Touraine, B., Moënne-Loccoz, Y., Muller, D., Legendre, L., Wisniewski-Dyé, F., &

- Prigent-Combaret, C. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Frontiers in Plant Science*, 4(SEP), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>
- Verdiana, M. A., Thamrin, H., & Titin, S. (2016). Pengaruh Berbagai Dosis Biochar Sekam Padi dan Pupuk NPK Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung ( *Zea mays L.* ) The Effect of Varios Doses Biochar Rice Huskand NPK Fertilizer On The Growth and Yield Of Mays ( *Zea mays L.* ). *Produksi Tanaman*, 4(8), 611–616.
- Watanabe, I.1984. An aerobic decomposition of organic matter in flooded rice soil. In : International rice research Institute. Organic matter and rice. Los Banos. Philippine. Pp 237-258.
- Wahyuddin Abbas, Muh. Riadi, dan I. R. (2015). Respon Tiga Varietas Padi (*Oryza sativa L.*) Pada Berbagai Sistem Tanam LEGOWO. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Agrokompleks*, 1(2), 45–55.
- Wibowo, S. A., Wiguna, C., Susilo, B., Dalimartha, L. N., & Prasetyo, E. N. (2017). Pengaruh Biochar Berbasis Biofertilizer untuk Meningkatkan Produksi Sawi (*Brassica juncea L.*). *Proceeding Biology Education Conference*, 14(1), 271– 275.
- Wicaksono, E. B., Hardianto, & Muliawan, A. (2019). Rancang Bangun Penghitung Jumlah Koloni Bakteri Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik*, 13(2), 123–128. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teknika/article/view/1787>

- Widowati, Asnah, & Sutoyo. (2012). Pengaruh Penggunaan Biochar dan Pupuk Kalium Terhadap Pencucian dan Serapan Kalium Pada Tanaman Jagung. *Buana Sains*, 12(1), 83–90.
- Widowati, W., Asnah, a, & Utomo, W. H. (2014). The use of biochar to reduce nitrogen and potassium leaching from soil cultivated with maize. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 2(1), 211–218. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2014.021.211>
- Wijaya, A., Butarbutar, T., & Hartati, W. (2018). Biochar Yang Diproduksi Dengan Tungku Drum Tertutup Retort Memberikan Pertumbuhan Tanaman Yang Lebih Tinggi. *J Hut Trop*, 2(1), 49–58.
- Widodo, A., Sujalu, A.P., Syahfari, H. 2016. Pengaruh Jarak Tanam dan pupuk NPK Phonska terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung Manis (*Zea mays saccharata* Sturt) Varietas Sweet Boy. *J. Agrorifort* (2), 171-178.
- Wiryaningtyas, Sari. 2011. *Pertumbuhan dan Oksidasi Metan Bakteri Metanotrof pada Beberapa Media*. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Xiao Y, Zhang F, Li Y, Li T, Che Y and Deng S. 2018. Influence of Winter Crop Residu And Nitrogen Form on Greenhouse Gas Emissions From Acidic Paddy Soil. *European Jurnal of Soil Biologi*. 85 (October 2017), 23-29.
- Yassi, Amir. 1997. Fluks Metana dari Padi Sawah pada Jenis Tanah Inseptisol, Ultisol dan Vertisol. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute.
- Zakaria AK. 2014. *Kajian Adopsi Teknologi Budidaya Padi Organik dan NonOrganik di Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat*. Buletin Inovasi Pertanian Spesifik Lokasi; 1 (1): 41-50.
- Zhang JH, Liu JL, Zhang JB, Zhao FT, Cheng YN, Wang WP. 2010. Effects of nitrogen application rates on translocation of dry matter and nitrogen utilization in rice and wheat. *Acta Agron. Sin.* 36:1736-1742.
- Zheng, H., H. Huang, L. Yao, J. Liu, H. He and J. Tan. 2014. Impact of Rice Varietas and Management on yield Scaled greenhouse gas emissions from rice fields in China: A meta-analysis. *Biogeosciences*, Vol. 11: 3685-3693.
- Zulaehah, I. (2016). Pengaruh Aplikasi Urea Berlapis Biochar Dengan Mikroba Terhadap Total Bakteri Pada Tanaman Kubis Di Malang. *Jurnal Balai Penelitian Lingkungan Pertanian*.