

MIKROBA TANAH

Mukhlis dan Yuli Lestari

A. Mikroba Bermanfaat

1. Biofertilizer

Selama ini, peningkatan produksi pertanian bertumpu pada penggunaan pupuk kimia. Menurut Kartikawati, *et al.*, (2017), penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dan dilakukan secara terus-menerus dapat mengakibatkan degradasi lahan (baik secara fisik, kimia, dan biologi), pencemaran lingkungan (tanah, air, dan udara), dan dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK).

Biofertilizer (pupuk hayati) adalah pupuk berbasis mikroba yang dapat memfasilitasi ketersediaan hara dalam tanah (Hasanudin dan Gonggo, 2004), memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah (Kartikawati, *et al.*, 2017), meningkatkan efisiensi pemupukan organik dan anorganik, kesuburan dan kesehatan tanah (Permentan No. 28/Permentan/SR.130/5/2009) dan produksi tanaman (Kartikawati, *et al.*, 2017). Hasil penelitian Panhwar *et al.*, (2020), bahwa aplikasi kombinasi GML/biochar dengan biofertilizer pada tanah sulfat masam dapat meningkatkan hara P, K, Ca, Mg, pH tanah, populasi mikroba dan menurunkan Al-tertukar dan beberapa jenis mikroba penyusun pupuk hayati adalah penambat N, pelarut P, mikoriza. Selain itu, pupuk hayati juga dapat menekan penyakit tanah (*soil born disease*) (Thomas dan Singh, 2019).

Pupuk hayati dari kultur mikroba hidup yang efisien dan terseleksi apabila diaplikasikan pada permukaan tanah, biji, dalam tanah dapat mengkolonisasi rizosfer atau masuk ke dalam jaringan tanaman. Kelompok mikroba penting sebagai penyusun biofertilizer adalah bakteri, fungi, dan cyanobacter (Thomas dan Singh, 2019). Tipe penting pupuk hayati berdasar karakter dan fungsinya tersaji pada Tabel 15.

Tabel 15. Kelompok Pupuk Hayati, Subkelompok dan Mikroba Penting sebagai Penyusun Pupuk Hayati

Kelompok Pupuk Hayati	Subkelompok	Mikroba
Bakteri penambat nitrogen	Simbiotik	Rhizobia (<i>Rhizobium</i> , <i>Bradyrhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i> , <i>Azorhizobium</i> , <i>Mesorhizobium</i> dan <i>Allorhizobium</i>) <i>Frankia</i> , <i>Anabaena Azollae</i> , <i>Trichodesmium</i> .

Fosfor (microfos)	Non simbiotik	Anabaena, Azotobacter, Beijerinckia, Derxia, Aulosira, Talypothrix, Cylindrospermum, Stgonema, Clostridium, Klebsiella, Nostoc, Rhodopseudomonas, Rhodospirillum, Desulfovibrio, Chromatium and Bacillus polymyxa.
	Asosiatif	<i>Azospirillum</i> spp. (<i>A. brasiliense</i> , <i>A. lipoferum</i> , <i>A. amazonense</i> , <i>A. halopraeferens</i> dan <i>A. irakense</i>), <i>Acetobacter diazotrophicus</i> , <i>Heraspirillum</i> spp., <i>Azoarcus</i> spp., <i>Alkaligenes</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Klebsiella</i> dan <i>Pseudomonas</i> .
	Pelarut fosfat	<i>Bacillus megaterium</i> var. <i>phosphoticum</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. circulans</i> , <i>B. polymyxa</i> , <i>Pseudomonas sriata</i> , <i>Penicillium</i> spp., <i>aspergillus awamori</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Bulkhoderia</i> , <i>Achromobacter</i> , <i>Agrobacterium</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Aerobacter</i> , <i>Flavobacterium</i> , dan <i>Erwinia</i> .
	Pemindah (mobilizing) fosfat	Mikoriza asbukular (<i>Glomus</i> sp. <i>Gigaspora</i> sp., <i>Acaulospora</i> sp. <i>Scitellospora</i> sp. dan <i>Sclerocystis</i> sp.), endomikoriza (<i>Laccaria</i> spp., <i>Pisolithus</i> spp., <i>Boletus</i> spp., <i>Amanita</i> spp.), mikoriza ericoid (<i>Pezizella ericae</i>) mikoriza angrek.
Kelompok Pupuk Hayati	Subkelompok	Mikroba
Pelarut K	Pelarut K	<i>Bacillus edaphicus</i> , <i>B. mucilaginosus</i> dan <i>Paenibacillus gluconolyticus</i> .
Mikronutrien	Pelarut Silikat dan Zn	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Thiobacillus thiooxidans</i> , dan <i>Sacharomyces</i> sp.
	Pereduksi sulfat	<i>Desulfovibrio</i> and <i>Desulfomicrobiu</i> , <i>Thermodesulforhabdus norvegicus</i> .
Pemacu tumbuh	Rhizobakteria pemacu tumbuh tanaman	<i>Agrobacterium</i> , <i>Achromobacter</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Actinoplanes</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Bradyrhizobium</i> , <i>Erwinia</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Amorphosporangium</i> , <i>Cellulomonas</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Sreptomycetes</i> dan <i>Xanthomonas</i> .

Sumber: Thomas dan Singh (2019)

a. Biofertilizer “Biotara”

Pemupukan merupakan salah satu cara untuk menyediakan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman sehingga meningkatkan pertumbuhannya agar menjadi lebih baik dan produktivitasnya meningkat. Namun demikian, peningkatan produktivitas pertanian tidak terlepas dari penggunaan pupuk anorganik (pupuk kimia) karena hasilnya sangat nyata. Salah satu cara untuk mengefisiensikan penggunaan pupuk anorganik adalah dengan menggunakan pupuk hayati.

Biotara merupakan pupuk hayati adaptif lahan rawa yang dapat meningkatkan produksi tanaman. Komposisi Biotara merupakan konsorsia mikroba decomposer (*Trichoderma*), bakteri pelarut P (*Bacillus*) dan penambat N (*Azospirillum*). Pupuk hayati Biotara mempunyai keunggulan di antaranya adalah dapat menambat N bebas dari atmosfer, meningkatkan ketersediaan hara P dan mendekomposisi sisa-sisa bahan organik. Hasil penelitian Mukhlis dan Saleh (2014), menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati Biotara dapat memperbaiki sifat kimia tanah sulfat masam tipe luapan B. Sifat kimia tanah seperti pH, N-total, C-organik, P-tersedia, K-dd, Ca-dd dan Mg-dd tanah sulfat masam yang diberi Biotara 25 kg/ha+NPK Pelangi 400 kg/ha + jerami/gulma in situ segar 5 t/ha lebih baik dibandingkan aplikasi NPK Pelangi 600 kg/ha + jerami/gulma in situ segar 5 t/ha.

Tabel 16. Pengaruh Aplikasi Pupuk Hayati Biotara terhadap Perubahan Sifat Kimia Tanah Sulfat Masam

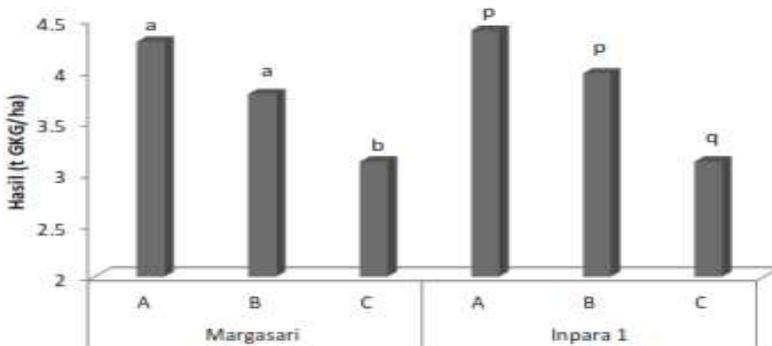
Perlakuan	pH	C-organik (%)	N-total (%)	P-tersedia (ppm)	K-dd (cmol(+)/kg)	Ca-dd (cmol(+)/kg)	Mg-dd (cmol(+)/kg)
Margasari							
A	5,4 a	4,94 a	0,27 a	64,36 a	0,89 a	6,41 a	4,66 a
B	5,0 a	4,68 a	0,25 a	60,07 a	0,80 a	5,59 a	4,65 a
C	4,4 b	3,21 b	0,18 b	36,53 b	0,56 b	4,46 b	4,23 b
Inpara 1							
A	5,0 a	4,91 a	0,28 a	62,17 a	0,69 a	5,12 a	4,62 a
B	4,9	4,74 a	0,27 a	59,76 a	0,69 a	5,11 a	4,62 a
C	4,4	4,01 b	0,20 b	41,23 b	0,46 b	4,73 b	4,11 b

Keterangan: 1. Angka sekolom yang diikuti huruf yang sama pada varietas Margasari atau Inpara 1 tidak berbeda nyata pada taraf uji LSD 5%.

2. A= Biotara 25 kg/ha+NPK Pelangi 400 kg/ha + jerami in situ segar 5 t/ha; B= NPK Pelangi 600 kg/ha + jerami in situ segar 5 t/ha; C= control petani (urea 124 kg/ha+SP-36 17 kg/ha + jerami/gulma in situ diangkut.

Sumber: Mukhlis dan Saleh (2014)

Kombinasi pupuk hayati Biotara dengan dosis 25 kg/ha dan NPK Pelangi 150-300 kg/ha yang diaplikasikan pada pertanaman padi di lahan sulfat masam dapat meningkatkan hasil sampai 9,92%. Namun demikian, hasil padi akan lebih tinggi apabila ditambah bahan organik. Pemberian pupuk hayati Biotara sebanyak 25 kg/ha dengan pupuk NPK Pelangi 400 kg/ha dan bahan organik in situ dapat meningkatkan hasil sebesar 13,49% (varietas Margasari) dan 10,55% (varietas Inpara 1) dibandingkan pemberian pupuk NPK Pelangi 600 kg/ha dan pemanfaatan bahan organik in situ sebesar 37,5% varietas Margasari dan 41,03% varietas Inpara 1 dibandingkan cara petani (Mukhlis dan Saleh, 2014).



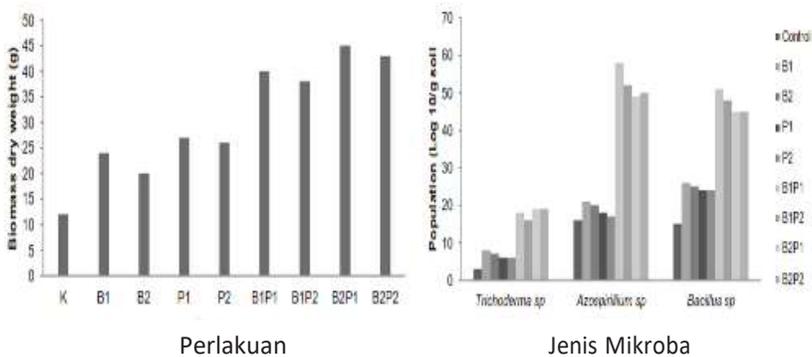
Gambar 36. Pengaruh Pemupukan terhadap Hasil Padi Varietas Margasari dan Inpara 1 di Lahan Sulfat Masam. KP. Belandean, Kab. Batola. MK 2011

Sumber: Mukhlis dan Saleh (2014)

Pada tanaman jagung yang menggunakan pupuk hayati M-Star (generasi baru Biotara), pertumbuhan tanaman dan populasi bakteri seperti *Azospirillum*, bakteri pelarut fosfat (*Bacillus* sp.) dan *Trichoderma* meningkat. Pertumbuhan tanaman yang tercermin pada bobot kering tanaman bagian atas menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati maupun NPK anorganik lebih tinggi dibandingkan control. Selanjutnya aplikasi kombinasi antara pupuk hayati M-Star+NPK mengakibatkan bobot kering tanaman bagian atas lebih tinggi dibandingkan perlakuan tunggal. Selain itu, aplikasi pupuk hayati sebanyak 25 kg/ha tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan aplikasi 15 kg/ha.

Populasi mikroba tanah yang mendapat perlakuan kombinasi pupuk hayati M-Star dan pupuk anorganik NPK lebih tinggi dibandingkan perlakuan tunggal. Hal ini disebabkan pupuk NPK menyediakan unsur

hara nitrogen, fosfor dan kalium yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroba.



Keterangan: K= kontrol; B1= pupuk hayati M-Star 25 kg/ha; B2= pupuk hayati M-Star 15 kg/ha; P1= NPK rekomendasi (90 kgN-60kg P₂O₅-50 kgK₂O/ha); P2=NPK (1/2) rekomendasi; B1P2= pupuk hayati M-Star 25 kg/ha+NPK ½ rekomendasi; B2P2= pupuk hayati M-Star 15 kg/ha+ pupuk hayati M-Star 25 kg/ha+ NPK ½ rekomendasi.

Gambar 37. Pengaruh Aplikasi Pupuk NPK dan Pupuk Hayati M-Star terhadap Bobot Kering Jagung Manis dan Populasi Mikroba Tanah

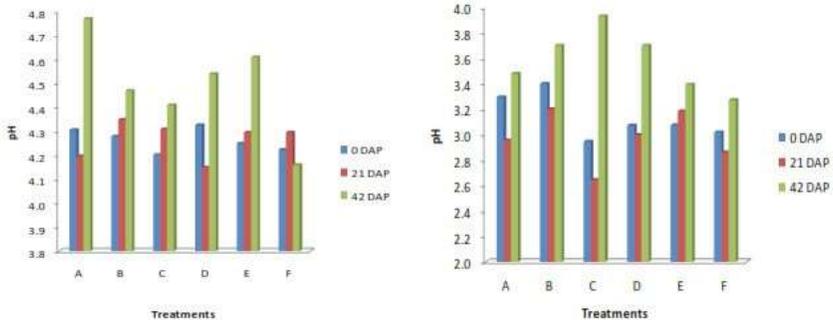
Sumber: Mukhlis dan Lestari (2013)

b. Biofertilizer “Biosure”

Bakteri pereduksi sulfat (BPS) adalah bakteri yang hidup anoxic dan menggunakan sulfat sebagai aseptor elektron. Aseptor elektron yang juga bisa dimanfaatkan adalah senyawa anorganik. Bakteri ini mampu melepaskan sulfat dan logam berat lainnya dan mempunyai peranan yang penting dalam siklus karbon dan sulfur. Di alam BPS hidup berdampingan dengan mikroorganisme lain. Dengan adanya sulfat BPS akan berkompetisi dengan mikroorganisme metanogen dan acetogen dalam memanfaatkan substrat umum seperti hydrogen dan asetat. Jika tidak ada sulfat, BPS akan berkompetisi dengan bakteri metanogenik dalam menggunakan asetat (Muyzer dan Stamps, 2008).

Biosure adalah biofertilizer yang mengandung bakteri pereduksi sulfat *Disulfovibrio* sp. Menurut Hadi, *et al.*, (2017), bahwa aplikasi biosure cenderung meningkatkan pH tanah dan air tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman padi (tinggi tanaman dan jumlah anakan). Menurut Warkentin dan Rowley (2017), bahwa pembentukan sulfide akibat reduksi sulfat dapat menghasilkan bikarbonat (HCO₃) yang dapat

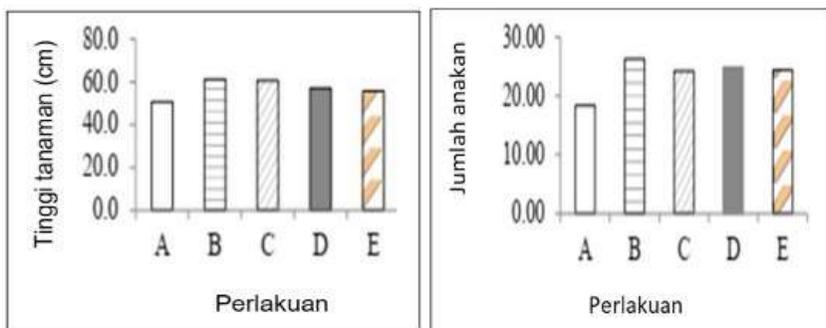
meningkatkan pH. Tinggi tanaman dan jumlah anakan padi yang diberi Biosure lebih tinggi dibandingkan tanpa pemberian Biosure walaupun dosis pupuk NPK yang diberikan lebih rendah. Diduga berkaitan dengan kecenderungan meningkatnya pH air dan tanah yang mengakibatkan ketersediaan, serapan hara meningkat sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik.



Keterangan: A= pupuk NPK rekomendasi, B= 75% A + 25 kg/ha Biotara, C=75% A + 25 l Biosure, D=75% A + 25 kg/ha Biotara + 25 l Biosure, E= 50% A + 25 kg/ha Biotara + 25 l Biosure, F= Tanpa pemberian pupuk.

Gambar 38. Perubahan pH Tanah (Kiri) dan pH Air Tanah (Kanan) Akibat Pemberian Pupuk yang Berbeda

Sumber: Hadi, *et al.*, 2017



Keterangan: A= pupuk NPK rekomendasi, B= 75% A + 25 kg/ha Biotara, C= 75% A + 25 l Biosure, D= 75% A + 25 kg/ha Biotara + 25 l Biosure, E= 50% A + 25 kg/ha Biotara + 25 l Biosure.

Gambar 39. Pengaruh Pemberian Pupuk yang Berbeda terhadap Tinggi Tanaman dan Jumlah Anakan

Sumber: Hadi, *et al.*, 2017

2. Biodekomposer

Siklus hara di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh adanya bahan organik. Di dalam tanah bahan organik berperan dalam menyediakan unsur hara, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kemampuan memegang air, serta meningkatkan aktivitas biologi tanah. Senyawa organik yang terdapat di dalam tanah seperti serasah, fraksi bahan organik ringan, biomasa mikroba, bahan organik terlarut dalam air dan bahan organik yang stabil atau humus disebut bahan organik (Saraswati dan Praptana, 2017). Sumber bahan organik dalam tanah dapat berasal dari sisa-sisa panen (jerami, tongkol jagung, daun, pelepah, dan tandan kosong kelapa sawit, kulit kakao, brangkasan kedelai), gulma, rumput-rumputan, kotoran hewan dan limbah rumah tangga. Penambahan bahan organik ke dalam tanah mempunyai efek yang merugikan apabila bahan organik yang diaplikasikan belum terdekomposisi. Menurut Saraswati dan Praptana (2017), bahwa dekomposisi bahan organik secara alami berlangsung cukup lama (2-3 bulan bahkan 1-2 tahun). Salah satu cara untuk mempercepat dekomposisi bahan organik adalah aplikasi biodekomposer.

Berdasarkan Permentan No. 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenh Tanah, biodekomposer dinyatakan efektif bila mampu mempercepat dekomposisi bahan organik dalam waktu paling lama 2 minggu atau lebih cepat dengan C/N rasio kompos telah mencapai ≤ 25 . Proses dekomposisi bahan organik berlangsung secara biofisikokimia baik secara aerobik maupun anaerobik. Pada awalnya penghancuran bahan organik berlangsung secara mekanis oleh serangga-serangga kecil. Kemudian dilanjutkan oleh bakteri dan fungi yang berlangsung secara biologis.

Mikroba yang mempercepat dekomposisi bahan organik disebut biodekomposer. Selain mempercepat dekomposisi, biodekomposer juga dapat meningkatkan kualitas kompos. Salah satu faktor yang menentukan keberhasilan proses dekomposisi atau pengomposan adalah jumlah dan jenis mikroba. Proses dekomposisi bahan organik di alam tidak dilakukan oleh satu mikroorganisme monokultur, tetapi dilakukan oleh konsorsia mikroorganisme. Selain dipengaruhi oleh dekomposer, dekomposisi bahan organik juga dipengaruhi oleh substratnya (C/N rasio), serta faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, pH. Limbah

dari pepohonan dan tanaman, seperti daun dan ranting mengandung selulosa sebesar 45% dari berat kering bahan. Selulosa merupakan senyawa terbesar di alam, dan berperan penting dalam siklus karbon. Dalam siklus karbon, selulosa diuraikan oleh mikroba menjadi CO₂ dan hydrogen oleh enzim selulase. Selulase merupakan salah satu enzim ekstraseluler yang disekresikan oleh mikroba. Enzim-enzim yang merupakan kompleks enzim selulase adalah kompleks endo- β -1,4 glukonase (CMCase), Cxselulase endoselulosa, atau carboxy methyl cellulase), kompleks ekso- β -1,4 glukonase (aviselase, selobiohidrolase, C1 sellulase), dan β 1,4 glukosidase atau selobiase (Roza, *et al.*, 2013).

Fungi merupakan sumber mikroorganisme yang berpotensi memiliki kemampuan dalam menghasilkan enzim-enzim ekstra seluler perombak komponen-komponen polimer pada tumbuhan erat kaitannya dengan peranan enzim ekstra seluler yang dihasilkan. Enzim-enzim yang berperan dalam dekomposisi bahan organik di antaranya adalah β - glukosidase, lignin peroksidase (LiP), manganese peroksidase (MnP), dan lakase, selain kelompok enzim reduktase yang merupakan penggabungan dari LiP dan MnP yaitu enzim versatile peroksidase. Beberapa jenis fungi yang berperan dalam perombakan bahan organik di antaranya adalah *Trichoderma reesei*, *T.harzianum*, *T. koningii*, *Phanerochaeta crysosporium*, *Cellulomonas*, *Pseudomonas*, *Thermospora*, *Aspergillus niger*, *A. terreus*, *Penicillium*, dan *Streptomyces*. *Penicillium sp* (selulolitik), *Clonostyachys sp* dan *Penicillium singorense* (proteolitik) dari tanah sulfat masam Kalimantan Selatan (Susilawati, *et al.*, 2020). Kurniawan dan Fadhillah (2015) juga berhasil mengisolasi bakteri yang berperan dalam perombakan bahan organik yaitu *Yersinia pseudo tuberculosis* RAG21, *Yersinia pseudo tuberculosis* RAG25, dan *Proteus penneri* RAG31. Ketiga jenis bakteri tersebut diisolasi dari tanah gambut Pontianak, Kalimantan Barat dan mempunyai aktivitas selulase yang ditunjukkan oleh kemampuannya membentk zona jernih di sekitar koloni ketika ditumbuhkan pada media yang mengandung karboksimetil selulosa 1%.

3. Bioamelioran

Berdasarkan bahan pembentukannya, bahan amelioran dibedakan menjadi 3 yaitu amelioran anorganik, amelioran organik dan amelioran hayati (bioamelioran). Amelioran organik terbukti efektif memperbaiki

kualitas tanah dan produktivitas lahan, bersifat terbarukan, in situ, relatif murah serta mendukung konservasi karbon dalam tanah, namun dosis yang diperlukan tergolong besar. Pembena tanah anorganik juga cukup efektif untuk meningkatkan kualitas tanah, namun harus disertai amelioran organik karena banyak fungsi bahan organik yang tidak dapat digantikan oleh amelioran anorganik (Ai Dariah, *et al.*, 2015). Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan bioamelioran.

Bioamelioran (pembena tanah hayati) adalah pembena tanah yang pembuatannya melibatkan mikroba, baik jamur ataupun bakteri yang dapat memperbaiki dan meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan kondisi fisik, kimia dan biologi tanah. Beberapa mikroba yang terlibat dalam bioamelioran di antaranya adalah mikroba penghasil zat pemacu tumbuh seperti IAA (*Stenotrophomonas maltophilia*, *S. nitirudicens*) (Darwisah, *et al.*, 2019), penghasil eksopolisakarida (bakteri endofitik *Burkholderia cenopacia*) (Santi dan Goenadi, 2013).

Bakteri *B. cenopacia* penghasil eksopolisakarida dapat memperbaiki kondisi fisik tanah berpasir karena dapat meningkatkan agregasi tanah berpasir. Eksopolisakarida ini dibentuk oleh bakteri, ketika sumber karbon mencukupi, sementara hara lain seperti nitrogen terbatas (Rehm, 2010). Selanjutnya Santi dan Gunadi (2013), mengemukakan bahwa merupakan bentuk simbiosis mutualisme dan peningkatan fungsi interaksi dalam hal penyediaan nutrisi dan ketahanan terhadap penyakit.

Panhwar, *et al.*, (2014), telah berhasil mengisolasi 3 bakteri pelarut fosfat *Burkholderia thailandensis*, *Sphingomonas pituitosa*, dan *Burkholderia seminalis* yang mampu meningkatkan pH karena memproduksi ekstrapolisakarida. Selain itu juga menghasilkan asam organik (asam oksalat, asam sitrat dan asam malat) dan fitohormon seperti IAA.

4. Biopestisida

Serangan hama dan pathogen dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil tanaman. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil tanaman sesuai dengan potensinya serangan hama dan pathogen harus dikendalikan. Selama ini sistem pengendalian yang digunakan adalah penggunaan pestisida. Penggunaan pestisida kimia hasilnya cukup efektif dan hasilnya segera terlihat, namun dapat menimbulkan

resistensi terhadap hama dan penyakit, munculnya hama dan penyakit baru, dan mencemari lingkungan (Sumartini, 2016) manusia dan hewan baik tanah air maupun udara.

Sistem pertanian berkelanjutan adalah sistem pertanian yang menghasilkan produksi tinggi, namun menjaga dan memperbaiki lingkungan alami, kondisi sosial ekonomi petani, konsumen dan komunitas lokal, serta aman untuk kesehatan tanaman yang dibudidayakan. Penggunaan input yang dapat diperbaharui (*renewable input*) seperti pestisida yang menguntungkan bagi tanaman dan tidak menyebabkan atau meminimalkan kerusakan lingkungan.

Biopestisida adalah pestisida yang dibuat dari organisme hidup untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman. Berdasarkan komposisi bahan aktifnya, biopestisida dibedakan menjadi biopestisida mikroba dan biopestisida biokimia. Biopestisida biokimia menggunakan bahan aktif ekstrak tanaman, feromon, fitohormon, liat, potassium bikarbonat, dan enzim. Bakteri, fungi, nematode, virus dan produk fermentasi merupakan bahan aktif biopestisida mikroba (Ceo, *et al.*, 2010). Menurut Da Silva, *et al.*, (2020), biopestisida mikroba dapat dikelompokkan berdasarkan target hama dan penyakit tanaman yang dikendalikan menjadi Bio-insektisida, Bio-fungisida, Bio-bakterisida, Bio-herbisida, Bio-nematisida, Bio-algasida dan Bio-nematisida. Jenis biopestisida dan mikroorganisme yang terlibat dapat dilihat pada Tabel 17.

Menurut Ceo, *et al.*, (2010), bahwa penggunaan biopestisida pada umumnya kurang toksik terhadap pengguna atau organisme non-target, dan pengelolaan penyakit sesuai yang diinginkan dan bersifat berkelanjutan. Biopestisida dapat menekan target hama atau penyakit dapat terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Mekanisme secara langsung melalui cara kompetisi, antibiosis, lisis dan hipersensitivitas. Secara tidak langsung biopestisida menekan organisme pengganggu dengan cara menginduksi tanaman menjadi resistan.

Tabel 17. Kelompok Mikroba, Jenis Pestisida dan Mikroba yang Berperan dalam Biopestisida

Kelompok Mikroba	Jenis Pestisida	Jenis Mikroba
Bakteri	Insektisida	<i>Bacillus thuringiensis</i> , <i>B. sphaericus</i>
	Fungisida	<i>Bacillus subtilis</i>
	Nematisida	<i>Pasteurea usgae</i>
	Bakterisida	<i>Bacillus subtilis</i>
Fungi	Insektisida	<i>Beauveria basiana</i> , <i>Metharizium</i>
	Fungisida	<i>Coniothirium minitans</i> , <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>T. virens</i> , <i>Pantoea agglomerans</i> , <i>Streptomyces lydicus</i> , <i>Bacillus pumilus</i> , <i>Fusarium sp.*</i>
	Nematisida	<i>Paecilomyces lilacinus</i>
	Herbisida	<i>Chondrastereum purpureum</i>
Virus	Insektisida	<i>Cydia pomonella</i>
	Anti-viral	<i>Zucchini yellow mosaic virus</i> , strain lemah

Sumber: Chandler, *et al.*, (2011); Ceo, *et al.*, (2010); El-Bendary (2006); Muslim (2015)

Pengendalian hama secara hayati menggunakan mikroba yang telah banyak digunakan. Hasil penelitian Muslim (2015) bahwa *Fusarium nonpatogen* merupakan agen pengendalian biologi yang potensial untuk menanggulangi penyakit rebah kecambah yang disebabkan *R. solani*. Pada tanaman terung yang ditanam di tanah rawa Lebak Pemulutan, Ogan Ilir, jamur ini sangat efektif dalam menghambat keparahan penyakit rebah kecambah dengan persentase penekanan keparahan penyakit berkisar antara 59.02% dan 96.72%. Diduga kemampuan *Fusarium nonpatogen* dalam menekan keparahan penyakit berkaitan dengan mekanisme induksi resistansi.

B. Mikroba Patogen

1. Kelompok Bakteri Patogen

Salah satu faktor pembatas dalam budi daya dan produksi tanaman adalah serangan hama dan penyakit. Secara visual penyakit tanaman di lapangan dapat dikenali berdasarkan tanda dan gejala yang muncul. Tanda penyakit mencirikan jenis penyebab penyakit tersebut, sedangkan gejala penyakit sangat spesifik dan tergantung pada spesies yang

menginfeksi. Selanjutnya gejala penyakit yang muncul dapat dipergunakan untuk mengetahui jenis patogennya. Penyakit tanaman dapat disebabkan oleh bakteri, jamur, dan virus. Bakteri penyebab penyakit tanaman pangan akan berkembang dengan cepat apabila kondisi lingkungan bersifat kondusif terhadap perkembangannya. Menurut Arwiyanto (2014), bahwa penyakit tumbuhan karena bakteri sulit dikendalikan. Beberapa jenis bakteri penyebab penyakit tanaman dapat dilihat di Tabel 18.

Tabel 18. Beberapa Jenis Bakteri Penyebab Penyakit Tanaman

Bakteri Patogen	Tanaman yang Diserang	Jenis Penyakit
<i>Xanthomonas oryzae</i> *)	Padi	Hawar daun
<i>Ralstonia solanacearum</i> **)	Cabai	Layu bakteri

Sumber: *) Anggiani dan Umah (2015). **) Amanda, *et al.*, (2017)

2. Kelompok Jamur Patogen

Jamur tersebar luas dan ditemukan pada berbagai kondisi ekologi termasuk lahan rawa. Beberapa fungi sangat menguntungkan di alam karena peranannya sebagai biodegradation, terlibat pada siklus hara, penghasil zat pemacu tumbuh (PGPR), dan bioremediator. Namun, sebagian fungi yang lain dapat menyebabkan penyakit pada tahap pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang berbeda. Menurut Pinaria dan Assa (2017), bahwa lebih dari 8.000 spesies jamur yang dikenal dapat menyebabkan penyakit pada tumbuhan dan disebut jamur patogen.

Tabel 19. Beberapa Jamur Patogen, Tanaman yang Diserang dan Jenis Penyakit di Lahan Rawa

Jamur Patogen	Tanaman yang Diserang	Jenis Penyakit
<i>Fusarium sp.</i> ¹⁾	Padi	Layu daun
<i>Helminthosporium sp.</i> ¹⁾	Padi	Hawar daun
<i>Rhizoctonia sp.</i> ¹⁾	Padi	Hawar pelepah daun
<i>Cercospora oryzae</i> ¹⁾	Padi	Bercak daun coklat

Jamur Patogen	Tanaman yang Diserang	Jenis Penyakit
<i>Fomitopsis pinicola</i> ²⁾	Kelapa sawit	Jaringan terdegradasi sehingga tumbang/mati
<i>Ganoderma boninense</i> ²⁾	Kelapa sawit	Busuk pangkal batang
<i>Rhizoctonia solani</i> ³⁾	Cabai	Rebah kecambah Busuk batang dan busuk akar
<i>Rigidoporus Sp</i> ⁴⁾	Karet	White root fungi
<i>Sclerotium rolfsi</i> ⁵⁾	Kacang tanah	Busuk batang
<i>Gongronella sp</i> ⁶⁾	Bawang merah	
<i>Scopulariopsis sp</i> ⁶⁾	Bawang merah	
<i>Aspergillus sp</i> ⁶⁾	Bawang merah	
<i>Phytophthora infestans</i> ⁶⁾	Bawang merah	
<i>Curvularia sp</i> ⁶⁾	Bawang merah	
<i>Colletotrichum</i> ⁷⁾	Cabai	Antraknosa
<i>Rhizomucor</i> ⁸⁾	Mentimun	Hawar daun

Sumber: 1) Rachmawati, *et al.*, (2017); 2) Santoso dan Susanto (2020); 3) Muslim *et al.*, (2018); dan Muslim (2015); 4) Mariana, *et al.*, (2020); 5) Subandar, *et al.*, (2021); 6) Maliq, *et al.*, (2020); 7) Mulyani, *et al.*, (2014); dan 8) Amanda, *et al.*, (2017)