

MIKROBIOLOGI

MIKROBA TANAH



Ir. Sopialena, MP., Ph.D.

**JURUSAN AGROEKOTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS MULAWARMAN
2024**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MULAWARMAN
FAKULTAS PERTANIAN**

Alamat : Kampus Gunung Kelua Jl. Pasir Belengkong P.O. BOX. 1040 Samarinda 75123
E-mail : faperta@unmul.ac.id Website: faperta.unmul.ac.id Telp: (0541) 2083337

SURAT TUGAS

Nomor : 2061/UN17.3/KP.04.00/2024

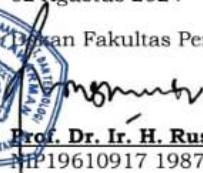
Yang bertandatangan di bawah ini Dekan Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman, dengan ini menugaskan :

Nama	:	Dr. Ir. Hj. Sopialena, MP.
NIP	:	19631009 198803 2 001
Pangkat/golongan Ruangan	:	Pembina Utama Muda/IVc
Jabatan	:	Lektor Kepala
Unit	:	Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman

untuk Menyusun **Buku Ajar Ilmu Penyakit Tumbuhan; Epidemiologi; Mikologi dan Bakteriologi dan Mikrobiologi** pada Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman.

Demikian surat tugas ini disampaikan kepada yang bersangkutan untuk dilaksanakan sebagai mana mestinya.

02 Agustus 2024


Prof. Dr. Ir. H. Rusdiansyah, M.Si.
 NIP 19610917 198703 1 005

Kata Pengantar

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, kami merasa bahagia dapat mempersembahkan buku ini yang membahas **Mikroba Tanah**. Buku ini hadir sebagai kontribusi dalam memberikan wawasan tentang dunia mikroba yang tidak terlihat, namun memiliki peran yang sangat penting dalam ekosistem, khususnya dalam konteks tanah dan pertanian.

Mikroba tanah adalah komponen kunci dalam siklus biogeokimia dan kesehatan ekosistem tanah. Mereka tidak hanya berperan dalam dekomposisi bahan organik dan daur ulang nutrien, tetapi juga dalam mendukung kesehatan tanaman dan keseimbangan ekosistem. Melalui proses-proses seperti fiksasi nitrogen, mineralisasi fosfor, dan pengendalian penyakit tanaman, mikroba tanah memainkan peran vital yang secara langsung mempengaruhi produktivitas pertanian dan keberlanjutan lingkungan.

Dalam buku ini, kami membahas berbagai aspek mikroba tanah, mulai dari jenis-jenis mikroba yang ada, fungsi ekologi mereka, hingga peran spesifik dalam siklus nutrien dan kesehatan tanaman. Kami juga mengeksplorasi teknologi dan metode modern yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkaji mikroba tanah, serta aplikasi praktis dalam bidang pertanian berkelanjutan dan rehabilitasi lahan.

Kami berharap buku ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai peranan mikroba tanah dan menginspirasi pembaca untuk lebih menghargai dan memanfaatkan keberadaan mikroorganisme ini dalam berbagai

aplikasi. Kami juga berharap buku ini dapat menjadi sumber referensi yang berharga bagi mahasiswa, dosen, peneliti, dan praktisi di bidang pertanian, lingkungan, dan ilmu hayati.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat dan menjadi pijakan bagi penelitian dan pengembangan lebih lanjut di masa mendatang.

Samarinda, Agustus 2024

Penyusun

DAFTAR ISI

Mikroba Tanah.....	6
Sebagai Biokatalis AMD dan sebagai Agen Biomining.....	6
Sebagai Agen Bioremediasi Logam.....	9
Sebagai Plant Booster Melakukan Proses Fitoremediasi.....	11
Kesimpulan.....	14

MIKROBA TANAH

Mikroba merupakan organisme yang memiliki relung yang sangat sempit sehingga sangat rentan terhadap perubahan lingkungan. Kerentanan ini memacu mikroba bermutasi untuk bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang baru (Toor dan Adnan, 2020). Banyak ditemukan mikroba yang menghuni lahan yang terkontaminasi logam berat seperti lahan bekas tambang. Mikroba memiliki banyak peran, baik menguntungkan maupun merugikan manusia di lahan bekas tambang. Di satu sisi mikroba tanah dapat memperburuk kondisi tanah, misalnya mikroba yang berperan sebagai biokatalis DAL, namun ada yang aktif mereduksi logam menjadi tidak tersedia, ada pula yang membantu pertumbuhan tanaman sehingga proses revegetasi menjadi lebih baik. Secara rinci peran mikroba tersebut diuraikan sebagai berikut:

Sebagai Biokatalis AMD dan sebagai Agen Biomining

Peristiwa DAL terjadi karena oksidasi mineral belerang sisa penambangan terbuka dan pelepasan asam sulfat seperti reaksi $\text{FeS}_2 + 14\text{Fe}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 15\text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$. Asam sulfat merupakan asam kuat sehingga akan menurunkan pH tanah dan air secara drastis. Penurunan pH dapat meningkatkan kelarutan logam.

Penurunan pH dan hilangnya bahan organik (akibat penambangan terbuka) akan memacu inisiasi bakteri pengoksidasi belerang (BOS) seperti *Thiobacillus* spp., *Leptospirillum* spp., *Sulfolobus* spp., dan *Ferroplasma* spp. Mikroba ini bersifat asam (asidofilik), menggunakan sumber C dari bahan anorganik (lithotrof atau

Muscrof) dan menggunakan sumber energi dari oksigen (Widyati, 2007). Spesies *T. ferrooxidans*, yang dikenal sebagai chemolytrophs dan mensintesis selnya dari karbon yang diperoleh secara enzimatik dari CO₂, ternyata mampu menggunakan karbon organik secara terbatas (Miche dan Balandreau 2001). Kehadiran BOS akan memacu laju DAL hingga 500.000-1.000.000 kali dibandingkan dengan reaksi geokimia (Cui et al. 2021) sehingga dalam hal ini kelompok mikroba tersebut sangat merugikan lingkungan tempat tinggalnya. Namun, BOS dapat digunakan untuk “memanen” sisa logam yang memiliki nilai ekonomi tinggi seperti tembaga, seng, nikel bahkan dapat melepaskan emas dan perak dari mineral pirit (Miche dan Balandreau 2001).

Kelompok mikroba ini dikenal sebagai “mikroba penambang” atau biominer dan kegiatan penambangan menggunakan mikroba disebut biomining. Menurut (Rawlings 2004) biomining adalah istilah untuk memfasilitasi ekstraksi logam dari mineral yang mengandung belerang atau besi dengan menggunakan mikroba. Proses pelarutan logam merupakan gabungan antara proses kimia dan mikrobiologi, dimana proses kimia terjadi karena adanya Fe³⁺ dan atau asam yang dihasilkan oleh aktivitas mikroba. Ekstrak logam dalam proses biomining dilarutkan ke dalam air, sehingga proses ini disebut bioleaching sedangkan khusus untuk pemulihan emas dari lumpur tailing digunakan istilah bio-oksidasi (Rawlings 2004). Menurut (Rawlings 2004), tidak semua mineral dapat dipanen oleh logam melalui teknologi bioleaching tetapi hanya logam yang terikat pada mineral yang mengandung belerang, besi atau belerang yang direduksi, sehingga proses bioleaching selalu menghasilkan limbah berupa Fe³⁺ dan asam sulfat.

Menurut (Rawlings 2004) ekstraksi logam dengan mikroba lebih ekonomis dan lebih ramah lingkungan daripada ekstraksi kimia. Kadar logam yang terlalu rendah

dibandingkan dengan mineral yang mengikatnya menyebabkan ekstraksi kimia menjadi tidak ekonomis dibandingkan dengan pemulihan logam. Metode bioleaching juga tidak membutuhkan energi yang besar seperti yang digunakan untuk proses peleburan dan pembakaran pada proses ekstraksi logam tradisional. Selain itu, metode bioleaching lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan proses fisikokimia karena proses ini menggunakan proses yang terjadi di alam. Misalnya pada proses peleburan dan pembakaran akan menghasilkan gas berbahaya seperti SO₂, hal ini tidak terjadi pada proses bio-leaching. Mekanisme pelarutan mineral sulfida menunjukkan pola yang berbeda ditemukan bahwa oksidasi sulfida logam yang berbeda dimulai dengan reaksi perantara yang berbeda. Untuk pirit (FeS₂) dan molibdenit (MoS₂) melalui reaksi antara yang disebut mekanisme tiosulfat. Sedangkan spalerit (ZnS), chalcopyrite (CuFeS₂) atau galena (PbS) melalui mekanisme polisulfida.

Bakteri yang telah terbukti efektif melepaskan logam komersial antara lain: *T. ferrooxidans* dan *L. ferrooxidans* dengan kepadatan populasi 10⁶-10⁷ unit pembentuk koloni/ml media tanam. Beberapa kelompok mikroba ditemukan bekerja pada temperatur yang berbeda sehingga dapat digunakan untuk biomining pada mineral yang berada pada kedalaman lapisan tanah yang berbeda. Pada oksidasi mineral yang dioperasikan pada kisaran suhu 40°C, mikroba yang paling efektif adalah campuran gugus (konsorsium) BOS gram negatif, yang terdiri dari *Acidithiobacillus ferrooxidans* (sebelumnya *Thiobacillus ferrooxidans*), *At. thiooxidans* (sebelumnya *T. thiooxidans*), dan *At. caldus* (sebelumnya *T. caldus*), dan bakteri pengikat ikatan besi *Leptospirillum ferrooxidans* dan *L. ferriphilum* (Rawlings 2004).

Sebagai Agen Bioremediasi Logam

Sebagai penghuni tanah, kehidupan mikroba selalu dipengaruhi secara langsung oleh perubahan tanah. Pada lahan bekas tambang terjadi perubahan tanah (fisik, kimia, dan biologi) secara drastis, sehingga mikroba harus beradaptasi dengan lingkungan baru, atau punah. Menurut (Helbig et al. 2008) salah satu mekanisme adaptasi adalah mengubah ekspresi gen sehingga aktivitas enzim dan protein memungkinkan mereka untuk terus hidup di lingkungan tersebut. Beberapa mekanisme mikroba beradaptasi pada lahan bekas tambang yang terkontaminasi logam, antara lain mikroba mampu menggunakan logam sebagai sumber energi, meresepkan logam dalam garam logam yang tidak larut, melumpuhkan logam dalam dinding sel, memproduksi agen pengkhelat, mengubah permeabilitas membran sel mikroba menjadi logam, dan mereduksi logam menjadi bentuk yang tidak beracun (Helbig et al. 2008). Kemampuan mikroba tersebut dapat dimanfaatkan dalam proses detoksifikasi logam yang dikenal dengan bioremediasi.

Bioremediasi adalah proses pemulihan polutan dengan memanfaatkan jasa makhluk hidup seperti mikroba (bakteri, jamur, khamir), tumbuhan hijau atau enzim yang dihasilkan dalam proses metabolismenya (diekstraksi dari berbagai sumber). Untuk mikroba tertentu, polutan dapat digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya (Alexander 1978).

Pada lahan bekas tambang ditemukan logam yang pada awalnya dalam keadaan reduktif yang berikatan dengan sulfida membentuk mineral kompleks. Namun, logam ini menjadi tersedia karena teroksidasi akibat bereaksi dengan udara dan atau air. Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, dan lainnya banyak dijumpai pada lahan bekas tambang. Selain itu, penambangan yang membutuhkan pemurnian bijih banyak

ditemukan logam berat seperti arsenik (As), merkuri (Hg) atau bahan berbahaya lainnya seperti sianida (CN). Salah satu jenis mikroba yang terbukti mampu melakukan bioremediasi sianida adalah *Pseudomonas pseudoalcaligenes* (Helbig et al. 2008), yang dapat menurunkan ketersediaan CN di kolam tailing hingga 90% dalam waktu 2-3 hari pada pH 10,5. Untuk mendegradasi merkuri (Hg) beberapa mikroba diketahui memiliki enzim merkuri reduktase seperti *Pseudomonas putida*, *Geobacter metal-liroducens*, *Shewanella putrefaciens*, *Desulfovibrio desulfuricans*, dan *D. vulgaris*. Dua spesies terakhir adalah kelompok bakteri pereduksi sulfat (BPS). Penelitian yang dilakukan oleh Lovley (Widyati 2007) menunjukkan bahwa remediasi merkuri dengan mikroba jauh lebih baik dibandingkan dengan cara kimia karena cara kimia selain lebih mahal juga masih menghasilkan lumpur yang mengandung Hg.

Akar permasalahan pada lahan bekas tambang terbuka (misalnya pada lahan bekas tambang batu bara) telah diidentifikasi oleh (Widyati 2007) yaitu pH yang sangat rendah akibat akumulasi sulfat pada lahan yang mengakibatkan peningkatan kelarutan bahan tambang logam. Oleh karena itu kegiatan rehabilitasi pada lahan tersebut harus dimulai dengan penurunan konsentrasi sulfat dan pencegahan oksidasi mineral lebih sulfida lebih lanjut. Kelompok bakteri pereduksi sulfat (BPS) dapat digunakan untuk mereduksi sulfat. Hasil penelitian oleh (Widyati 2007) menunjukkan bahwa BPS dapat digunakan untuk mereduksi sulfat di lahan bekas tambang batubara dengan efisiensi 80% dalam waktu 10 hari. Selain itu, inokulum BPS dengan dosis inokulum 25% dari total volume tanah dapat menurunkan ketersediaan Fe, Mn, Zn, dan Cu dengan efisiensi mencapai 90% dengan waktu inkubasi 15 hari. Aplikasi pada air asam tambang (AAT) yang dilakukan oleh (Widyati 2007) penambahan inokulum BPS 1% dari volume AAT dapat meningkatkan pH menjadi netral dalam beberapa jam setelah aplikasi. Untuk

menurunkan kandungan logam dosis efektif adalah 10% dengan waktu inkubasi 2-4 hari.

Sebagai Plant Booster Melakukan Proses Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah istilah yang dikhkususkan untuk proses bioremediasi yang dilakukan oleh tanaman. Salah satu mekanisme tanaman dalam melakukan fitoremediasi adalah memfasilitasi aktivitas mikroba di dalam tanah melalui pembentukan asosiasi sehingga dikenal dengan fitostimulasi. Untuk mengoptimalkan proses fitoremediasi, tanaman merangsang aktivitas mikroba tanah dalam mendegradasi logam. Untuk menarik mikroba agar mendekati akar dan berasosiasi dengan tanaman, maka akar mengeluarkan eksudat akar yang umumnya berupa protein, asam organik atau senyawa lain yang dibutuhkan oleh mikroba (Toor dan Adnan 2020). Mikroba akan bergerak lebih dekat ke akar dan ini dikenal sebagai kemotaksis. Contohnya adalah tanaman kacang-kacangan yang mengeluarkan flavonoid yang dapat merangsang asosiasi antara tanaman kacang-kacangan dan bakteri rhizobium. Beberapa genus rhizobium diketahui berperan dalam proses bioremediasi logam pada lahan yang terkontaminasi karena memiliki enzim metallothioneine (Widyati 2013). Contoh lain adalah asosiasi tanaman dengan jamur pembentuk mikoriza, khususnya jamur mikoriza arbuskula (FMA). Menurut (Davies et al. 2001), dalam membantu tanaman inang yang hidup pada lahan yang memiliki kandungan logam berat tinggi CMA mensekresikan senyawa pengkhelat logam berat (seperti asam organik dan siderofor) ke dalam rizosfer atau menghasilkan enzim metalreduktase sehingga dapat melumpuhkan logam. Sedangkan menurut (Joner dan Leyval 1997), hifa ekstra radikal FMA dapat menyerap logam berat lebih banyak tetapi logam tersebut tidak bergerak sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman inang. Hasil penelitian (Gonzalez-Chavez et al.

2002) menunjukkan bahwa hifa ekstradadikal *Glomus caledonicum*, *G. mossae*, dan *G. claroideum* dapat menyerap dan mengakumulasi Cu pada bagian mucilaginous dinding sel luar hifa, pada dinding sel hifa atau dalam sitoplasma. Dengan demikian tanaman tidak akan menyerap logam berat dalam jumlah yang melebihi ambang toleransi tanaman.

Penelitian yang dilakukan oleh (Toler, Morton, dan Cumming 2005) menunjukkan bahwa FMA yang diisolasi dari lahan yang terkontaminasi Cu dan Zn memiliki mekanisme yang berbeda untuk melindungi tanaman inang dari keracunan, penyerapan logam ke dalam hifa, dan transfer ke pucuk jaringan tanaman. WPP yang diisolasi dari tanah tercemar meningkatkan serapan Cu tetapi tidak menyebabkan keracunan inang. Di sisi lain, FMA yang diisolasi dari tanah yang tidak tercemar akan mencegah tanaman menyerap Cu dalam jumlah yang melebihi ambang batas toleransi tanaman inangnya. Hasil penelitian oleh (Widyati 2007) menunjukkan bahwa *Acacia crassicarpa* yang ditanam pada lahan bekas tambang batubara, kemampuan mengakumulasi Mn, Zn, dan Cu meningkat secara signifikan setelah diinokulasi dengan konsorsium *Rhizobium* sp., *Glomus* sp. 6, dan *Bacillus* sp. bakteri pelarut fosfat. yang juga diisolasi dari lahan bekas tambang batubara. Dengan demikian peran mikroba tanah dalam membantu proses fitoremediasi adalah menyediakan lingkungan yang optimal agar benih dapat tumbuh dan berperan secara optimal atau membantu meningkatkan penyerapan logam tanpa tanaman mengalami keracunan. Hal ini akan mempercepat penyingkirkan logam dari lingkungan sehingga kualitas lingkungan menjadi lebih baik.

Pengelolaan tanah mempengaruhi struktur komunitas mikroba tanah telah banyak dilaporkan Penggunaan pestisida, amandemen kitin (Toler, Morton, dan

Cumming 2005), kompos atau pupuk kandang dan pengenalan mutan mikroba akan mempengaruhi struktur komunitas mikroba di tanah. Sifat fisikokimia tanah (Sopialena et al. 2018), distribusi ukuran partikel tanah, keberadaan dan umur jenis tumbuhan serta rotasi tanaman merupakan faktor kunci penentu struktur komposisi mikroba tanah. Jenis tanaman dan tanah mempengaruhi struktur komunitas mikroba, namun informasi rinci tentang interaksinya tidak dapat diperoleh dan masih perlu studi lebih lanjut. Komunitas mikroba tanah sangat sulit untuk dikarakterisasi, karena adanya keragaman fenotipik dan genotipik, heterogenitas, dan kriptisitas. Populasi bakteri pada tanah pucuk $> 10^9$ sel/g tanah dan sebagian besar tidak dapat dibudidayakan.

Kehidupan mikroba di dalam tanah berperan penting dalam mengendalikan stabilitas ekosistem tanah. Faktor yang mempengaruhi struktur komunitas mikroba di dalam tanah adalah jenis tanah dan tumbuhan, serta pengelolaan tanah. Selain terdapat mikroba tanah yang bermanfaat bagi tanaman dengan menghasilkan unsur hara dan hormon pertumbuhan tanaman, terdapat pula mikroba dalam tanah yang menyebabkan penyakit tanaman. Pada kondisi ekosistem tanah yang stabil, penekan mikroba patogen dapat ditekan secara alami (Sopialena dan Palupi 2017). Dengan memahami kondisi lingkungan tanah baik dari aspek fisik, kimia dan biologi maka tindakan pengelolaan tanah untuk menjaga kesuburan tanah dapat dilakukan dengan tepat. Pengelolaan ekologi kesuburan tanah memberi harapan lebih dalam mewujudkan sistem pertanian berkelanjutan, dengan memperhatikan interaksi antara mikroba dengan tanah dan mikroba dengan tanaman oleh pengaruh ruang dan waktu di dalam tanah. Memahami luasnya pengaruh tumbuhan dalam ruang dan waktu akan menjadi tantangan besar bagi pertanian di masa depan, didukung lagi oleh fluktuasi kondisi abiotik tanah (seperti kadar air dan suhu tanah) yang mempengaruhi struktur komunitas mikroba.

Kesimpulan

Mikroba tanah memainkan peran yang sangat penting dan multifaset dalam ekosistem tanah, yang memiliki dampak signifikan terhadap pertumbuhan tanaman, kesehatan ekosistem, dan produktivitas pertanian. Mikroorganisme ini, termasuk bakteri, fungi, aktinomisetes, dan protista, berkontribusi dalam berbagai proses biologis dan kimia yang esensial bagi keseimbangan ekosistem tanah.

Pertama, mikroba tanah berperan krusial dalam **siklus nutrien**. Mereka terlibat dalam dekomposisi bahan organik, fiksasi nitrogen, mineralisasi fosfor, dan daur ulang sulfur. Proses-proses ini memastikan ketersediaan nutrien penting bagi tanaman, yang pada gilirannya meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas pertanian. Tanpa mikroba tanah, banyak nutrien esensial akan terkunci dalam bentuk yang tidak dapat diakses oleh tanaman.

Kedua, mikroba tanah juga terlibat dalam **peningkatan kesehatan dan pertumbuhan tanaman**. Melalui interaksi simbiotik seperti mikoriza dan hubungan dengan rhizobia, mikroba dapat meningkatkan penyerapan nutrien, melindungi tanaman dari patogen, dan memperbaiki struktur tanah. Hubungan ini tidak hanya memberikan keuntungan bagi tanaman, tetapi juga mendukung diversitas mikroba dan stabilitas ekosistem tanah.

Ketiga, mikroba tanah memiliki peran penting dalam **bioremediasi**. Mereka dapat menguraikan polutan organik dan anorganik, memperbaiki kualitas tanah

yang tercemar, dan mengurangi dampak lingkungan negatif dari aktivitas manusia. Kemampuan ini menjadikan mikroba tanah sebagai alat penting dalam upaya rehabilitasi lingkungan dan pertanian berkelanjutan.

Secara keseluruhan, mikroba tanah adalah komponen vital yang mendukung kehidupan di bumi. Mereka menyediakan layanan ekosistem yang penting, mempengaruhi dinamika ekosistem, dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman dan pengelolaan mikroba tanah menjadi kunci dalam meningkatkan produktivitas pertanian, menjaga kesehatan ekosistem, dan menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan.