



BIOTEKNOLOGI TANAH

Endang Sulistyorini | Dewi Firmia | Santa Maria Lumbantoruan
Wika Anrya Darma | Lily Ishak | Muhamad Soimin
Whin Themas Mico Saputra | Morgan Ohiwal
Siti Latifa Wulandari | Yusuf Sabilu | Ranno Marlany Rachman

Editor :

Andika Prawanto
Benny Hidayat

TEMPERATURE



pH CONTROL

pH



BIOTEKNOLOGI TANAH

Tanah bukan hanya tempat hidup bagi manusia, tetapi tanah juga menyediakan sistem yg kompleks untuk mendukung kehidupan manusia, kerusakan tanah menyebabkan kerusakan kehidupan manusia.

Revolusi hijau memaksa manusia untuk mencari jalan pintas untuk mendapatkan kebutuhan hidup yang semakin meningkat, dengan mengesampingkan faktor lingkungan dan keberlanjutan kehidupan, dan akhirnya mendapatkan jalan buntu dengan meningkatnya senyawa toksik yg justru menjadikan kehidupan manusia menjadi tidak sehat.

Meningkatnya pemanfaatan pupuk organik menyadarkan manusia bahwa alam menyiapkan sistem yg sempurna untuk mendukung kehidupan manusia dengan organisme yg mampu mensuplay hara N, P dan K bagi tanaman seperti pemanfaatan pupuk hayati seperti Rhizobia, Frangkia, Mikoriza, bakteri pelarut Fosfat, Bakteri pelarut Kalium. Juga terdapat Azolla yg mampu mensuplay hara Nitrogen hingga 45% kebutuhan tanaman bila dilakukan secara terus menerus.

Dengan menggunakan bioteknologi tanah dan mendayagunakan kemampuan alami dari alam, menyehatkan tanah dengan meningkatnya populasi cacing tanah merupakan indikator tanah yg subur dan tidak memiliki senyawa beracun.

Pemanfaatan bioteknologi tanah semakin hari semakin berkembang dan maju, dan menjadikan tanah semakin sehat dan berkualitas untuk produktivitas lahan yang sehat dan tinggi.



☎ 0858 5343 1992
✉ eurekaediaaksara@gmail.com
📍 Jl. Banjaran RT.20 RW.10
Bojongsari - Purbalingga 53362

ISBN 978-623-120-205-5



BIOTEKNOLOGI TANAH

Endang Sulistyorini
Dewi Firnia
Santa Maria Lumbantoruan
Wika Anrya Darma
Lily Ishak
Muhamad Soimin
Whin Themas Mico Saputra
Morgan Ohiwal
Siti Latifa Wulandari
Yusuf Sabilu
Ranno Marlany Rachman



eureka
media aksara

PENERBIT CV.EUREKA MEDIA AKSARA

BIOTEKNOLOGI TANAH

Penulis : Endang Sulistyorini
Dewi Firnia
Santa Maria Lumbantoruan
Wika Anrya Darma
Lily Ishak
Muhamad Soimin
Whin Themas Mico Saputra
Morgan Ohiwal
Siti Latifa Wulandari
Yusuf Sabilu
Ranno Marlany Rachman

Editor : Andika Prawanto
Benny Hidayat

Desain Sampul : Ardyan Arya Hayuwaskita

Tata Letak : Meilita Anggie Nurlatifah

ISBN : 978-623-120-205-5

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, JANUARI 2024**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992
Surel : eurekamediaaksara@gmail.com
Cetakan Pertama : 2024

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh
isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun,
termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman
lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami ucapkan Kehadirat Allah Subhanahu wa ta'ala, Tuhan yang Maha Esa, dengan rahmat dan karuniaNya sehingga penyusunan buku yang berjudul "Bioteknologi Tanah secara kolaborasi dapat diselesaikan. Buku ini terdiri dari 12 Bab, yang mencakup pemanfaatan organisme tanah dalam meningkatkan produktivitas lahan, dampak lingkungannya dan juga arah pengembangan Bioteknologi Tanah. Kami berharap buku ini dapat membantu para peneliti, dosen, mahasiswa, sebagai batu loncatan untuk dapat mengembangkan teknologi tanah dalam meningkatkan kualitas hidup manusia. Demi kemajaun Ilmu pengetahuan kedepan kami tentunya mengharapkan kritik, masukan dan saran untuk dapat disempurnakan pada edisi berikutnya.

Terimakasih kami ucapkan kepada seluruh pihak yang telah banyak memberikan kontribusi dalam penyusunan buku ini, semoga Allah subhanahu wata'ala membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Pangkalan Bun, Oktober 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
BAB 1 PENGANTAR BIOTEKNOLOGI TANAH.....	1
A. Bioteknologi Konvensional.....	5
B. Bioteknologi Modern.....	14
C. Bioteknologi Tanah dalam Pertanian Berkelanjutan .	17
BAB 2 PUPUK ORGANIK.....	21
A. Konsep dan Pengertian Pupuk Organik.....	21
B. Karakteristik Pupuk Organik	22
C. Sumber Pupuk Organik	23
D. Jenis Pupuk Organik	24
E. Keunggulan dan Kekurangan Penggunaan Pupuk Organik.....	28
F. Dampak Aplikasi Pupuk Organik terhadap Sifat Tanah	28
G. Peranan Pupuk Organik Bagi Pertanian.....	31
BAB 3 PUPUK HAYATI.....	33
A. Pendahuluan	33
B. Pupuk Hayati.....	35
C. Jenis Pupuk Hayati.....	36
D. Penerapan Pupuk Hayati Mikroba	46
E. Penyediaan Mikroba Pupuk Hayati.....	48
F. Keterbatasan Pupuk Hayati Mikroba	49
G. Peningkatan Skala dan Pengendalian Mutu Pupuk Hayati	54
BAB 4 PUPUK ORGANIK HAYATI.....	56
A. Pengantar.....	56
B. Pupuk Organik Hayati.....	57
C. Peran Pupuk Organik Hayati pada Ketersediaan Hara dalam Tanah Bagi Tanaman.....	58
D. Makro dan Mikro Fauna pada Pupuk Organik Hayati	60
E. Interaksi Mikroba Pupuk Organik Hayati dengan Tanah	61

BAB 5	PERANAN ORGANISME TANAH DALAM PENYEDIAAN HARA	66
	A. Tanah- Sebuah Sistem Kehidupan yang Dinamis	66
	B. Organisme Tanah dan Fungsinya dalam Tanah	69
	C. Peran organisme Tanah dalam Penyediaan Unsur Hara	75
BAB 6	MIKORIZA.....	80
	A. Pendahuluan.....	80
	B. Definisi Mikoriza (<i>Mycorrhizae</i>).....	82
	C. Klasifikasi Mikoriza	84
	D. Mekanisme Pembentukan Aosiasi Mikoriza dengan Akar	90
	E. Peranan Spesifik Mikoriza.....	93
	F. Interaksi Mikroriza dengan Mikroorganisme Tanah.....	95
	G. Mikoriza meningkatkan resistensi patogen.....	97
	H. Kesimpulan.....	97
BAB 7	CACING TANAH.....	99
	A. Pendahuluan.....	99
	B. Ruang Lingkup Cacing Tanah	101
	C. Peran Cacing Tanah terhadap Tanah dan Tanaman.....	102
	D. Pengaruh Cacing Tanah terhadap Hara Tersedia ...	105
	E. Pengaruh Cacing Tanah terhadap Perubahan Sifat Fisik Tanah.....	108
BAB 8	MIKROORGANISME PELARUT FOSFAT	111
	A. Pendahuluan.....	111
	B. Produksi Asam Organik.....	113
	C. Produksi Asam Anorganik.....	116
	D. Melepas Proton.....	118
	E. Produksi Siderofor	119
	F. Produksi Eksopolisakarida.....	121
	G. Mineralisasi Enzimatis untuk Melarutkan Fosfor Organik	122
BAB 9	RHIZOBIUM.....	124
	A. Karakteristik Bakteri <i>Rhizobium</i>	124
	B. Potensi Bakteri <i>Rhizobium</i>	127

C. Manfaat Bakteri <i>Rhizobium</i> Penambat N ₂	129
BAB 10 AZOLLA DAN GANGGANG	133
A. Tumbuhan Azolla	133
B. Ganggang Anabaena	135
C. Simbiosis Azolla dan Ganggang Anabaena	138
D. Fiksasi Nitrogen oleh <i>Anabaena azollae</i>	139
E. Distribusi Azolla	141
F. Komposisi Kimia Azolla	142
G. Perbanyakan Azolla.....	145
H. Pemanfaatan pupuk Azolla pada Pertanian	147
BAB 11 DAMPAK BIOTEKNOLOGI TANAH PADA	
 PENGELOLAAN LINGKUNGAN	151
A. Pengantar Bioteknologi Tanah dan Pengelolaan	
Lingkungan	151
B. Prinsip-prinsip Dasar Bioteknologi Tanah	153
C. Aplikasi Bioteknologi dalam Pengelolaan	
Lingkungan	154
D. Dampak dan Prospek Masa Depan dari	
Bioteknologi Tanah.....	158
DAFTAR PUSTAKA.....	164
TENTANG PENULIS.....	192

BAB 1

PENGANTAR BIOTEKNOLOGI TANAH

Pada awal tahun 1960-an, Indonesia mengalami revolusi pertanian. Revolusi pertanian di Indonesia dikenal dengan sebutan Revolusi Hijau. Ide revolusi hijau bermula dari penelitian dan tulisan Thomas Robert Malthus (1766-1834) yang berpendapat bahwa kemiskinan merupakan permasalahan yang tidak bisa dihindari. Kemiskinan disebabkan oleh pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan produksi pangan yang tidak seimbang. Pertumbuhan penduduk terus meningkat sebanding dengan laju pertumbuhan produksi pertanian (pangan). Menurut Malthus, pertumbuhan penduduk mengikuti model geometris atau eksponensial sedangkan pertumbuhan produksi pertanian mengikuti pertumbuhan aritmatika atau aditif. Pemenuhan kebutuhan produksi merupakan tujuan keberhasilan pertanian atau kecukupan pangan. Tulisan-tulisan Malthus sangat memengaruhi negara-negara Eropa dalam memenuhi kebutuhan pangannya, sehingga memunculkan gerakan-gerakan untuk mengendalikan pertumbuhan penduduk dan mencari benih yang lebih berkualitas untuk meningkatkan produksi kuantitas pangan (Muharram, 2020).

Dengan menekan jumlah penduduk dan menggunakan benih yang lebih berkualitas sehingga dapat meningkatkan produktivitas pertanian, diharapkan masalah kemiskinan dapat teratasi. Pengertian revolusi hijau adalah upaya pengembangan teknologi pertanian untuk meningkatkan produksi pangan dengan mengubah model pertanian dari pertanian yang menggunakan teknologi tradisional menjadi pertanian yang menggunakan teknologi maju dan modern. Setelah berakhirnya Perang Dunia II,

BAB

2

PUPUK ORGANIK

A. Konsep dan Pengertian Pupuk Organik

Menurut Liebig and Doran (1999) mengemukakan bahwa pupuk organik adalah suatu bahan kimia yang bersifat organik dimana bahan tersebut memiliki nilai analitik tinggi dengan komposisi kimia tertentu yang memberikan unsur hara untuk tanaman dalam bentuk yang tersedia. Pupuk organik juga dapat didefinisikan sebagai pupuk yang dibuat dari beberapa kotoran hewan, kotoran manusia, atau bahan tumbuhan (seperti kompos atau pupuk kandang). Pupuk organik biasanya terkait dengan bahan baku yang bersifat biodegradable, hal ini karena bahan baku terbuat terbuat dari bahan baku yang bersifat alami.

Selain itu ada yang menggambarkan bahwa pupuk organik adalah senyawa berbasis karbon yang dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas pertumbuhan tanaman. Pupuk organik, jauh dari bahan kimia yang dimurnikan dan disederhanakan, adalah senyawa kompleks yang menambahkan banyak nutrisi sekunder dan mikro. Menurut Permentan No. 2/ Pert/ Hk. 060/2/2006, pupuk hijau, pupuk kotoran hewan, kompos, sisa tanaman (jerami, batang, tongkol, ampas tebu, dan sabut), limbah peternakan, limbah industri yang mengandung bahan pertanian bekas, dan limbah kota dapat dianggap sebagai bahan organik.

Beberapa tahun terakhir ini, pupuk organik telah menjadi suatu hal sangat populer karena adanya tingkat kesadaran akan pentingnya pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan

BAB 3

PUPUK HAYATI

A. Pendahuluan

Pupuk adalah bahan kimia alami atau buatan yang bila diaplikasikan pada tanaman atau tanah atau melalui pemupukan dapat menambah unsur hara alami tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kesuburan tanah. Hal ini menyediakan unsur hara makro yang penting (nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, sulfur, dan magnesium) serta berbagai unsur hara mikro (seng, tembaga, besi, boron, dan molibdenum) bagi tanaman. Permintaan produksi yang tinggi akan pupuk NPK dan menyediakan nitrogen (amonia, urea, amonium sulfat, amonium nitrat, kalsium amonium nitrat), fosfor (di-amonium fosfat, superfosfat, fosfat batuan dasar), dan kalium (kalium atau kalium klorida, kalium sulfat atau kalium sulfat, sulfat kalium magnesium, kalium nitrat, kieserit, garam Epsom). Pemupukan yang diperkaya unsur hara mikro melibatkan penambahan unsur hara mikro pada pupuk standar telah mendorong biofortifikasi agronomi untuk mengurangi malnutrisi dan defisiensi unsur hara mikro berupa tembaga, besi, seng, yodium, selenium, dan fluor pada tanaman. Misalnya, pupuk dengan tambahan seng terbukti meningkatkan hasil biji-bijian sereal melalui pertumbuhan bibit yang lebih tinggi dan toleransi terhadap tekanan lingkungan. Namun, salah satu kendala terhadap pertumbuhan tanaman adalah tidak tersedianya unsur hara terutama nitrogen dan fosfor bagi tanaman meskipun banyak terdapat di dalam tanah, karena sebagian besar nitrogen

BAB

4

PUPUK ORGANIK HAYATI

A. Pengantar

Tanah pertanian di Indonesia saat ini dapat dikatakan 'sakit'. Kondisi ini dipicu oleh teknik usaha tani yang mementingkan peningkatan produksi dan kurang memperhatikan keberlanjutan lingkungan, tanah, air dan udara. Upaya peningkatan produksi dilakukan dengan memberikan input yang besar pada tanaman. tujuannya tentu agar pertumbuhan meningkat dan hasil yang diperoleh juga akan meningkat.

Input tersebut terdiri dari pupuk dan bahan pengendali organisme pengganggu tanaman (OPT). Pupuk sebagai input terbesar dalam penambahan hara tanaman. Pupuk merupakan bahan yang mengandung unsur-unsur hara yang diberikan ke dalam tanah untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Sebagian besar pupuk yang diberikan mengandung bahan kimia. Khususnya untuk pemberian di tanah, pupuk kima baik pupuk tunggal seperti Urea, SP-36 dan KCl maupun pupuk majemuk seperti pupuk NPK sudah menjadi makanan sehari-hari tanah. Keadaan ini membuat tanah menjadi jenuh. Fungsi tanah dalam penyedia unsur hara alami dengan memanfaatkan berbagai mikroorganisme tanah menjadi terganggu. Hal ini menyebabkan siklus kehidupan biologi tanah tidak lagi sebaik dulu.

BAB 5

PERANAN ORGANISME TANAH DALAM PENYEDIAAN HARA

A. Tanah- Sebuah Sistem Kehidupan yang Dinamis

Istilah tanah sebagai sebuah sistem yang hidup dan dinamis mulai dipopulerkan sejak awal tahun 1990, yang merupakan awal mula diperkenalkannya konsep tentang kualitas tanah. Definisi kualitas tanah yakni kemampuan tanah untuk berfungsi, dimana fungsi inilah yang merefleksikan sifat hidup dan dinamis dari tanah (Karlen *et al.*, 1997). Penyebarluasan konsep ini kepada berbagai pihak (akademisi, ilmuwan, politisi, praktisi, petani) dimaksudkan untuk meningkatkan pemahaman yang lebih luas mengenai fungsi fundamental dari tanah.

Tanah sebagai sistem kehidupan ditandai dengan fungsinya sebagai rumah atau habitat bagi biodiversitas tanah. Biodiversitas tanah menggambarkan keanekaragaman biota atau organisme yang hidup dalam tanah mulai dari genus dan spesies hingga komunitas termasuk kompleksitas ekologinya (Ishak, 2022). Di dalam ruang kehidupan ini, lebih dari 40% organisme yang hidup di ekosistem darat melangsungkan siklus kehidupannya (Decaëns *et al.*, 2006). Tanah selain merupakan sistem yang hidup juga bersifat dinamis. Sifat ini dapat diilustrasikan secara representatif menggunakan arsitektur jejaring pori dalam tanah. Tanah memiliki sifat porous, dimana pori-pori tanah berisi gas (udara), air, partikulat dan organisme yang senantiasa dinamis menurut ruang dan waktu. Tanpa dinamika tersebut maka tidak akan lahir layanan ekosistem

BAB

6

MIKORIZA

A. Pendahuluan

Di dalam suatu ekosistem, terdapat interaksi yang sangat kompleks antar setiap komponennya, terutama yang melibatkan mikroorganisme. Interaksi ini terjadi dalam berbagai siklus biogeokimia, baik itu yang terjadi di permukaan maupun di bawah tanah. Siklus biogeokimia tersebut membawa dinamika perubahan yang terjadi pada lingkungan tanah yang secara langsung, maupun tidak langsung mempengaruhi kehidupan komponen biotik lainnya.

Mikroorganisme merupakan komponen biotik integral di dalam ekosistem. Keberadaannya tidak hanya terlibat dalam siklus biogeokimia yang terlibat dalam siklus karbon, nitrogen, dan fosfor, melainkan terlibat lebih jauh dari itu. Sejalan dengan kemajuan teknologi eksplorasi mikroorganisme dewasa ini, terungkap bahwa ternyata masih banyak jenis mikroorganisme yang belum teridentifikasi dan dipelajari secara komprehensif serta peranan ekologis yang masih belum terungkap.

Sejalan dengan itu, pemanfaatan mikroorganisme dalam dunia pemuliaan tanaman dan juga pertanian sedang mengalami perkembangan. Hal ini memiliki tujuan utama untuk mendapatkan kualitas dan kuantitas produk agrikultur yang optimal dengan nilai komoditi yang tinggi. Selain itu juga, pemanfaatan mikroorganisme ini juga mampu memberikan pilihan bagi pelaku usaha pertanian untuk menerapkan prinsip-prinsip pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan

BAB

7

CACING TANAH

A. Pendahuluan

Sifat-sifat tanah secara umum memiliki 3 (tiga) bagian sifat yaitu, sifat fisika, sifat kimia dan sifat biologi tanah. 3 (tiga) sifat tanah ini memiliki ikatan dan kaitan yang sangat erat dan saling berpengaruh terhadap ketersediaan kebutuhan pada tanah maupun tanamannya seperti halnya sifat biologi tanah secara umum membahas bagaimana manfaat dan peran ketersediaan makro fauna seperti cacing tanah, tikus serta mikro faunanya seperti mikroba, aktinomisetes dan mikoriza.

Fauna tanah adalah salah satu komponen ekosistem tanah yang memiliki fungsi sebagai perbaikan struktur tanah dengan penurunan berat jenis tanah, kapasitas penyimpanan air, penambahan ruang pori, aerasi, drainase, dekomposisi bahan organik, pencampuran partikel tanah, sebaran mikroba serta perbaikan agregat struktur tanah (Witt, 2004).

Menurut Hill (2004), Meskipun pengaruh fauna tanah bersifat tidak langsung terhadap pembentukan maupun bahan organik tanah akan tetapi secara umum fauna tanah dapat di jadikan sebagai pengatur proses terjadinya sifat fisik, sifat kimia dan sifat biologi tanah.

Pada bab ini akan mengulas kembali hewan yang tidak asing dan mudah ditemukan di mata petani atau pembudidaya tanaman yaitu cacing tanah. Seperti yang kita ketahui bahwa cacing tanah merupakan salah satu makhluk ciptaan tuhan yang memiliki peran yang sangat penting bagi alam terutama tanah meskipun perannya terkadang dianggap tidak penting bahkan

BAB

8

MIKROORGANISME PELARUT FOSFAT

A. Pendahuluan

Mikroorganisme pelarut fosfat (MPF) merupakan jenis mikroorganisme yang mampu melarutkan fosfat anorganik dari senyawa yang tidak larut. MPF, seperti bakteri, jamur dan alga telah terbukti dapat meningkatkan ketersediaan fosfor dan hasil pertanian dengan pendekatan yang ramah lingkungan. Peningkatan ketersediaan fosfor oleh MPF berperan penting dalam mobilisasi fosfor tanah dan memfasilitasi penyerapannya oleh akar tanaman. MPF telah digunakan dalam berbagai penelitian dan aplikasi pertanian, seperti pada tanaman kelapa sawit, padi gogo dan jagung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi MPF dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, serapan fosfor, dan hasil panen. Oleh karena itu, penggunaan MPF dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan dalam meningkatkan produktivitas pertanian (Pane *et al.*, 2022).

Dengan pendekatan yang ramah lingkungan, penggunaan MPF dapat menjadi alternatif yang efektif dalam meningkatkan ketersediaan fosfor dan hasil pertanian. MPF dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk fosfat anorganik, yang sering kali mahal dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika digunakan secara berlebihan. Selain itu, penggunaan MPF juga dapat membantu dalam pengelolaan tanah yang berkelanjutan dan meminimalkan dampak negatif pada lingkungan. MPF sering digunakan dalam pertanian organik sebagai alternatif yang

BAB

9

RHIZOBIUM

A. Karakteristik Bakteri *Rhizobium*

Rhizobium merupakan bakteri gram negatif yang hidup di tanah. Rhizobium merupakan bakteri aerobik, berbentuk batang, berwarna putih, bulat, pengikat nitrogen yang berada di dalam tanah atau biasa dikenal dengan bintil akar dan bersimbiosis dengan sel akar polong-polongan atau disebut juga facebae. Rhizobium menginfeksi melalui bulu akar tanaman kacang-kacangan dan mengakibatkan pertumbuhan jaringan yang banyak hingga menjadi kutil. Beberapa spesies Actinomycetes banyak ditemukan bersama Rhizobium sp. Bakteri ini mampu bersimbiosis dengan akar kacang-kacangan hingga membentuk bintil akar yang mampu menyerap nitrogen dari udara. Kehadiran Rhizobium pada akar tanaman akan mengurangi kebutuhan nitrogen dari sumber luar (Pattipeilohy dan Sopacua, 2014).

Rhizobium sp. menempel pada akar tanaman polong-polongan (legum). Nitrogen yang terkandung dalam N_2 pada akhirnya berubah menjadi NH_4^+ dan NO_3^- , akan diserap dan digunakan oleh tanaman untuk membentuk senyawa dengan struktur dan fungsi berbeda. Bakteri Rhizobium merupakan bakteri yang mempunyai kemampuan untuk mengubah dapat memanfaatkan nitrogen bebas di udara dan mengubahnya menjadi amonia (NH_3) dan akan menjadi asam amino yang kemudian menjadi senyawa nitrogen yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh dan berkembang, sedangkan Rhizobium dengan

BAB 10

AZOLLA DAN GANGGANG

A. Tumbuhan Azolla

Nama Genus Azolla diciptakan oleh naturalis Prancis Jean-Baptiste Lamarck pada tahun 1783 berdasarkan spesimen yang dikumpulkan oleh Philibert Commerson dan asistennya Jeanne Baré dari wilayah Magellan Amerika Selatan selama ekspedisi Louis-Antoine de Bourgainville tahun 1766-1769. Secara tradisional nama Azolla mengacu pada konjugasi dari dua kata Yunani, azo (mengeringkan) dan allyo (membunuh), karena pakis ini akan mati karena kekeringan. Spesimen Azolla pertama kali dikumpulkan dan dibuat oleh Commerson di Argentina dan Chili 1766 (Azolla Foundation, 2023), Azolla sp. adalah tumbuhan paku terapung atau semi-akuatik yang terdiri dari batang pendek, bercabang, berdaun kecil, dengan daun tumpang tindih dengan lobus terendam, akar menggantung di bawah permukaan air. Lobus masing-masing terdiri dari lobus punggung atau lobus dorsal berklorofil, dengan rongga ovoid dengan Cyanobacteria berfilamen pengikat nitrogen dan lobus ventral tipis, tidak berwarna (Azolla Foundation, 2023).

Pigmen antosianin memberi warna coklat sampai kemerahan pada Azolla. Diameter tanaman berkisar antara 1 sampai 2.5 cm untuk jenis Azolla pinnata, dan sampai ≥ 15 cm A. nilotica. Tumbuhan Azolla berbentuk segitiga atau poligonal, dan mengambang di permukaan air, baik secara individu maupun mengumpul sehingga tampak seperti tikar atau karpet yang berwarna hijau tua sampai warna coklat dan kemerahan. Warna pada Azolla disebabkan karena adanya pigmen yang berwarna hijau (klorofil) dan pigmen antosianin. Azolla nilotica

BAB 11

DAMPAK BIOTEKNOLOGI TANAH PADA PENGELOLAAN LINGKUNGAN

A. Pengantar Bioteknologi Tanah dan Pengelolaan Lingkungan

1. Definisi dan Sejarah Bioteknologi Tanah

Bioteknologi tanah adalah cabang dari bioteknologi yang memanfaatkan organisme hidup, khususnya mikroorganisme dalam tanah, untuk menciptakan atau memodifikasi produk atau proses untuk penggunaan tertentu (Lynch, 1983). Teknik ini mencakup berbagai metode seperti bioremediasi (menggunakan mikroorganisme untuk membersihkan polutan), bioaugmentasi (menambahkan mikroorganisme ke lingkungan untuk meningkatkan proses biologis), dan bioindikasi (menggunakan organisme hidup sebagai indikator kesehatan lingkungan).

Sejarah bioteknologi tanah dapat ditelusuri kembali ke awal peradaban manusia ketika pertanian pertama kali diperkenalkan. Petani zaman dulu mungkin tidak menyadari bahwa mereka sedang mempraktikkan bentuk awal dari bioteknologi tanah ketika mereka menambahkan kompos dan pupuk alami ke ladang mereka, tetapi pada dasarnya itulah yang mereka lakukan (Vogt, 2007).

Pengetahuan tentang mikroorganisme dalam tanah dan bagaimana mikroorganisme dapat dimanfaatkan secara efektif dalam konteks teknis hanya berkembang selama abad ke-20. Penemuan penicillin oleh Alexander Fleming pada tahun 1928 adalah salah satu momen paling penting dalam sejarah ini karena menunjukkan betapa pentingnya mikroba bagi kehidupan manusia (Derderian, 2007).

DAFTAR PUSTAKA

- Adebayo, F.O., & Obiekezie, S.O. (2018). Microorganisms in waste management. *Research Journal of Science and Technology*, 10(1): 28-39.
- Adeniyi, O.M., Azimov, U. & Burluka, A. (2018). 'Algae biofuel: current status and future applications', *Renewable and sustainable energy reviews*, 90: 316–335.
- Adnyana, G. M. (2012). Mekanisme Penambatan Nitrogen Udara oleh Bakteri Rhizobium Menginspirasi Perkembangan Teknologi Pemupukan. *Organik yang Ramah Lingkungan. Agrotrop*, 2(2): 145-149.
- Agrikrit. (2023). Azolla :uses, benefits and cultivation in details. <https://agrikrit.com/azolla-cultivation/>, 29 Juli 2023.
- Agusni, M. & Satriawan, H. (2014). Pengaruh olah tanah dan pemberian pupuk kandang terhadap sifat fisik tanah dan produksi tanaman jagung. *Lentera*. 14 (11): 1-6.
- Aji, B.S., Triana, D.A.O., Listuaningrum, T.A., Yanto, P.N.F. (2020). *Pupuk Organik Cair Cosiwa*. Pacitan: Cosiwa.
- Alegre, J.L., Pashanasi, B., & Lavelle, P. (1996). Dynamics of soil physical properties in Amazonian agroecosystems inoculated with earthworms. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60: 1522-1529.
- Ali, N.A., & Jackson R.M. (1988). Effects of plant roots and their exudates on germination of spores of ectomycorrhizal fungi. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 91: 253–260.
- Angers, D.A. & Mehuys G.R. (1990) Barley and alfalfa cropping effects on carbohydrate contents of a clay soil and its size fractions. *Soil Biol Biochem* 22(3): 285-288.
- Anggriani, R., & Non Shamdas, G.B. (2017). Pengaruh Rhizobium asal tanah bekas tanaman kedelai (*Glycine Max L.*) terhadap pertumbuhan kedelai berikutnya untuk pemanfaatannya sebagai media pembelajaran. *Jip Biol*, 5(2), 1.

- Ansori, A. & Gholami, A. (2015) 'Improved nutrient uptake and growth of maize in response to inoculation with *Thiobacillus* and Mycorrhiza on an alkaline soil', *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(17): 2111–2126.
- Anthony, M.A., Bender, S.F., & van der Heijden, M.G. (2023). Enumerating soil biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(33): e2304663120.
- Arifin, Z. & Krismawati, A. (2009). *Pemanfaatan Azolla Sebagai Pupuk Organik*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Jawa Timur.
- Arpinda. (2015). Pengaruh Dosis Pupuk Kandang Kotoran Sapi Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Ubi Jalar (*Ipomea Batatas L.*). *Skripsi Faperta Universitas Andalas Padang*; 41 hlm
- Asril, M., Lestari, W., Sanjaya, B.M.F., Firgiyanto, R., Sudewi, B.M.S., Paulina, M.K.S.M., dan Kunusa, W.R. (2023). Mikroorganisme Pelarut Fosfat pada Pertanian Berkelanjutan. Yayasan Kita Menulis.
- Audenaert, K., Pattery, T., Cornelis, P., Höfte, M. (2002) 'Induction of systemic resistance to *Botrytis cinerea* in tomato by *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2: role of salicylic acid, pyochelin, and pyocyanin', *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 15(11): 1147–1156.
- Azolla Foundation, (2023). Azolla. <https://theazollafoundation.org/azolla/the-azolla-anabaena-symbiosis-2/>, 29 Juli 2023)
- Bagyaraj DJ (1992) *Methods in Microbiology*, Vol. 24, Academic Press, London, pp. 359-374.
- Bagyaraj DJ (2011) *Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture, Horticulture and Forestry*, New India Publishing Agency, New Delhi
- Bagyaraj DJ (2014). Mycorrhizal Fungi. *Proceedings of the Indian National Science Academy · India*.

- Bano, S.A., & Ashfaq, D. (2013). Role of mycorrhiza to reduce heavy metal stress. *Natural Science*, 2013.
- Barrios, E. (2007). Soil Biota, Ecosystem Services and Land Productivity. *Ecological Economics*, 64 (2): 269-285.
- Bashan, Y., Puente, M.E., Myrold, D.D., & Tolego, G., (1998) 'In vitro transfer of fixed nitrogen from diazotrophic filamentous cyanobacteria to black mangrove seedlings', *FEMS Microbiology Ecology*, 26(3): 165-170.
- Berch, S.M., Miller, O.K. Jr. & Thiers, H.D. (1985). Proc 6th North American Conf on Mycorrhizae, Oregon State University Forest Research Laboratory, Corvallis, pp 189.
- Bhatia, S., & Dahiya, R. (2015). Laws in plant biotechnology. *Modern Applications of Plant Biotechnology in Pharmaceutical Sciences*, 369-391.
- Bhattacharyya, S.S., & Karolina, F. (2022). Soil-Plant-Microbe Interactions Determine Soil Biological Fertility by Altering Rhizospheric Nutrient Cycling and Biocrust Formation. *Sustainability*, 15 : 625-651. DOI:10.3390/su15010625. (Diakses 15 September 2023).
- Bhuvaneshwari, K. & Singh, P.W. (2015). Response of nitrogen-fixing water fern *Azolla* biofertilization to rice crop. *Biotechnology*, 5: 523-529.
- Bocchi, S. & Malgioglio, A. (2010) *Azolla-Anabaena* as a Biofertilizer for Rice Paddy Fields in the Po Valley, a Temperate Rice Area in Northern Italy. *International Journal of Agronomy*, Hindawi Publishing Corporation, Volume 2010: 1-5.
- Bondesson, P. M., Galbe, M., & Zacchi, G. (2013). Ethanol and biogas production after steam pretreatment of corn stover with or without the addition of sulphuric acid. *Biotechnology for biofuels*, 6: 1-11.
- Boro, M., Sannyasi, S., Chettri, D., & Verma, A.K. (2022). Microorganisms in biological control strategies to manage

- microbial plant pathogens: a review. *Archives of Microbiology*, 204(11): 666.
- Boulter, J.I., Trevors, J.T. & Boland, G.J. (2002). 'Microbial studies of compost: bacterial identification, and their potential for turfgrass pathogen suppression', *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18: 661-671.
- Brackin, R., Susanne, S., David, W., Shamsul, B., Scott, B., & Jay, A. (2017). Soil Biological Health – What Is It and How can We Improve It? *Proc. Aus. Soc. Sugar Cane Technol.*, 39: 141-154.
- Buikema, W.J., & Haselkorn, R. (1991). Isolation and complementation of nitrogen fixation mutants of the cyanobacterium *Anabaena* sp. Strain pcc 7120. *Journal of Bacteriology*. 173(6): 1879-1885.
- Buttel, F. H. (2014). Biotechnology and agricultural development in the Third World. In *The Food Question* (pp. 163-180). Routledge.
- Cakmakci, R., Dönmez, M.F. & Erdoğan, Ü. (2007) 'The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts', *Turkish journal of agriculture and forestry*, 31(3): 189-199.
- Cardon, Z. G., & Whitbeck, J. L. (Eds.). (2011). *The rhizosphere: an ecological perspective*. Elsevier.
- Chen, J.H. (2006) 'The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility', in *International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use*. Citeseer, pp. 1-11.
- Chen, W.-M. et al. (2001) '*Ralstonia taiwanensis* sp. nov., isolated from root nodules of *Mimosa* species and sputum of a cystic fibrosis patient.', *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51(5), pp. 1729-1735.

- Corona, M. E. P, Klundert, I.V.D & Verhoeven, J.T.A. (1996). 'Availability of organic and inorganic phosphorus compounds as phosphorus sources for *Carex* species', *New Phytologist*, 133(2): 225-231.
- Cotter, H.V. (2014). Phycokey-Anabaena Images. <https://www.google.com/search?q=Henry+van+Cotter%2C+2014.+Phycokey-Anabaena+Images>, diakses 18 Agustus 2023.
- Crist, E., Mora, C., & Engelman, R. (2017). The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science*, 356(6335): 260-264.
- Curry, J.P. & J.A. Good. (1992). Soil fauna degradation and restoration. *Advances in Soil Science*. 17: 171-215.
- Dadan, A., & Alamsyah, T. (2021). Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Pakan dalam Budidaya Cacing *Lumbricus Rubellus* di Kampung Cikoneng Desa Cibiru Wetan Kabupaten Bandung. *Proceedings Uin Sunan Gunung Djati. Bandung. Indonesia* 1(3).
- Dandessa, C., & Bacha, K. (2018). Review on Role of Phosphate Solubilizing Microorganisms in Sustainable Agriculture. *International Journal of Current Research and Academic Review*, 6(11): 48-55.
- Dash, N., Pahari, A., & Dangar, T. Kanti. (2017). Functionalities of Phosphate-Solubilizing Bacteria of Rice Rhizosphere: Techniques and Perspective. In *Recent advances in Applied microbiology*, pp.151-163.
- Davey, M. E., & O'toole, G. A. (2000). Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics. *Microbiology and molecular biology reviews*, 64(4): 847-867.
- David, F., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, J.N., Cape, J.N., Reis, S., Sheppard, L.J., Jenkins, A., Grizzetti, B., Galloway, J.N., Vitousek, P., Leach, A., Bouwman, A.F., Butterbach-Bahl, K., Dentener, F., Stevenson, D., Amann, M., & Voss, M. (2013). *The Global Nitrogen Cycle in The Twenty-first Century*.

- Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 368 (1621): 20130164.
- Decaëns, T., Jiménez, J.J., Gioia, C., Measey, G.J., & Lavelle, P. (2006). The Values of Soil Animals for Conservation Biology. *European Journal of Soil Biology*, 42: S23-S38.
- Derderian, S. L. (2007). Alexander Fleming's miraculous discovery of Penicillin. *Rivier academic journal*, 3(2): 1-5.
- Dewi, A. I. R. (2007). Fiksasi N Biologis Pada Ekosistem Tropis. Program Pasca Sarjana Universitas Padjadjaran Bandung. Hal. 37-38.
- Dewi, W.S. (2007). "Dampak Alih Guna Hutan Menjadi Lahan Pertanian: Perubahan Diversitas Cacing Tanah dan Fungsinya dalam Mempertahankan Pori Makro Tanah", Skripsi, (Malang : Program Pasca Sarjana Fakultas Pertanian Unibraw.
- Eaton, W.M., Gasteyer, S.P., & Busch, L. (2014). Bioenergy futures: framing sociotechnical imaginaries in local places. *Rural sociology*, 79(2): 227-256.
- Edwards, W.M., Shipitalo, M.J., Owens, L.B., & Dick, W.A. (1993). Factors affecting preferential flows of water and atrazine through earthworms burrows under continuous no-till corn. *J. Environ. Qual.*, 22:452-457.
- Emerson, W.W., Foster R.C., & Oades, J.M. (1986). Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure. Hlm. 521-548. Dalam P.M. Huang dan M. Schnitzer (Ed.). *Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes*. SSSA Special Publ. No. 17. SSSA, Inc., Madison.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2020). State of Knowledge of Soil Biodiversity - Status, Challenges and Potentialities, Summary for policy makers. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1929en>.
- Firmansyah, A.M. (2010). Teknik Pembuatan Kompos. Kalimantan Tengah: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian.

- Fitriatin, B. N., Yuniarti, A., Turmuktini, T., & Ruswandi, F. K. (2014). The effect of phosphate solubilizing microbe producing growth regulators on soil phosphate, growth and yield of maize and fertilizer efficiency on Ultisol. *Eurasian Journal of Soil Science (Ejss)*,3(1): 101-107.
- Fitri, N., Nida, Q., Mulyono, S. (2015). Populasi Cacing Tanah Di Kawasan Ujung Seurudong Desa Sawang Ba'u Kecamatan Sawang Kabupaten Aceh Selatan. Hal 187-189. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*. Indonesia.
- Fortin JA, Becard G, Declerck S, Dalpe Y, St-Arnaud M, Coughlan AP, Piche Y. (2002). Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures : A review. *Can. J. Bot.* 80: 1-20.
- Friedel, J.K., Gabel, D. (2001) Nitrogen pools and turnover in arable soils under different durations of organic farming: I: Pool sizes of total soil nitrogen, microbial biomass nitrogen, and potentially mineralizable nitrogen. *J Plant Nutr Soil Sci* 164(4): 415-419.
- Garcia-Fraile, P., Menéndez, E., & Rivas, R. (2015). Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *AIMS Bioengineering*, 2(3), 183-205.
- Garg, R. And Maldener, I., (2021). The Formation of Spore-Like Akinetes: A Survival Strategy of Filamentous Cyanobacteria. *Microb Physiol* , 31(3): 296-305.
- Gatiboni, L.. (2003). Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, pp. 231.
- Gerdemann JW (1975) *The Development and Function of Roots*, Academic Press, New York, USA, pp 575-591.
- Giri, B., Prasad, R., Wu, Q.S., Varma, A. (2019) *Biofertilizers for sustainable agriculture and environment*. Springer.
- Giri, B., Kapoor, R., & Mukerji, K.G. (2005). Effect of the arbuscular mycorrhizae *Glomus fasciculatum* and *G. macrocarpum* on

the growth and nutrient content of *Cassia siamea* in a semi-arid Indian wasteland soil. *New forests*, 29, 63-73.

- Giridhar, K., Elangovan, A.V., Khandekar, P., Sharangouda, & Sampath, K.T. (2012). Cultivation and use of *Azolla* as nutritive feed supplement for the livestock. *Indian Farming* 62 : 20-22.
- Gischa S. (2020). Kesuburan Tanah: Ciri dan Cara Merawatnya Halaman all - Kompas.com. Diakses pada 21 Agustus 2023
- Golden, JW. & Yoon, HS. (2003). Heterocyst development in *Anabaena*. *Current Opinion in Microbiology.*, 6: 557-563
- Greene, C. (2002). Recent growth patterns in the US Organic foods market, *USDA Econ Res Serv Agr Info*, 777, p. 42.
- Gunawan, I. (2014). Kajian peningkatan peran *Azolla* sebagai pupuk organik kaya nitrogen pada padi sawah. *Jurnal penelitian Pertanian Terapan*, volume 14(2): 134-138
- Gutiérrez - Mañero, F. J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouchi, J., Tadeo, F.R., Talon, B. (2001). 'The plant - growth - promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins' , *Physiologia Plantarum*, 111(2): 206-211.
- Hairiah, K., Widiyanto, S.R., Utami, D., Suprayogo, Sunaryo, Sitompul, S.M., Lusiana, B., Mulia, R., van Noordwijk, M., & Cardisch, G. (2000). Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara. ICRAF SE Asia, Bogor, 182 p.
- Hamdali, H., Hafidi, M., Virolle, M.J., & Ouhdouch, Y. (2008). Growth promotion and protection against damping-off of wheat by two rock phosphate solubilizing actinomycetes in a P-deficient soil under greenhouse conditions. *Appl. Soil Ecol.* 40 :510-517.

- Hamid, B., & Bashir, Z. (2019). Potassium solubilizing microorganisms: an alternative technology to chemical fertilizers. *J. Resear. Develop.*, 19: 79-84.
- Hanafiah, K.A., Anas, I., Napoleon, A., & Ghoffar, N. (2003). *Biologi Tanah. Ekologi dan Makrobiologi Tanah*. Divisi Buku Perguruan Tinggi. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Hardjowigeno, S. & Widiatmaka (2007). *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Harfouche, A.L., Petousi, V., Meilan, R., Sweet, J., Twardowski, T., & Altman, A. (2021). Promoting ethically responsible use of agricultural biotechnology. *Trends in Plant Science*, 26(6): 546-559.
- Harley JL. (1969). *The Biology of Mycorrhizae*. 2nd Edition. Leonard Hill, London.
- Harmatang, S. (2011). *Isolasi dan karakterisasi bakteri simbiosis pada cacing tanah Pheretima sp dari berbagai substrat*. Skripsi. FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Hasan, M.R. & Chakrabarti, R. (2009). Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale Aquaculture : a review. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical*. FAO UN.
- Hayat, R. Ali, S., Amara, U., Khalid, R., Ahmed, I. (2010) 'Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review', *Annals of microbiology*, 60, pp. 579-598.
- Hazra, F., & Susanti, W.I. (2019). *Panduan Praktikum Bioteknologi Tanah*.
https://www.researchgate.net/publication/333805336_Panduan_Praktikum_Bioteknologi_Tanah IPB University. Bogor.
- Heaton, S. (2001). *Organic farming, food quality and human health*. Soil Assn. UK.

- Hidayatulloh N & Setiawati TC. (2022). Uji aktivitas bakteri pelarut fosfat terhadap kelarutan fosfat pada tanah salin. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 9(2): 201-212.
- Hill. B.S. (2004). Soil fauna and agriculture : Past findings and future priorities. EAP Pub. 25. 8pgs. <http://eap.mcgill.ca/Publications/eap-head.htm> (21-4-2007).
- Hill, D.J. (1977). The role of *Anabaena* in the *Azolla*-*Anabaena* Symbiosis. *New Phytologist*, 78, 611-616.
- Hindersah, R., Rostini, N., Harsono, A., dan Kalay, A.M. (2019). Role of *Azotobacter's* Exopolysaccharide and Organic Matter on Increasing Nodulation and Biomass of Soybean Grown on Two Soil Order. *J. Agron. Indonesia* 47(2):156-162.
- Hong, T.Y., Cheng, C.W., Huang, J.W., Meng, M. (2002). Isolation and biochemical characterization of an endo-1,3- β -glucanase from *Streptomyces sioyaensis* containing a C-terminal family 6 carbohydrate-binding module that binds to 1,3- β -glucan. *Microbiology*. 148:1151-1159.
- Huda, M.S., Widaryanto, E., & Nugroho, A. (2016). Pengaruh Beberapa Dosis Kompos dan *Azolla* (*Azolla pinnata*) Segar pada Pertumbuhan dan Hasil 2 Varietas Tanaman Wortel (*Daucus carotta* L). *Jurnal Produksi Tanaman*. 4(6): 431-437.
- Hultberg, M., Alsanius, B. & Sundin, P. (2000) 'In vivo and in vitro interactions between *Pseudomonas fluorescens* and *Pythium ultimum* in the suppression of damping-off in tomato seedlings', *Biological Control*, 19(1): 1-8.
- Incardona, J. P., Swarts, T. L., Edmunds, R. C., Linbo, T. L., Aquilina-Beck, A., Sloan, C. A., & Scholz, N. L. (2013). Exxon Valdez to Deepwater Horizon: comparable toxicity of both crude oils to fish early life stages. *Aquatic toxicology*, 142: 303-316.
- Indriani, Y. H., (2005). *Membuat Kompos Secara Kilat*, Jakarta, Penebar Swadaya.

- Indriyani, Y.A. (2017). Mikoriza dan Peranannya Dalam Dunia Pertanian. Keanekaragaman Hayati. IPB.
- Ingham, E.R. (2001). The food web and soil health. Soil Biology Primer [online]. Available on: www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/soil_biology_primer.html.
- Ingham, E.R. (2004). Soil: Bacteria. Soil Biology Primer. Available on http://soils.usda.gov/sqi/concepts/soil_biology/bacteria.html
- Irawan, A. F., Baskara, G., Wandri, R., & Asmono, D. (2020). Isolation and solubilisation of inorganic phosphate by Burkholderia spp. from the rhizosphere of oil palm. Pakistan Journal of Biological Sciences, 23(5): 667–673.
- Ishak, L. (2022). Biologi Tanah. Syiah Kuala University Press. Aceh. <https://books.google.co.id>.
- Jakobsen, I., Leggett, M.E. & Richardson, A.E. (2005). 'Rhizosphere microorganisms and plant phosphorus uptake', Phosphorus: agriculture and the environment, 46: 437–494.
- Jangid, M.K., Khan, I.M. & Singh, S. (2012) 'Constraints faced by the organic and conventional farmers in adoption of organic farming practices', Indian Research Journal of Extension Education, 2, pp. 28–32.
- Johnson, D., Vandenkoornhuyse, P.J., Leake, J.R., Gilbert, L., Booth, R.E., Grime, J.P., & Read, D. J. (2004). Plant communities affect arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community composition in grassland microcosms. New phytologist, 161(2): 503-515.
- Julendra, H dan Sofyan, A. (2007). Uji in vitro penghambatan aktivitas Escherichia coli dengan tepung cacing tanah (Lumbricus rubellus). Media Peternakan, 30 (1): 41-47.
- Kalay, A.M., Hindersah, R., Ngabalin, I.A., Jamelean, M. (2020). Pemanfaatan Pupuk Hayati Bahan Organik terhadap

- Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung Manis (*Zea mays saccharata*). *J. Agric.* 32 (2): 129-138.
- Kannaiyan, S. (2002). 'Biotechnology of biofertilizers: Alpha Science Int'l Ltd', UK, pp. 1-375.
- Karlen, D.L., Stott, D.E. (1994). A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment. Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA (Eds.) SSSA Special Publ 35 Soil Sci Soc Amer, Madison, WI, p. 53-72.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., & Schuman, G.E. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61 (1), 4-10.
- Keese, P. (2008). Risks from GMOs due to horizontal gene transfer. *Environmental biosafety research*, 7(3): 123-149.
- Khan, A. G. (2005). Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *Journal of trace Elements in Medicine and Biology*, 18(4): 355-364.
- Kibblewhite, M.G., Ritz, K., & Swift, M.J. (2008). Soil Health in Agricultural Systems. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 363: 685-701.
- Klironomos, J.N. & Hart, M.M. (2002) 'Colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi using different sources of inoculum', *Mycorrhiza*, 12, pp. 181-184.
- Kolaříková, Z., Slavikova, R., Krüger, C., Krüger, M., & Kohout, P. (2021). PacBio sequencing of Glomeromycota rDNA: a novel amplicon covering all widely used ribosomal barcoding regions and its applicability in taxonomy and ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 231(1): 490-499.
- Krishnamurthy, K.V, & Senthilkumar, S. (2005). *Mycorrhiza: Role and Applications*, Allied Publishers Pvt Ltd, New Delhi, pp 66-90.

- Kulshreshtha, A., Agrawal, R., Barar, M., & Saxena, S. (2014). A review on bioremediation of heavy metals in contaminated water. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(7): 44-50.
- Kuncarawati, I.K., Husen, S., Rukhiyat, M. (2003). Aplikasi Teknologi Pupuk Organik Azolla pada Budidaya Padi Sawah di desa Tegal Gondo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang. *Jurnal Dedikasi*, 1(1): 94-99.
- Kurrey, D.K., Lahre, M.K. & Pagire, G.S. (2018). 'Effect of Azotobacter on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.)', *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1): 1171-1175.
- Las, I. (2009). Revolusi hijau lestari untuk ketahanan pangan ke depan. *Tabloid Sinat Tani*, 14, 1-5.
- Lavelle, P. (1997). Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies that Determine Ecosystem Function. *Adv. Ecol. Res.*, 27: 93-132.
- Lestari, S.U., Mutryarny, E., Susi, N., (2019). Uji kimia Kompos Azolla mycrophylla dan Pupuk organik Cair (POC) Azolla mycrophylla, *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 5(2): 121-127.
- Liebig, M.A., & Doran J.W. (1999) Impact of organic production practices on soil quality indicators. *J Environ Qual* 28(5): 1601-1609.
- Lingga, P & Marsono. (2010). *Petunjuk Pupuk. Seri Agritekno.* Jakarta.
- Lugtenberg, B. & Kamilova, F. (2009) 'Plant-growth-promoting rhizobacteria', *Annual review of microbiology*, 63: 541-556.
- Lumpkin, T. A. & Plucknett, D. L., (1980). Azolla: Botany, physiology, and use as a green manure. *Economic Botany*, 34 (2): 111-153
- Lumpkin, T. A. & Plucknett, D. L., (1985). Azolla, a low cost aquatic green manure for agricultural crops. In: Office of Technology

Assessment, Innovative biological technologies for lesser developed countries : workshop proceedings, 107-124

- Lynch, J.M. (1983). *Soil Biotechnology, Microbial Factor in Crop Productivity*. Blackwell Sci. Publ. Oxford London.
- Ma, Y., & Liu, Y. (2019). Turning food waste to energy and resources towards a great environmental and economic sustainability: An innovative integrated biological approach. *Biotechnology Advances*, 37(7): 107414.
- Maftuchah dan Winaya, A. (2000). Komposisi Media Tumbuh Untuk Asosiasi Azolla-Anabaena azollae. *Pusat Bioteknologi Pertanian, Universitas Muhammadiyah Malang*. 7(1):1-5.
- Mai, C. T. N., Linh, N. V., Lich, N. Q., Ha, H. P., Van Quyen, D., Tang, D. Y. Y., & Show, P. L. (2021). Advanced materials for immobilization of purple phototrophic bacteria in bioremediation of oil-polluted wastewater. *Chemosphere*, 278, 130464.
- Maintang dan Warda. (2021). Pengaruh Aplikasi Trichoderma sp. Terhadap Hasil Dan Penekanan Penyakit Moler Pada Tanaman Bawang Merah Di Lahan Kering Pada Musim Penghujan. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 24(1): 1-11.
- Malusà, E., Pinzari, F. & Canfora, L. (2016) 'Efficacy of biofertilizers: challenges to improve crop production', *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity: Vol. 2: Functional Applications*, pp. 17-40.
- Manyuchi, M. M., Mbohwa, C., & Muzenda, E. (2018). Potential to use municipal waste bio char in wastewater treatment for nutrients recovery. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 107: 92-95.
- Maritz, J. M., Ten Eyck, T. A., Elizabeth Alter, S., & Carlton, J. M. (2019). Patterns of protist diversity associated with raw sewage in New York City. *The ISME journal*, 13(11): 2750-2763.

- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed. Elsevier Ltd. London.
- Matenggomena. (2013). Perubahan serapan nitrogen tanaman jagung dan kadar Al-dd akibat pemberian kompos tanaman legum dan nonlegum pada Inseptisols Napu. *Jurnal Agroland* 7 (1): 23-29
- McNear Jr, D. H. (2013). *The Rhizosphere-Roots. Soil and Everything In*.
- Meeks, J.C. & Elhai, J. (2002). Regulation of cellular differentiation in filamentous cyanobacteria in free-living and plant-associated symbiotic growth states. *Microbiology and Molecular Biology Reviews.*, 66(1): 94-121.
- Meena, V.S., Maurya, B.R. & Verma, J.P. (2014) 'Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils?', *Microbiological research*, 169(5-6): 337-347.
- Michael, A., Kertesz, & Pascal, M. (2004). The role of Soil Microbes in Plant Sulphur Nutrition. *Journal of Experimental Botany*, 55 (404): 1939-1945.
- Mishbach, I., Permatasari, N.S., Zainuri, M, (2022). Potensi Mikroalga *Anabaena* sp. Sebagai Bahan Utama Bioetanol. *Ekotonia: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi dan Mikrobiologi*, 7(1): 69-76.
- Mishra, P. & Dash, D. (2014). 'Rejuvenation of biofertilizer for sustainable agriculture and economic development', *Consilience*, (11): 41-61.
- Morario. (2009). "Komposisi dan Distribusi Cacing Tanah di Kawasan Perkebunan Kelapa Sawit", *Jurnal Perkebunan*, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Mosse, B. (1981). *Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Research for Tropical Agriculture*, Honolulu University of Hawaii Press, Hawaii, USA.

- Mourad, M. (2016). Recycling, recovering and preventing “food waste”: Competing solutions for food systems sustainability in the United States and France. *Journal of Cleaner Production*, 126: 461-477.
- Muharram, S. (2020). Kebijakan “Revolusi Hijau” Paman Birin dalam Menjaga Kerusakan Lingkungan di Provinsi Kalimantan Selatan. *JAKPP (Jurnal Analisis Kebijakan & Pelayanan Publik)*, 49-64. <https://doi.org/10.31947/jakpp.v6i1.9957>
- Narendra, B.H. (2020). Pengaruh mikoriza dan rhizobium terhadap pertumbuhan bibit kaliandra (*Calliandra calothyrsus* Meissn). *Forest Research and Development Agency*, April.
- Nash, P. R., Motavalli, P. P. & Nelson, K. A. (2012) ‘Nitrous oxide emissions from claypan soils due to nitrogen fertilizer source and tillage/fertilizer placement practices’, *Soil Science Society of America Journal*, 76(3): 983–993.
- Naylor, D., Sadler, N., Bhattacharjee, A., Graham, E. B., Anderton, C. R., McClure, R., & Jansson, J. K. (2020). Soil microbiomes under climate change and implications for carbon cycling. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1): 29-59.
- NCRS. (2004). *Soil Biology and Land Management. Soil Quality – Soil Biology Technical Note No. 4*. Available on : <http://soils.usda.gov/>.
- Ngampimol, H. & Kunathigan, V. (2008). ‘The study of shelf life for liquid biofertilizer from vegetable waste’, *AU JT*, 11(4): 204–208.
- Nielsen, K.B., Kjoller, R., Bruun, H.H., Schnoor, T.K., & Rosendahl, S. (2016). Colonization of New Land by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Fungal Ecology*, 20: 22-29.
- Nielsen, U. N., Wall, D. H., & Six, J. (2015). Soil biodiversity and the environment. *Annual review of environment and resources*, 40, 63-90.

- Ningsih, W., Hadiyah, I., & Suhardjadinata, S. (2020). Pengaruh inokulasi *Rhizobium phaseoli* dan pupuk urea terhadap pertumbuhan dan hasil kacang hijau (*Vigna radiata* L.). *Media Pertanian*, 5(2), 63–72.
- Nurhidayati, F., Subandiyah, S., & Widiyastuti A. (2022). Isolasi Bakteri Pelarut Silika yang Berpotensi Antagonis terhadap *Fusarium acutatum* dari Rizosfer Bawang Merah Daerah Endemik Penyakit Moler (ugm.ac.id). Diakses pada tanggal 22 Agustus 2023
- Nurmaningsih & Syamsussabri, M. (2021). Komposisi dan Distribusi Cacing Tanah (*Lumbricus terrestris*) di Daerah Lembab dan Daerah Kering. *Indonesian Journal of Engineering*. Mataram. Indonesia. 2(1): 01-09.
- Oberholtzer, L., Dimitri, C., & Greene C (2005) Price premiums hold on as US organic produce market exp Dimitri C and USDA Economic Res Serv VGS 308-01.
- Pande, A., Pandey, P., Mehra, S., Singh, M., Kausik, S. (2017) 'Phenotypic and genotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria and their efficiency on the growth of maize', *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15(2): 379–391.
- Pandey, B., & Fulekar, M.H. (2012). Bioremediation technology: a new horizon for environmental clean-up. *Biology and Medicine*, 4(1): 51.
- Pane, R.D.P., Ginting, E. N., & Hidayat, F. (2022). Mikroba pelarut fosfat dan potensinya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 27(1), 51-59.
- Parmelee, R.W., Beare, M.H. Cheng, W. Hendrix, P.F. Rider, S.J. Crossley Jr., D.A. & Coleman, D.C. (1990). Earthworm and Enchytraeids.
- Parniske M. (2008). Arbuscular mycorrhiza : the mother of plant root endosymbiosis. *Nature Review Microbiol.* 6:763-775.

- Parthiban, P. (2018). Genetic Improvement of Fungal Pathogens. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 8(1): 3–8. <https://doi.org/10.15406/apar.2018.08.00283>
- Pattipeilohy, M., & Sopacua, R. (2014). Pengaruh inokulasi bakteri *Rhizobium japonicum* terhadap pertumbuhan kacang kedelai (*Glycine max* L). *BIOPENDIX: Jurnal Biologi, Pendidikan dan Terapan*, 1(1), 49–55.
- PDIN-BATAN (2023). Azzola Pabrik Mini Nitrogen. Media Informasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Jakarta. www.batan.go.id / www.infonuklir.com 29 Juli 2023.
- Pindi, P.K. & Satyanarayana, S.D.V. (2012). 'Liquid Microbial Consortium-A Potential Tool for Sustainable Soil Health. *J Biofertil Biopestici*, 3 (124)'.
- Pirttilä, A.M., Tabas, H.M.P., Baruah, N., & Koskimäki, J.J. (2021). Biofertilizers and biocontrol agents for agriculture: How to identify and develop new potent microbial strains and traits. *Microorganisms*, 9(4): 817.
- Plaster, E.J. (2013). *Soil Science and Management*. 6th ed. Delmar, Cengage Learning. USA.
- Poovarasana, S., Mohandas, S., Paneerselvam, P., Saritha, B., & Ajay, K.M. (2013). Mycorrhizae colonizing actinomycetes promote plant growth and control bacterial blight disease of pomegranate (*Punica granatum* L. cv Bhagwa) *Crop Prot.* 53:175–181.
- Pratiwi, N.T.M., Ayu, I.P., Hariyadi, S., Nursiyamah, S., Sulaiman, G.S.A., Iswantari, A. (2016). Dinamika Sel Heterokis *Anabaena azollae* dalam Media Tumbuh dengan Konsentrasi Nitrogen Berbeda. *Jurnal Biologi Indonesia* 12(2): 291-296.
- Pulungan, M. R. D., Tobing, O. L., & Mulyaningsih, Y. (2021). Pengaruh Pemberian Ekstrak Gulma *Azolla Pinnata* Dan Lama Perendaman Air Kelapa Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Kacang Tanah. *Jurnal Agronida*, 7 (1): 45-53.

- Putra, D.F., Soenaryo, Tyasmoro, S.Y. (2013). Pengaruh Pemberian Berbagai Bentuk Azolla Dan Pupuk N Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung Manis (*Zea mays* var. *saccharata*). *Jurnal Produksi Tanaman*, 1(4): 353-360.
- Purwaningsih, O. (2012). Tanggapan Tanaman Kedelai terhadap Inokulasi Rhizobium. *Agrotrop*, 2(1)(1), 25-32.
- Purwaningsih, S. (2009). Populasi bakteri rhizobium di tanah pada beberapa tanaman dari Pulau Buton, Kabupaten Muna, Propinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Tanah Tropika*, 14(1), 65-70.
- Purwaningsih, S. (2015). Pengaruh inokulasi rhizobium terhadap pertumbuhan tanaman kedelai (*Glycine max* L) varietas wilis di rumah kaca [Effect of Rhizobium Inoculation on The Growth of *Glycine max* L. Wilis variety in Green House]. *Berita Biologi*, 14(1), 69-76.
- Purwaningsih, S. (2016). Isolasi, populasi dan karakterisasi bakteri pelarut fosfat pada daerah perakaran dan tanah dari Bengkulu, Sumatra. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 13(1), 101.
- Putri, A.Y., & Utami, U. (2020). Studi Bioteknologi Pengendalian Hayati dengan Berbagai Jamur. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 3(1): 543-551.
- Quadratullah, H., Setyawati, T.R., & Yanti, A.H. (2013). Keanekaragaman cacing tanah (*Oligochaeta*) pada tiga tipe habitat di Kecamatan Pontianak Kota. *Protobiont*, 2(2): 56-62.
- Rachman, S. (2002). *Pertanian Organik*, Yogyakarta: Kanisius.
- Rao, D. L. N., Balachandar, D., & Thakuria, D. (2015). Soil biotechnology and sustainable agricultural intensification. *Indian Journal of Fertilisers*, 11(10): 87-105.
- Rao, S.N.S. (2007). *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Reichman, J.H., Uhlir, P.F., & Dedeurwaerdere, T. (2016). Governing digitally integrated genetic resources, data, and literature:

global intellectual property strategies for a redesigned microbial research commons. Cambridge University Press.

- Richardson, A. E. (2001) 'Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants', *Functional Plant Biology*, 28(9), pp. 897–906.
- Ricroch, A., Harwood, W., Svobodová, Z., Sági, L., Hundleby, P., Badea, E. M., & Kuntz, M. (2016). Challenges facing European agriculture and possible biotechnological solutions. *Critical reviews in biotechnology*, 36(5): 875-883.
- Rizqiana, N.F., Ambarwati, E., & Yuwono, N.W. (2006). Pengaruh dosis dan frekuensi pemberian pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan hasil buncis. In *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 13(20):163–178.
- Rodiyah, A. (2022). Keanekaragaman dan kepadatan cacing tanah di perkebunan jeruk semi organik dan anorganik Dusun Kasin Desa Sepanjang Kecamatan Gondanglegi Kabupaten Malang (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Ross, D.J. & Cairns, A. (1982). Effects of earthworms and ryegrass on respiratory and enzyme activities of soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14:583-587.
- Ryan, M.H. & Graham, J.H. (2002) 'Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture?', *Plant and soil*, 244, pp. 263–271.
- Saka. (2016). Analisa Kualitatif dan Kuantatif Pada Senyawa Organik Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. <https://www.saka.co.id/news-detail/analisa-kualitatif-dan-kuantatif-pada-senyawa-organik-menggunakan-spektrofotometer-uv-vis->
- Sakiah & Wahyuni, M. (2018). Analysis of C-Organic, Nitrogen, Phosphorus and Potassium in Application Areas and Without Application of Palm Oil Mill Effluent. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 11(4), 23–27.

- Salam, A.K. (2020). Ilmu Tanah. In Akademika Pressindo.
- Salar, R.K., Purewal, S.S. and Sandhu, K.S. (2017) 'Bioactive profile, free-radical scavenging potential, DNA damage protection activity, and mycochemicals in *Aspergillus awamori* (MTCC 548) extracts: a novel report on filamentous fungi', 3 Biotech, 7, pp. 1-9.
- Samponu Y. (2023). Pembuatan Pupuk Organik Jamur *Trichoderma* di Balai. 1, 69-72. <https://doi.org/10.30598/pattimura-mengabdi.1.3.69-72>
- Samuels GJ, Hebbar PK. (2015). *Trichoderma*, Identification and Agricultural Application. Minnesota (US): APS.
- Sapalina, F., Ginting, E.N., & Hidayat, F. (2022). Bakteri Penambat Nitrogen Sebagai Agen Biofertilizer . WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 27(1): 41-50.
- Saraswati R., Husen, E., Simanungkalit, D.M. (2007). Metode Analisis Biologi Tanah. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. BPPP. Hal 01-291. Departemen Pertanian. Indonesia.
- Sari, R., & Prayudyaningsih, R. (2015). *Rhizobium*: Pemanfaatannya sebagai bakteri penambat nitrogen. Info Teknis EBONI, 12(1): 51-64.
- Sarker, S., Aminul, Md., Rahman, M., et al. (2018). 'From science to action: Exploring the potentials of Blue Economy for enhancing economic sustainability in Bangladesh', *Ocean & Coastal Management*, 157, pp. 180-192.
- Satchell, J.E. & Martin, K. (1984). Phosphatase activity in earthworm faeces. *Soil Biol. Biochem.* 16:191-194.
- Saunders, R.M.K & Fowler. (1993). The supraspecific taxonomi and evolution of the ferm genus *Azolla* (Azollaceae). *Plant Systematics and Evolution* 18(4): 175-193.
- Schmidt, S.M., Belisle, M., & Frommer, W.B. (2020). The evolving landscape around genome editing in agriculture: Many

countries have exempted or move to exempt forms of genome editing from GMO regulation of crop plants. *EMBO reports*, 21(6): e50680.

Schwert, D.P. (1990). *Oligochaeta: Lumbricidae dalam Daniel L. Dindal Soil Biology Guide*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons New York.

Sethi, S.K., Sahu, J.K. and Adhikary, S.P. (2018) 'Microbial biofertilizers and their pilot-scale production', in *Microbial biotechnology*. CRC Press, pp. 312–331.

Setiawan S.R.D. (2022). *Layu Fusarium Tanaman Cabai: Penyebab, Gejala, dan Cara Mengatasinya Halaman all - Kompas.com*. Diakses pada 13 Agustus 2022

Setiawati, M.R., Suryatmana, P., dan Chusnul, A., (2017). Karakteristik *Azolla pinnata* sebagai Pengganti Bahan Pembawa Penambat N₂ dan Bakteri Pelarut P. *Solirens*, 15(1): 46-52.

Sharma, S. (2012). *Bioremediation: features, strategies and applications*. *Asian Journal of Pharmacy and Life Science*, 2231, 4423.

Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., dan Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus*, 2 (1): 1-14.

Simanungkalit, R.D.M., Suriadikarta, D. A., Saraswati, R. Setyorini, D. & Hartatik, W. (2006). *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

Singer, M.J. & Munns, D. (1987). *Soils An Introduction*. Mac Millan Publ. Co., New York.

Singh, I. & Giri, B. (2017). 'Arbuscular mycorrhiza mediated control of plant pathogens', *Mycorrhiza-Nutrient uptake, biocontrol, ecorestoration*, pp. 131–160.

- Singh, B., Kaur, R., & Singh, K. (2008). Characterization of Rhizobium strain isolated from the roots of *Trigonella foenumgraecum* (fenugreek). *African Journal of Biotechnology*, 7(20): 3674–3679.
- Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). *Microbial Symbiosis* 3rd Edition, Academic Press, London.
- Smith, A.R., Pryer, K.M., Schuettpelz, E., Korall, P., Schneider, H., and Wolf, P.G. (2006). A Classification for extant ferns. *Taxon* 55(3): 705-731.
- Smith, S. E. & Read, D. J. (2010) *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press.
- Smolander, A. and Sarsa, M. L. (1990) 'Frankia strains of soil under *Betula pendula*: behaviour in soil and in pure culture', *Plant and Soil*, 122, pp. 129-136.
- Soedharmo, G.G., Tyasmoro, S.Y., & Sebayang, T. (2016). Pengaruh Pemberian Pupuk Azolla dan Pupuk N pada Tanaman Padi (*Oryza sativa*) Varietas Inpari 13. *Jurnal Produksi Tanaman* 4 (2): 145-152
- Sousa C.d.S., Soares A.C.F., Garrido M.D.S. (2008). Characterization of streptomycetes with potential to promote plant growth and biocontrol. *Sci. Agric.* 65:50–55.
- Stephens, J.H.G. & Rask, H.M. (2000) 'Inoculant production and formulation', *Field Crops Research*, 65(2–3): 249–258.
- Stirling, G. (2014). *Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: Soil Ecosystem Management in Sustainable Agriculture*. 2nd ed. www.cabi.org.
- Suarsana, I.M. (2011). Habitat dan Niche Paku Air Tawar (*Azolla pinnata* Linn.) (Suatu Kajian Komponen Penyusun Ekosistem). *Widyatech Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(2): 1-15.

- Subagyo (2021). Pupuk Organik Hayati, Solusi Pertanian Modern. <https://www.antaranews.com/berita/2021952/pupuk-organik-hayati-solusi-pertanian-modern#mobile-nav>.
- Sudjana, B. (2014). Penggunaan Azolla Untuk Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Solusi* 1(2): 72-81
- Sudewi, S. et al. (2020) 'Isolation of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of local aromatic rice in Bada Valley Central Sulawesi, Indonesia', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 575(1).
- Suharjo. (2001). Efektivitas nodulasi *Rhizobium japonicum* pada kedelai yang tumbuh di tanah sisa inokulasi dan tanah dengan inokulasi tambahan. *Jipi*, 3(1): 31-35.
- Sukmadewi, D. K. T., Anas, I., Widyastuti, R., & Citraresmini, A. (2019) "Peningkatan Kemampuan Mikroba Pelarut Fosfat dan Kalium Melalui Teknik Mutasi Iradiasi Gamma," *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 15(2): 67-75.
- Sulistyorini, E., Widyastuti, R., & Santoso, S. (2021). Kelimpahan Fauna Tanah pada Ekosistem Pascabakar Kecamatan Mentebah, Kabupaten Kapuas Hulu, Kalimantan Barat, Indonesia. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 4(3), 362-369. <https://doi.org/10.37637/ab.v4i3.745>
- Sundara, B., Natarajan, V. & Hari, K. (2002) 'Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields', *Field crops research*, 77(1): 43-49.
- Surtiningsih, T., Farida, F., & Nurhariyati, T. (2009). Biofertilisasi bakteri *Rhizobium* pada tanaman kedelai (*Glycine Max* (L) Merr.). *Berkala Penelitian Hayati*, 15(1): 31-35.
- Suryaminarsih, P., Harijani, W.S., Syafriani, E., Rahmadhini, N., & Hidayat, R. (2019). Aplikasi *Streptomyces* sp. sebagai Agen Hayati Pengendali Lalat Buah (*Bactrocera* sp.) dan Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) pada Tanaman Tomat dan Cabai. *Agrium: Jurnal Ilmu Pertanian*, 22(1): 62-69.

- Sutanto, R. (2002) Penerapan Pertanian Organik. Permasalahannya dan Pengembangannya. Kanisius, Yogyakarta.
- Syarif. (2018). Pengaruh Dosis Pupuk Kandang dan Jarak Tanam Terhadap Berat Umbi dan Produksi Bawang Merah (*Allium ascononicum* L.). *Jurnal Agriovet*. 1(1), Oktober 2018.
- Sylvia, D.M. (1990). 'Inoculation of native woody plants with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for phosphate mine land reclamation', *Agriculture, ecosystems & environment*, 31(3): 253–261.
- Technology, B. I. (2012). Mekanisme Penambatan Nitrogen Udara oleh Bakteri Rhizobium Menginspirasi Perkembangan Teknologi Pemupukan Organik yang. 2(2): 145–149.
- Thakur, P. & Singh, I. (2018) 'Biocontrol of soilborne root pathogens: an overview', *Root biology*, pp. 181–220.
- Thatoi, H., Behera, B. C., Mishra, R. R., & Dutta, S. K. (2013). Biodiversity and biotechnological potential of microorganisms from mangrove ecosystems: a review. *Annals of Microbiology*, 63(1): 1-19.
- Tian, G., L. Brussard, B.T., Kang and M.J. Swift. (1997). Soil fauna-mediated decomposition of plant residues under contoured environmental and residue quality condition. In *Driven by Nature Plant Litter Quality and Decomposition*, Department of Biological Sciences. (Eds Cadisch, G. and Giller, K.E.), pp. 125-134. Wey College, University of London, UK.
- Timmusk, S., Behers, L., Muthoni, J., & Muraya, A. (2017) 'Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement', *Frontiers in plant science*, 8, p. 49.
- Timofeeva, A., Galyamova, M. and Sedykh, S. (2022) "Prospects for Using Phosphate-Solubilizing Microorganisms as Natural Fertilizers in Agriculture," *Plants* 2022, Vol. 11, Page 2119, 11(16).
- Titah, H.S., Pratikno, H., Purwanti, I.F., & Wardhani, W.K. (2021). Biodegradation of Crude Oil Spill Using *Bacillus Subtilis* and

Pseudomonas Putida in Sequencing Method. *Journal of Ecological Engineering*, 22(11): 157-167.
<https://doi.org/10.12911/22998993/142913>

Triadiati, Y., Widowati dan Sutoyo. (2013). Penggunaan Kompos dan Biochar untuk Pembibitan, Pertumbuhan dan Hasil Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). Universitas Tribuwana Thungadewi Malang

US Department of Agriculture (2000) National organic program. Final Rule 7 CRF. Part 205.

Van, C. H. & Lejeune, A., (1996). Does Azolla have any future in agriculture?. In: *Biological Nitrogen Fixation Associated with Rice Production* (Rahman M, Podder AK, Van Hove C, Begum ZNT, Heulin T and Hartmann A eds.) 83-94. Kluwer Academic Publisher.

Vasanthakrishna, M., Muthanna, M.B. & Bagyaraj, D.J. (1994). *Ann Forestry* 2 123-126.

Vogt, G. (2007). The origins of organic farming. In *Organic farming: An international history* (pp. 9-29). Wallingford UK: CABI.

Wallwork, J.A. (1970). *Ecology of Soil Animals*. McGraw-Hill, London.

Valverde, A., A. Burgos, T. Fiscella, R. Rivas, E. Velazquez, C. RodriguezBarrueco, E.Cervantes, M. Chamber, J.M. Igual. (2006). Differential effects of co inoculations with *Pseudomonas jessenii* PS06 (a phosphate solubilizing bacterium) and *Mesorhizobium ciceri* c-2/2 strains on the growth and seed yield of chickpea under greenhouse and field conditions. *Plant Soil* 287:43-50.

Wang, Y.W., Bai, D.S., Yang, X., Zhang, Y., & Luo, X.G. (2023). Soil Sulfur Cycle Bacteria and Metabolites Affected by Soil Depth and Afforestation Conditions in High-Sulfur Coal Mining Areas. *Applied Soil Ecology*, 185, 104802.

- Wani, S. A., Chand, S. & Ali, T. (2013). 'Potential use of *Azotobacter chroococcum* in crop production: an overview', *Curr Agric Res J*, 1(1): 35-38.
- Warrad, M., Hassan, Y.M., Mohamed, M.S.M., Hagagy, N., Al-Maghrabi, O.A., Selim, S., Saleh, A.M., & AbdElgawad, H.A. (2020). Bioactive Fraction from *Streptomyces* sp. Enhances Maize Tolerance against Drought Stress. *J. Microbiol. Biotechnol.* 30:1156-1168.
- Watanabe, I. & Ramirez, CM. (1984). Relationship between soil phosphorus availability and *Azolla* growth. *Soil Science and Plant Nutrition.* 30(4): 95-98.
- Wayan I.D.A, (2017). *Bahan Ajar Sifat Biologis Tanah.* 50 Hal. Prodi Agroteknologi. Fakultas Pertanian. Universitas Udayana. Denpasar. Indonesia.
- Whalen, J.K and L. Sampedro. (2010). *Soil Ecology and Management.* Cambridge University Press, Cambridge. Available on :
<http://bookshop.cabi.org/Uploads/Books/PDF/9781845935634/9781845935634.pdf>.
- Wicaksono, M., & Harahap, F.S (2020). Pengaruh interaksi perlakuan *Rhizobium* dan pemupukan nitrogen terhadap indeks panen terhadap tiga varietas kedelai. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 39-44.
- Wijanarko A. (2014). *Peningkatan Kesuburan Dan Kualitas Tanah Dengan Pemberian Biomassa Tanaman Legum Dan Non-Legum Pada Pola Tanam Tumpangsari-Tumpang Gilir Ubikayu Di Typic Hapludult Lampung.* Disertasi Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Witt, B. (2004). Using soil fauna to improve soil health. <http://www.hort.agri.umn.edu/h5015/97papers/witt.html> (21-4-2007).

- World Health Organization (WHO). (2022). Towards a global guidance framework for the responsible use of life sciences: summary report of consultations on the principles, gaps and challenges of biorisk management, May 2022 (No. WHO/SCI/RFH/2022.01). World Health Organization.
- Yao, Y. et al. (2018). 'Azolla biofertilizer for improving low nitrogen use efficiency in an intensive rice cropping system', *Field Crops Research*, 216: 158–164.
- Yu, G., Ran, W. & Shen, Q. (2016). Compost process and organic fertilizers application in China. IntechOpen London.
- Yulianto, A. (2009). Pembuatan kompos dari tandan kosong kelapa sawit. *Infosawit Juni*, 49-51.
- Yunus, F., Lambui, O., & Suwastika, I.N. (2017). Kelimpahan Mikroorganisme Tanah Pada Sistem Perkebunan Kakao (*Theobroma cacao* L.)Semi Intensif Dan Non Intensif. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6(3): 194–205. <https://doi.org/10.22487/25411969.2017.v6.i3.9192>
- Zhang, T., Hu, F. and Ma, L. (2019) 'Phosphate-solubilizing bacteria from safflower rhizosphere and their effect on seedling growth', *Open Life Sciences*, 14(1), pp. 246–254. doi:10.1515/biol-2019-0028.<https://mitalom.com/info-praktis/2187/teknik-inokulasi-serta-fungsi-dan-peran-bakteri-rhizobium-bagi-tanaman/>
- Zhu, J., Li, M., & Whelan, M. (2018). Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Science of the Total Environment*, 612: 522–537.
- Zulkarnain. (2009). *Dasar-dasar Hortikultura*. Jakarta: Bumi Aksara.

TENTANG PENULIS



Endang Sulistyorini, S.P., M.Si., lahir di Kalianda (Lampung Selatan) tahun 1985. Penulis lulus dari Ilmu Tanah Fakultas Pertanian –Universitas Gadjah Mada (2007). Sebelum menjadi dosen, Penulis sempat bekerja di group Sampoerna Agro sebagai *Assisten Agronomi Field Riset*, di PT. Sampoerna Bio Energi (2008-2009) kemudian *Seed Commercial and Admin Service Assistant R&D*, di PT. Sampoerna Agro Tbk (2009-2010). Tahun 2018 penulis menamatkan pendidikan program pasca sarjana minat Bioteknologi Tanah dan Lingkungan di IPB University Bogor dengan judul Tesis ‘ Keanekaragaman Oribatida (Acari) pada Tipe Lahan yang berbeda di Kecamatan Mentebah, Kabupaten Kapuas Hulu, Kalimantan Barat’. Penulis adalah dosen tetap di Jurusan Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA) mulai Desember tahun 2020 sampai sekarang. Karya ilmiah yang telah dihasilkan adalah (**Sinta 4**) dengan judul *Petunjuk Penggunaan Alat Laboratorium Tanah dan Agroklimat dengan Fitur Stiker Quick Response Code (Qr Code)*. (**Sinta 5**) dengan judul *The Role of Anthocyanin Substances from Dragon Fruit Skin Extract in Formalin Content Testing in White Tofu* (**Sinta 3**) dengan judul *Kelimpahan Fauna Tanah pada Ekosistem Pascabakar Kecamatan Mentebah, Kabupaten Kapuas Hulu, Kalimantan Barat, Indonesia* (**Sinta 1**) dengan judul *Diversity of Oribatids (Acari) at different land use types in Mentebah, Kapuas Hulu, West Kalimantan dan (Sinta 3) dengan judul *Identification of Soil Arthropods on The Allium Fistulosum Fields* serta penulis juga aktif menulis book chapter dengan judul *Ilmu Tanah dan Nutrisi Tanaman, Pengantar Agroklimatologi, Mikrobiologi Lingkungan, Sistem Pertanian Berkelanjutan*. Penulis juga masuk dalam keanggotaan Himpunan Ilmu Tanah Indonesia Komda Jawa Barat.*



Dr. Dewi Firnia S.P., MP lahir di Serang pada 30 Mei 1978 dan sekarang menetap di Serang Banten. Menyelesaikan studi S1 Ilmu Tanah di UNSRI (1997), S2 Ilmu Tanah di UNPAD (2006) dan S3 Ilmu Tanah di IPB (2015) Sekarang, menjadi Tenaga Pengajar di Fakultas Pertanian Jurusan Agroekoteknologi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis aktif mengikuti seminar, aktif mempublikasi artikel pada jurnal nasional dan internasional bereputasi. Penulis juga aktif sebagai reviewer pada jurnal nasional bereputasi. Penulis aktif menulis buku, seperti buku : Pengantar Agroklimatologi, Ilmu Tanah dan Nutrisi Tanaman dan Sistem Pertanian Berkelanjutan.



Santa Maria Lumbantoruan lahir di Sipultak, pada 14 Juli 1984. Ia tercatat sebagai Lulusan sarjana program studi Agronomi (Budidaya Pertanian) Universitas Riau (UNRI) dan lulusan magister Program Studi Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara (USU). Wanita yang kerap disapa Santa ini merupakan anak dari pasangan Manerep Lumbantoruan (Ayah) dan Riste Mianna Silitonga (Ibu). Santa Maria Lumbantoruan merupakan dosen Agroteknologi Fakultas Ilmu Tanaman dan Hewani Universitas Bina Insan Lubuk linggau dari tahun 2019 hingga saat ini. Tahun 2021 dipercayakan sebagai kepala urusan laboratorium Agroteknologi Universitas Bina Insan hingga saat ini. Sebagai seorang dosen beliau aktif mengikuti seminar nasional dan seminar internasional. Santa sebagai dosen juga aktif dalam melakukan tridharma penelitian. Tahun 2021 lolos hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) dan mendapatkan hibah penelitian internal dari Universitas Bina Insan. Tahun 2022 lolos hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2023 terpilih menjadi dosen pembimbing lapangan (DPL) kampus mengajar kampus merdeka angkatan ke-5.



Wika Anrya Darma, S.P., M.Si.

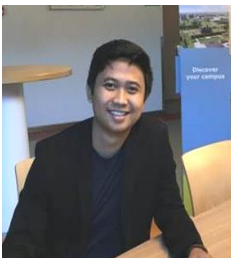
Menyelesaikan pendidikan sarjana pada program studi Agonomi di Universitas Jambi dan pendidikan magister pada program studi Agronomi dan Hortikultura di Institut Pertanian Bogor. Penulis pernah berkecimpung dalam dunia ekonomi pertanian sebagai staf pembiayaan di PT. Bank Agroniaga, Tbk. Kemudian melanjutkan pengalaman bekerja sebagai dosen di Sekolah Tinggi Perkebunan Lampung sejak 2016 hingga 2021. Sejak 2022 penulis menjadi dosen di Program Studi Teknologi Produksi Tanaman Hortikultura pada Politeknik Negeri Lampung. Sebagai dosen, penulis berkontribusi melalui penerapan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Selain aktif mengajar, penulis juga melaksanakan penelitian dan penulisan karya ilmiah serta pengabdian kepada masyarakat. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti berbagai seminar dan pelatihan untuk meningkatkan kompetensi khususnya di bidang hortikultura.



Ir. Lily Ishak, M.Si., M.Nat.Res., Ph.D lahir di

Ternate, 9 Agustus 1967. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana (Insinyur) pada Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT) pada tahun 1990. Penulis menyelesaikan pendidikan magister (M.Si) pada Program Studi Entomologi Pertanian, Sekolah Pascasarjana UNSRAT pada tahun 2001 melalui program Beasiswa DIKTI. Kemudian penulis mengambil program Master of Natural Resources (M.Nat.Res) di The University of New England (UNE) Australia melalui beasiswa *Australia Partnership Scholarship* (APS) dari Pemerintah Australia dan lulus pada tahun 2009. Pendidikan Program Doktor (Ph.D) selesai pada tahun 2017 di bidang *Soil Health* melalui program Beasiswa BPPLN.

Penulis bekerja sebagai tenaga pengajar (dosen) pada Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian di Universitas Khairun (Unkhair), Ternate, Maluku Utara sejak tahun 2001. Selama meniti karir, penulis menjalankan beberapa tugas tambahan, yaitu sebagai Ketua Program Studi Ilmu Tanah pada periode 2002 - 2005, sekretaris Pusat Studi Lingkungan (PSL) Unkhair pada periode 2002-2008, sekretaris Lembaga Penelitian Unkhair periode 2006-2007, Ketua Unit Penjaminan Mutu (UPM) Fakultas Pertanian Unkhair (2019-2021). Sejak Maret 2022 penulis melaksanakan tugas tambahan sebagai Dekan Fakultas Pertanian Unkhair periode 2022 - 2026. Karya berupa buku yang dihasilkan penulis adalah buku ajar Biologi Tanah yang telah diterbitkan sejak tahun 2022. Beberapa penghargaan yang penulis raih meliputi: *Life Time Achievement* dari Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI) Pusat, tahun 2022; tanda kehormatan Satyalencana Karya Satya X Tahun, pada tahun 2019; *Alumni of The Year 2019* pada bidang pengembangan karir (*Career Development*) dari the Central Queensland University, Australia; *the winner of Alumni Grant Scheme* dari Pemerintah Australia yang diadministrasikan oleh Australia Awards Indonesia pada tahun 2018 untuk melakukan program pemberdayaan masyarakat dalam pemanfaatan biji Capilong (*Calophyllum inophyllum*) sebagai sumber energi biodiesel; dinobatkan sebagai dosen berprestasi di lingkungan Universitas Khairun pada tahun 2010; sebagai presenter terbaik pada *The International Seminar on Soil Science*, HITI, di Jogjakarta pada tahun 2009.



Muhamad Soimin, M.Sc., lahir di sebuah kampung kecil bernama Manggong yang terletak di Kabupaten Lombok Tengah NTB pada tanggal 1 Mei 1989. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Mataram tahun 2011 dengan predikat Cumlaude. Penulis kemudian menyelesaikan pendidikan magister pada Program *Forest and Nature Conservation Wageningen University and Research (WUR)* Netherlands pada tahun 2018 melalui

beasiswa LPDP Indonesia. Penulis bekerja sebagai tenaga pengajar PNS di Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Nusa Cendana dari tahun 2022-sekarang. Sebelumnya penulis juga bekerja menjadi pengajar di salah satu universitas swasta dari tahun 2018-2022.

Disamping kesibukan sebagai pengajar, penulis juga aktif melakukan penelitian-penelitian ilmiah. Beberapa diantaranya didanai oleh ADB yang merupakan salah satu bagian dari Coremap-CTI Project tahun 2020-2022 di Gili Matra. Penulis melakukan penelitian terhadap dinamika populasi penyusutan serta melakukan studi komprehensif terhadap perilaku migrasi penyusutan dengan menggunakan *satellite telemetry*. Selain bidang ekologi hewan, penulis juga berkecimpung dalam bidang lainnya, seperti *restoration ecology* serta *coastal ecology* yang mencakup ekosistem mangrove dan padang lamun.



Whin Themas Mico Saputra, S.P., M.Agr lahir pada tanggal 30 Agustus 1993 bertempat Takengon- Aceh Tengah. Penulis lulus Sekolah Dasar pada tahun 2005 bertempat di SD Negeri 01 Peureulak dan melanjutkan jenjang Sekolah Menengah Pertama dan Lulus pada tahun 2008 di SMP Negeri 01 Peureulak dan kemudian lulus Sekolah Menengah Atas pada tahun 2011 bertempat di SMA Negeri Unggul Aceh Timur serta melanjutkan perkuliahan di Strata-1 Fakultas Pertanian Universitas Islam Sumatera Utara dan lulus pada tahun 2015 dan kemudian melanjutkan jenjang Strata-2 pada tahun 2016 di Program Magister Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara sehingga Lulus pada Tahun 2019. Pada tahun 2021 memulai karir menjadi tenaga pendidik di Universitas Gajah Putih-Takengon hingga sekarang dan pada tahun 2021 menjabat sebagai Sekretaris Program Studi Agroteknologi dan melanjutkan jabatan sebagai Pelaksana Tugas Ketua Program Studi Agroteknologi pada tahun 2022 dan pada tahun 2023 menjabat sebagai Sekretaris Program Studi.

Penulis aktif mengikuti seminar, mempublikasi artikel pada jurnal nasional. Penulis juga aktif sebagai dewan editor jurnal pada jurnal nasional bereputasi. Penulis aktif menulis dan juga editor buku monograf dengan judul “Viabilitas Serta Vigor Benih Kedelai (*Glycine max* L. *merill*)” dan book chapter dengan Judul Buku “Dasar-Dasar Ilmu Tanah”.



Morgan Ohiwal, S.P, M.Si lahir di Ambon pada tanggal 24 Oktober 1983. Ia tercatat sebagai lulusan Biologi Tanah dan Lingkungan pada Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Pria yang akrab disapa Ogan ini merupakan seorang dosen sekaligus Ketua program studi pada Program Studi Kehutanan Fakultas Perikanan dan Kehutanan Universitas Muhammadiyah Maluku. Email: morganohiwal1024@gmail.com. Scopus ID: 57863385800



Siti Latifa Wulandari, S.Si, M.Si lahir di Pinrang pada tanggal 08 Desember 1995. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar tahun 2017. Penulis menyelesaikan pendidikan magister pada Program Studi Biosains Hewan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor tahun 2021. Penulis bekerja sebagai tenaga pengajar non-PNS di Program Studi Agronomi, FST Universitas Amal Ilmiah Yapis Wamena 2021-Sekarang. Penulis aktif mengikuti seminar, aktif mempublikasi artikel pada jurnal nasional dan internasional bereputasi. Penulis juga aktif sebagai dewan editor jurnal dan reviewer pada jurnal nasional.



Prof. Dr. Yusuf Sabilu, M.Si. lahir di Raha Kabupaten Muna Sulawesi Tenggara pada tanggal 24 September 1968. Menyelesaikan pendidikan Program Sarjana Pendidikan Biologi pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Halu Oleo pada tahun 1991. Menyelesaikan Pendidikan Magister Pada Program Studi Biologi Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor pada tahun 1999. Menyelesaikan Pendidikan pada Program Doktor Program Studi Ilmu Pertanian di Universitas Hasanuddin pada tahun 2015. Pada tahun 2019 diangkat menjadi Guru Besar/Profesor pada Ilmu Biologi Terapan. Penulis mulai bekerja sebagai dosen di Universitas Halu Oleo sejak tahun 1992 sampai sekarang. Pada tahun 1992-1998 ditugaskan pada Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Tahun 1999-2011 ditugaskan pada Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Tahun 2011-sekarang ditugaskan pada Fakultas Kesehatan Masyarakat. Mata kuliah yang diampuh selama menjadi dosen adalah fokus pada bidang biologi dan biologi terapan.



Dr. Ranno Marlany Rachman, ST., M.Kes
Lahir di Wua-Wua, Pada Tanggal 9 Desember 1980. Menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Lingkungan Di Institut Teknologi Yogyakarta, Tahun 2003, S2 Jurusan Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang Tahun 2008 dan S3 Jurusan Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Tahun 2018. Aktivitas Saat ini adalah sebagai dosen tetap Program Studi Rekayasa Infrastruktur Lingkungan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo (UHO), Kendari Sulawesi Tenggara.