

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI PELARUT FOSFAT
DARI *RHIZOSFER* PISANG CAVENDISH (*Musa acuminata* L.)
DI TERBANGGI BESAR, KABUPATEN LAMPUNG TENGAH**

(Skripsi)

Oleh

**JEAN DELLIANA PUTRI
NPM 2017021014**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI PELARUT FOSFAT DARI *RHIZOSFER* PISANG CAVENDISH (*Musa acuminata* L.) DI TERBANGGI BESAR, KABUPATEN LAMPUNG TENGAH

Oleh

JEAN DELLIANA PUTRI

Pisang Cavendish (*Musa acuminata* L.) merupakan komoditas hortikultura unggul di Indonesia dengan luas tanam yang terus meningkat dari tahun 2013-2019, tetapi produktivitasnya mengalami penurunan karena menurunnya kualitas kesuburan tanah. Salah satu unsur hara penting bagi tanaman termasuk pisang yaitu fosfor. Sebagian besar fosfor tanah terdapat dalam bentuk fosfat yang terikat koloid tanah dan tidak larut, sehingga diperlukan peran bakteri pelarut fosfat untuk melepaskan fosfat yang terikat agar dapat diserap oleh tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer* pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah yang dilakukan dari bulan Desember 2023 sampai Maret 2024 di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksploratif dengan tahapan pelaksanaan penelitian meliputi pengambilan sampel tanah, isolasi bakteri, perhitungan jumlah kepadatan koloni bakteri, pemurnian isolat, perhitungan nilai indeks kelarutan fosfat dan seleksi bakteri potensial, karakterisasi morfologi dan fisiologi, serta uji patogenitas. Hasil penelitian menunjukkan kepadatan koloni bakteri dari *rhizosfer* pisang Cavendish yaitu $3,2 \times 10^3$ CFU/g. Dari ke-15 koloni bakteri yang diperoleh menunjukkan nilai indeks kelarutan fosfat beragam, yang berkisar dari 1,38-3,65. Seleksi dari 15 koloni bakteri menghasilkan 5 koloni bakteri dengan nilai indeks kelarutan fosfat tertinggi yaitu JE1 dengan nilai 3,65; JE2 dengan nilai 3,63; JE3 dengan nilai 3,13; JE4 dengan nilai 3,08; dan JE5 dengan nilai 2,94. Kelima koloni memiliki bentuk *irregular* dengan tepi *undulate*, warna koloni didominasi putih dengan elevasi *umbonate*, *raised*, dan *flat*. Kelima isolat memiliki bentuk sel *short bacil* dan sifat Gram negatif, kecuali pada isolat JE5 dengan sifat Gram positif; tidak membentuk spora; mampu memfermentasi glukosa, namun tidak mampu memfermentasi sukrosa dan laktosa; menghasilkan enzim katalase; dan tidak motil. Hasil uji patogenitas menunjukkan hanya isolat JE1 yang bersifat non patogen terhadap daun tembakau.

Kata kunci: karakterisasi, bakteri pelarut fosfat, *rhizosfer*

ABSTRACT

ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA FROM THE RHIZOSPHERE OF CAVENDISH BANANA (*Musa acuminata* L.) IN TERBANGGI BESAR, CENTRAL LAMPUNG REGENCY

By

JEAN DELLIANA PUTRI

Cavendish banana (*Musa acuminata* L.) is a superior horticultural commodity in Indonesia with planting area continuing to increase from 2013-2019, but its productivity has decreased due to decreasing quality of soil fertility. One of the important nutrients for plants, including bananas, is phosphorus. Most of the soil phosphorus occurs in the form of phosphate which is bound by soil colloids and is insoluble, so the role of phosphate solubilizing bacteria is needed to release the bound phosphate so that the phosphate element can be absorbed by plants. This research aims to isolate and characterize phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of Cavendish bananas in Terbanggi Besar, Central Lampung Regency from December 2023 to March 2024 at the Microbiology Laboratory, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Lampung. The research was carried out using an exploratory method with research implementation stages including taking soil samples, isolating bacteria, calculating the density of bacterial colonies, purifying isolates, calculating the phosphate solubility index value and selecting potential bacteria, morphological and physiological characterization, and pathogenicity test. The results showed that the density of bacterial colonies from the Cavendish banana rhizosphere was $3,2 \times 10^3$ CFU/g. From 15 bacterial colonies showed various phosphate solubility index values, ranging from 1,38-3,65. Selection of 15 bacterial colonies showed that 5 bacterial colonies with the highest phosphate solubility index values, including JE1 with a value of 3,65; JE2 with a value of 3,63; JE3 with a value of 3,13; JE4 with a value of 3,08; and JE5 with a value of 2,94. The five colonies have an irregular shape with undulate edges, the color of the colonies is predominantly white with umbonate, raised, and flat elevations. The five isolates had short bacillus cells and were Gram negative, except isolate JE5 which was Gram positive; does not form spores; able to ferment glucose, but not able to ferment sucrose and lactose; produces the enzyme catalase; and not motile. The result of the pathogenicity test showed that only JE1 isolate was non-pathogenic to tobacco leaves.

Key words: characterization, phosphate solubilizing bacteria, rhizosphere

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI PELARUT FOSFAT
DARI *RHIZOSFER* PISANG CAVENDISH (*Musa acuminata* L.)
DI TERBANGGI BESAR, KABUPATEN LAMPUNG TENGAH**

Oleh

JEAN DELLIANA PUTRI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI
PELARUT FOSFAT DARI RHIZOSFER
PISANG CAVENDISH (*Musa acuminata* L.)
DI TERBANGGI BESAR, KABUPATEN
LAMPUNG TENGAH**

Nama Mahasiswa : **Jean Dessiana Putri**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017021014

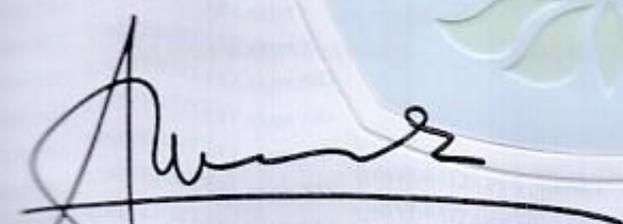
Program Studi : S1 Biologi

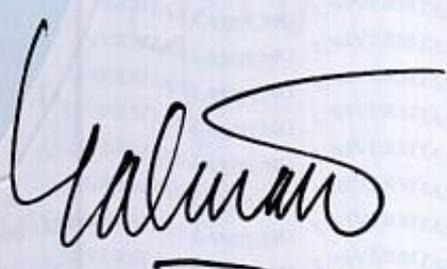
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



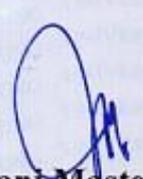
Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Dr. Sumardi, M.Si.
NIP. 196503251991031003


Ir. Salman Farisi, M.Si.
NIP. 196104181987031001

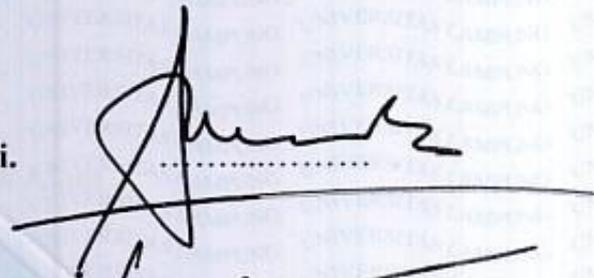
2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung


Dr. Jani Master, M.Si.
NIP. 19830131200812001

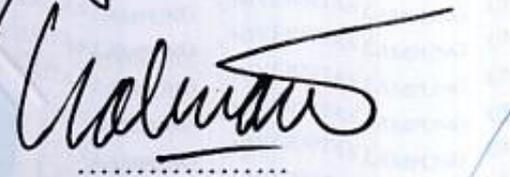
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

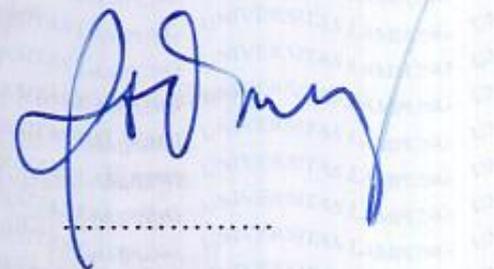
Ketua : **Prof. Dr. Sumardi, M.Si.**



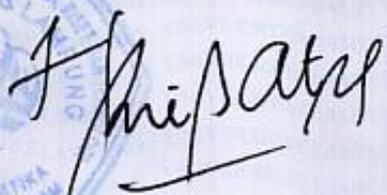
Sekretaris : **Ir. Salman Farisi, M.Si.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Rochmah Agustina, Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197410012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 09 Juli 2024

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jean Delliana Putri
NPM : 2017021014
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sejujurnya, bahwa karya ilmiah saya sebagai tugas akhir dalam bentuk skripsi yang berjudul:

"ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI PELARUT FOSFAT DARI RHIZOSFER PISANG CAVENDISH (*Musa Acuminata* L.) DI TERBANGGI BESAR, KABUPATEN LAMPUNG TENGAH"

Secara keseluruhan baik data, hasil analisis, maupun penelusuran kajian ilmiahnya adalah benar hasil karya orisinal dan usaha saya sendiri berdasarkan riset yang telah saya lakukan dan arahan dari komisi pembimbing dan pembahas. Karya ilmiah ini saya susun mengikuti norma dan etika penulisan yang berlaku. Saya memastikan bahwa tidak terdapat duplikasi dari karya ilmiah orang lain, kecuali terdapat pendapat yang tertulis jelas sebagai acuan untuk mendukung ulasan dengan menuliskan nama penulis dan dicantumkan di daftar pustaka. Apabila kelak terbukti bahwa pernyataan yang saya buat ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 09 Juli 2024

Yang menyatakan,



Jean Delliana Putri

NPM 2017021014

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Jean Delliana Putri, lahir di Jakarta pada tanggal 3 Februari 2002. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Jana dan Ibu Nasuwati. Penulis mengawali jenjang pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) RA Al-Hadi pada tahun 2007-2008. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Pegadungan 12 Pagi pada tahun 2008-2014.

Penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 169 Jakarta pada tahun 2014-2017 dan melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 84 Jakarta pada tahun 2017-2020. Selama masa sekolah, penulis aktif mengikuti kegiatan olimpiade di bidang Biologi dan pernah mendapat peringkat 10 besar dalam seleksi Olimpiade Sains Nasional (OSN) Biologi Tingkat Kabupaten/Kota.

Penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di Universitas Lampung sebagai mahasiswa Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2020. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Biologi (HIMBIO) sebagai anggota biro Kesekretariatan dan Logistik (KALOG) dan aktif mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penelitian Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Riset dan Penalaran serta anggota Departemen Kaderisasi.

Penulis juga pernah menjadi asisten pada mata kuliah praktikum Botani Tumbuhan Rendah, Botani Tumbuhan Tinggi, Mikrobiologi Pangan dan Industri, serta Fisiologi Mikroba. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan di Laboratorium Kesehatan Daerah (LABKESDA) Kota Tangerang pada bulan Januari-Februari tahun 2023 dan menghasilkan karya ilmiah dengan judul **“Deteksi Cemaran *Escherichia coli* pada Makanan *Catering* dan *Salmonella* sp. pada Rektal Penjamah Makanan di UPT Laboratorium Kesehatan Daerah Kota Tangerang”**. Penulis pernah mengikuti kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) di PT. Great Giant Pineapple, Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah pada bulan Maret-Mei tahun 2023 dan menghasilkan karya ilmiah dengan judul **“Isolasi dan Karakterisasi *Azotobacter* sp. dari *Rhizosfer* Tanaman Pisang (*Musa paradisiaca*) di Laboratorium Riset and Development PT. Great Giant Pineapple”**. Kemudian penulis juga pernah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pekondoh, Kecamatan Way Lima, Kabupaten Pesawaran pada Juni-Agustus 2023.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil alamin..

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan limpahan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik, meskipun masih terdapat banyak kekurangan di dalamnya. Ya Allah, terima kasih Engkau telah menghadihkan keluarga kecil yang selalu menyayangi dan mencintai saya, sehingga karya sederhana ini saya persembahkan dengan setulus hati saya untuk:

Kedua orang tua saya tersayang, Ayah Jana dan Mama Nasuwati, serta kedua adik saya tercinta, Dedek Wulan dan Dedek Zahra. Terima kasih banyak atas segala doa, ridho, dukungan, tuntunan, semangat, serta motivasinya kepada saya. Terima kasih sudah selalu menjadi rumah yang paling nyaman bagi saya. Karya ini saya persembahkan sebagai bentuk rasa terima kasih saya atas segala pengorbanan dan jerih payah Ayah dan Mama dalam mengiringi langkah hidup saya. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Ayah, Mama, dan Dedek bangga serta bahagia, karena saya sadar selama ini belum bisa berbuat yang lebih.

Bapak dan Ibu Dosen yang sudah mengajarkan saya banyak ilmu, terkhusus Dosen Pembimbing dan Pembahas yang telah menjadi orang tua bagi saya selama saya menyelesaikan karya ini. Terima kasih karena telah senantiasa membimbing, mengarahkan, membantu, dan memotivasi saya dengan tulus dan ikhlas sehingga saya dapat mencapai gelar Sarjana.

Sahabat dan teman-teman seperjuangan dari awal hingga akhir perkuliahan.

Terima kasih atas bantuan, dukungan, dan kebersamaannya selama ini.

MOTTO

“What’s meant for you, it will come to you.”

(Ali bin Abi Thalib)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

“Jangan banyak menyesal. Jangan banyak membandingkan ketika dirimu sudah melakukan hal terbaik yang bisa dilakukan. Beri dirimu tepukan, pelukan, dan yakinkan bahwa dirimu tetap berharga sebagai diri yang apa adanya.”

(Regina Adrianna)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis sanjungkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul "**Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Pisang Cavendish (*Musa Acuminata L.*) di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah**". Shalawat dan salam tidak lupa penulis curahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun umatnya ke zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan. Skripsi ini disusun sebagai syarat dalam mencapai gelar Sarjana Sains pada Program Studi Biologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. terselesaikannya penyusunan skripsi ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah membantu, memberikan dukungan, serta memberikan semangat kepada penulis. Untuk itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah Jana dan Mama Nasuwati, kedua orang tua tercinta yang telah memberikan doa, ridho, dukungan, tuntunan, semangat, serta motivasi kepada penulis dalam segala keadaan sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dan mendapatkan gelar Sarjana;
2. Dedek Wulan dan Dedek Zahra, kedua adik tersayang yang telah memberikan dukungan, semangat, serta selalu mendengarkan keluh kesah penulis dalam penyusunan skripsi;
3. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung;

4. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung;
5. Ibu Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si. selaku Kepala Program Studi S1-Biologi FMIPA Universitas Lampung
6. Bapak Achmad Arifiyanto, S.Si., M.Si. dan Ibu Dr. Endah Setyaningrum, M.Biomed. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan waktu untuk konsultasi akademik, bimbingan, arahan, saran, serta motivasi kepada penulis selama kuliah dan penyusunan skripsi;
7. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi;
8. Bapak Ir. Salman Farisi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi;
9. Ibu Rochmah Agustrina, Ph.D. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis untuk menyempurnakan penyusunan skripsi;
10. Ibu Oni Mastuti, S.Si. selaku Laboran Laboratorium Mikrobiologi yang telah membantu, membimbing, dan memberikan masukan kepada penulis selama proses penelitian;
11. Mas Fajar selaku pegawai Jurusan Biologi yang telah membantu penulis selama proses penelitian;
12. Irza Chairul Anam yang telah menemani dan meluangkan baik waktu, tenaga, pikiran, maupun materi, serta menjadi bagian perjalanan penulis dari penelitian hingga penyusunan skripsi;
13. Tamara selaku teman seperjuangan penulis yang telah kebersamai setiap waktu, mendukung, mendengarkan keluh kesah, dan menyemangati penulis dari masa perkuliahan,
14. Hana, Shelby, Wahyu, Riza, Muti, dan Bintang selaku teman-teman seperjuangan penulis yang telah membantu penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi;

15. Laila dan Irwan selaku sahabat penulis yang telah memberikan dukungan, semangat, dan meluangkan waktu untuk mendengarkan cerita penulis selama di perantauan;
16. Segenap keluarga besar, sanak saudara, serta teman-teman lainnya dan semua pihak yang telah membantu penulis selama perkuliahan, penelitian, dan penyusunan skripsi.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis menerima saran dan masukan dari para pembaca untuk membantu menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Bandar Lampung, 28 Juni 2024

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jean dp', with a stylized flourish extending to the right.

Jean Delliana Putri

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL DEPAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL DALAM	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	x
MOTTO	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	5
1.3 Kerangka Pemikiran.....	5
1.4 Hipotesis Penelitian	7

II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Unsur Hara Fosfor (P).....	8
2.2 Bakteri Pelarut Fosfat (BPF).....	10
2.2.1 <i>Pseudomonas</i> sebagai Bakteri Pelarut Fosfat.....	12
2.2.2 <i>Bacillus</i> sebagai Bakteri Pelarut Fosfat.....	13
2.2.3 <i>Micrococcus</i> sebagai Bakteri Pelarut Fosfat	14
2.2.4 <i>Azotobacter</i> sebagai Bakteri Pelarut Fosfat.....	15
2.2.5 <i>Enterobacter</i> sebagai Bakteri Pelarut Fosfat.....	16
2.2.6 <i>Klebsiella</i> sebagai Bakteri Pelarut Fosfat.....	17
2.2.7 <i>Flavobacterium</i> sebagai Bakteri Pelarut Fosfat	17
2.3 <i>Rhizosfer</i>	18
2.4 Tanaman Pisang Cavendish (<i>Musa acuminata</i> L.)	21
III. METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Waktu dan Tempat.....	24
3.2 Alat dan Bahan.....	24
3.3 Metode Penelitian	25
3.4 Prosedur Penelitian	26
3.4.1 Pengambilan Sampel Tanah	26
3.4.2 Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat.....	27
3.4.3 Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri dengan <i>Total Plate Count</i> ...	28
3.4.4 Pemurnian Isolat Bakteri Pelarut Fosfat.....	29
3.4.5 Perhitungan Nilai Indeks Kelarutan Fosfat (IKF) dan Seleksi.....	29
3.4.6 Karakterisasi Morfologi Bakteri Pelarut Fosfat	30
3.4.7 Karakterisasi Fisiologi Bakteri Pelarut Fosfat.....	31
3.4.8 Uji Patogenitas Bakteri Pelarut Fosfat	33
3.5 Analisis Data.....	34
3.6 Diagram Alir Penelitian	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Pengujian <i>Total Plate Count</i> (TPC).....	35
4.2 Perhitungan Nilai Indeks Kelarutan Fosfat (IKF).....	36
4.3 Karakterisasi Morfologi Bakteri Pelarut Fosfat.....	39
4.4 Karakterisasi Fisiologi dan Uji Patogenitas Bakteri Pelarut Fosfat.....	40

V. PENUTUP	46
5.1 Simpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Sel Bakteri <i>Pseudomonas</i> Secara Mikroskopis.	12
Gambar 2. Sel Bakteri <i>Bacillus</i> Secara Mikroskopis.	13
Gambar 3. Sel Bakteri <i>Micrococcus</i> Secara Mikroskopis.	14
Gambar 4. Sel Bakteri <i>Azotobacter</i> Secara Mikroskopis.	15
Gambar 5. Sel Bakteri <i>Enterobacter</i> Secara Mikroskopis.	16
Gambar 6. Sel Bakteri <i>Klebsiella</i> Secara Mikroskopis.	17
Gambar 7. Sel Bakteri <i>Flavobacterium</i> Secara Mikroskopis.	18
Gambar 8. Skema Bagian Akar yang Menunjukkan Struktur <i>Rhizosfer</i>	19
Gambar 9. Tanaman Pisang Cavendish (<i>Musa acuminata</i> L.).	22
Gambar 10. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah.	26
Gambar 11. Tahapan Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat.	28
Gambar 12. Teknik <i>Streak Plate</i> dengan Metode Kuadran.	29
Gambar 13. Ilustrasi Perhitungan Nilai Indeks Kelarutan Fosfat.	30
Gambar 14. Karakteristik Pola Pertumbuhan Koloni Bakteri.	31
Gambar 15. Uji Katalase dengan Hasil Positif dan Negatif.	33
Gambar 16. Uji Motilitas dengan Hasil Positif dan Negatif.	33
Gambar 17. Diagram Alir Penelitian.	34
Gambar 18. Lima Koloni Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dengan Nilai	39
Gambar 19. Hasil Pengamatan Bentuk Sel dan Sifat Gram Isolat Bakteri.	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Kepadatan Koloni Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi.....	35
Tabel 2. Nilai Indeks Kelarutan Fosfat Koloni Bakteri Hasil Isolasi.....	37
Tabel 3. Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri Pelarut Fosfat.....	39
Tabel 4. Karakteristik Fisiologi dan Tingkat Patogenitas Isolat Bakteri.....	40

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pisang merupakan salah satu komoditas hortikultura unggul di Indonesia yang memiliki nilai gizi dan keragaman genetik yang sangat tinggi. Kurnianingsih dkk. (2021) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa luas tanam pisang yang ada di Indonesia mengalami peningkatan pada kurun waktu 2013-2019. Luas tanam pisang pada tahun 2015 mencapai 94,01 ha, lalu meningkat menjadi 105,8 ha pada tahun 2019. Namun, produktivitas pisang mengalami penurunan dalam kurun waktu tersebut. Produktivitas pisang pada tahun 2015 sebesar 82,27 ton/ha, lalu menurun menjadi 68,82 ton/ha pada tahun 2019 (Badan Pusat Statistik, 2020).

Salah satu penyebab rendahnya produktivitas pisang yaitu masalah kesuburan tanah. Pemupukan dilakukan untuk mengatasi masalah kesuburan tanah agar tanaman pisang dapat menyerap unsur hara sesuai dengan kebutuhan tanaman itu sendiri, terutama sampai tanaman memasuki fase generatif. Kebutuhan rata-rata unsur hara untuk pertumbuhan tanaman pisang yaitu 388 kg/ha nitrogen (843,48 kg/ha urea dengan 46 % N), 52 kg/ha fosfor (144,44 kg/ha SP-36 dengan 36 % P_2O_5), dan 1.438 kg/ha kalium (2.876 kg/ha KCl dengan 50 % K_2O) (Norasyifah dkk., 2019).

Tanah menjadi sumber daya alam paling fundamental karena berperan sebagai media utama bagi manusia untuk memperoleh bahan sandang, pangan, papan, dan energi. Tanah mampu menyediakan air dan berbagai unsur hara makro maupun mikro untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Jika tanaman mendapatkan unsur hara yang cukup, maka produktivitas tanaman akan optimal. Namun sebaliknya, jika tanaman mengalami defisiensi hara maka pertumbuhan dan perkembangan tanaman akan terganggu. Penambahan unsur hara dapat dilakukan melalui pemberian pupuk kimia untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Namun, penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan ketidakseimbangan unsur hara yang ada di dalam tanah, struktur tanah menjadi rusak, dan jumlah mikroorganisme tanah menjadi sedikit (Murnita dan Taher, 2021).

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara makro yang dibutuhkan oleh tanaman. Sebagian besar fosfor tanah, yaitu sekitar 95-99 % terdapat dalam bentuk fosfat yang tidak larut sehingga tidak dapat diserap tanaman. Fosfor sangat diperlukan tanaman untuk proses fotosintesis, respirasi, penyimpanan oleh transfer energi, pembelahan dan pembesaran sel, serta beberapa proses lainnya pada tanaman. Fosfor juga membantu beberapa tanaman bertahan hidup saat musim dingin dan mendukung dengan tahan terhadap hama serta penyakit (Karpagam dan Nagalakshmi, 2014). Unsur P di dalam tanah banyak dijerap oleh tanah liat, Al, Mg, Ca, dan Fe. Pada tanah dengan pH rendah, kelarutan ion Al dan Fe relatif lebih tinggi, sehingga memfiksasi unsur P tanah sehingga menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman. Unsur P dalam pupuk yang ditambahkan ke dalam tanah hanya dapat dimanfaatkan sekitar 10-30 % dalam bentuk granul dan sekitar 70-90 % sisa dari pupuk fosfat tetap berada dalam tanah dalam bentuk tidak tersedia, sehingga penyerapannya tidak efektif (Larasati dkk., 2018).

Alternatif untuk meningkatkan keefektifan dalam mengatasi ketersediaan fosfat yang rendah di kawasan perkebunan pisang Cavendish yaitu dengan memanfaatkan bakteri pelarut fosfat (BPF) yang merupakan mikroba dengan kemampuan melarutkan dan memineralisasi unsur P anorganik tanah maupun pupuk melalui sekresi asam-asam organik dan enzim fosfatase. Dengan demikian, unsur P yang semula tidak tersedia menjadi lebih tersedia bagi tanaman. Selain itu, bakteri pelarut fosfat berperan dalam mentransfer energi; menstimulasi fiksasi nitrogen; mensintesis fitohormon, protein, asam nukleat, serta senyawa-senyawa metabolit lain, sehingga menambah penyerapan unsur P (Purwaningsih, 2012).

Rhizosfer adalah daerah sekitar perakaran yang aktivitas metabolismenya langsung dipengaruhi oleh metabolisme akar tanaman yang kaya nutrisi dan eksudat. Berbagai spesies bakteri menempati dan memanfaatkan eksudat akar dengan bersimbiosis. Bakteri yang hidup di perakaran disebut rhizobakteri pemacu tumbuh tanaman (RPTT) yang mensekresi zat pertumbuhan tanaman, menghasilkan antibiotik, dan menginduksi ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit (Aryaldi dkk., 2021). Simbiosis antara tanaman dengan bakteri berlangsung secara mutualisme. Akar tanaman menarik bakteri yang menguntungkan dengan mengeluarkan eksudat yang mengandung gula, asam amino, dan vitamin sebagai sumber nutrisi. Lalu bakteri menghasilkan metabolit sekunder yang digunakan tanaman untuk mengatur proses biologisnya (Wisdawati dkk., 2019).

Populasi bakteri pelarut fosfat pada *rhizosfer* mencapai 10-100 kali lebih tinggi dari daerah non *rhizosfer*. Bakteri pelarut fosfat yang telah banyak ditemukan yaitu *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, dan *Flavobacterium* (Ilham dkk., 2014). Penelitian Marista dkk. (2013) menunjukkan bahwa *Pseudomonas* dan *Bacillus* merupakan bakteri pelarut fosfat yang memiliki kemampuan terbesar sebagai agen pupuk hayati untuk melarutkan unsur fosfat yang terikat pada unsur lain seperti Al, Fe, Mg, dan Ca, sehingga unsur fosfat menjadi lebih tersedia bagi tanaman.

Morfologi bakteri pelarut fosfat diantaranya ada yang memiliki bentuk koloni *circular* (bulat), *irregular* (tidak beraturan), atau *rhizoid* (berakar) dengan tepi koloni *entire* (rata), *undulate* (bergelombang), *lobate* (tidak beraturan), atau *serrate* (bergerigi). Elevasi koloni ada yang *flat* (datar), *raised* (hampir datar), atau *convex* (cembung). Warna koloni beragam seperti putih, krem, bening, kecokelatan, kuning, merah, dan ungu. Selain itu, bakteri pelarut fosfat ada yang memiliki bentuk sel *coccus*, *bacil*, maupun *coccobacil* dengan sifat Gram negatif atau Gram positif; mampu menghasilkan enzim katalase ataupun tidak; mampu memfermentasi karbohidrat ataupun tidak, mampu membentuk endospora ataupun tidak, serta bersifat motil atau tidak motil. Uji patogenitas pada tanaman tembakau dilakukan untuk mengetahui suatu bakteri bersifat patogen atau non patogen, sehingga dapat dijadikan sebagai kandidat pupuk hayati.

Beberapa penelitian terdahulu berhasil mengisolasi bakteri pelarut fosfat dari berbagai *rhizosfer* tanaman. Penelitian Mukamto dkk. (2015) berhasil mengisolasi dan mengkarakterisasi *Bacillus* sp. sebagai bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer Leguminosae*. Penelitian Abdelmoteleb dan Gonzalez-Mendoza (2020) berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi *Bacillus cereus* dan *Bacillus megaterium* sebagai bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer Tamarix ramossima*. Penelitian lainnya yaitu Asrul dan Aryantha (2020) berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi *Amycolaptosis albidoflavus* sebagai bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer* kelapa sawit. Namun, isolasi dan karakterisasi bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer* tanaman pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah belum ada yang melakukan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan eksplorasi bakteri non patogen dari *rhizosfer* tanaman pisang yang efektif dan potensial dalam melarutkan fosfat.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. mengisolasi bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer* pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah;
2. mengetahui karakteristik morfologi dan fisiologi isolat bakteri pelarut fosfat yang diisolasi dari *rhizosfer* pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah;
3. menguji tingkat patogenitas isolat bakteri pelarut fosfat yang diisolasi dari *rhizosfer* pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah.

1.3 Kerangka Pemikiran

Pisang merupakan buah yang sangat diminati dan banyak dikonsumsi karena memiliki kandungan gizi yang tinggi dan bermanfaat bagi kesehatan tubuh manusia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, produktivitas pisang di Indonesia masih rendah meskipun pisang digolongkan sebagai komoditas hortikultura yang unggul. Penyebabnya salah satunya adalah karena masalah kesuburan tanah. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kesuburan tanah yaitu dengan menambah ketersediaan unsur hara melalui pemupukan.

Salah satu unsur hara yang penting bagi tanaman yaitu unsur fosfor (P) yang dianggap sebagai kunci kehidupan (*key of life*). Namun ketersediaan unsur fosfor bagi tanaman lebih rendah jika dibandingkan dengan unsur nitrogen dan unsur kalium. Unsur fosfor dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak saat fase generatif untuk merangsang pertumbuhan akar, mempercepat pembungaan, dan mempercepat pemasakan biji atau buah. Sebagian besar fosfor tanah terdapat dalam bentuk senyawa kompleks yang terikat koloid tanah dan sulit didegradasi, sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman. Upaya untuk mengatasi rendahnya ketersediaan fosfor dalam tanah yaitu dengan memanfaatkan bahan organik berupa bakteri pelarut fosfat (BPF).

Bakteri pelarut fosfat berperan dalam mengubah unsur fosfat organik menjadi fosfat anorganik, serta mempengaruhi kelarutan fosfat tanah secara langsung melalui mineralisasi atau secara tidak langsung dengan membantu pelepasan fosfat terfiksasi. Proses mineralisasi melibatkan kerja enzim fosfatase yang diekskresikan bakteri pelarut fosfat. Mekanisme bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan fosfat terjadi karena proses *acidification* atau pengasaman dengan mensekresikan asam-asam organik seperti asam oksalat, asam format, asam sitrat, asam glukonat yang dapat melepaskan ikatan khelat antara fosfat dengan pengkhelat seperti kalsium (Ca), sehingga menyebabkan penurunan pH. Reaksi ini menurunkan reaktivitas ion-ion dan meningkatkan kelarutan fosfat sehingga menjadi tersedia bagi tanaman. Semakin tinggi populasi bakteri pelarut fosfat pada tanah maka akan semakin banyak asam-asam organik yang dihasilkan sehingga fosfat yang larut semakin tinggi.

Rhizosfer tanah mengandung mikroorganisme menguntungkan. Populasi bakteri pelarut fosfat di *rhizosfer* mencapai 10-100 kali lebih banyak dibandingkan daerah non *rhizosfer*, karena pada *rhizosfer* banyak terdapat eksudat akar yang menjadi sumber nutrisi bagi bakteri. Beberapa penelitian sebelumnya berhasil mengisolasi bakteri pelarut fosfat pada berbagai *rhizosfer* tanaman, diantaranya Mukamoto dkk. (2015) mengisolasi dan mengkarakterisasi *Bacillus* sp. dari *rhizosfer Leguminosae*, Abdelmoteleb dan Gonzalez-Mendoza (2020) mengisolasi dan mengidentifikasi *Bacillus cereus* dan *Bacillus megaterium* dari *rhizosfer Tamarix ramossima*, serta Asrul dan Aryantha (2020) mengisolasi dan mengidentifikasi *Amycolaptosis albidoflavus* dari *rhizosfer* kelapa sawit. Pada penelitian ini dilakukan isolasi, karakterisasi, dan uji patogenitas bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer* pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah. Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi ilmiah mengenai keberadaan, karakter morfologi, fisiologi, serta tingkat patogenitas bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer* pisang Cavendish.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. isolat bakteri yang diisolasi dari *rhizosfer* pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah memiliki kemampuan melarutkan fosfat yang tinggi;
2. isolat bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer* pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah memiliki karakteristik morfologi dan fisiologi yang beragam;
3. isolat bakteri pelarut fosfat yang diisolasi dari *rhizosfer* pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah tidak bersifat patogen terhadap tanaman.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Unsur Hara Fosfor (P)

Unsur hara merupakan nutrisi yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah seimbang pada setiap tahap pertumbuhan dan perkembangannya. Unsur hara diserap tanaman untuk mendukung metabolisme dan meningkatkan produktivitas tanaman. Jika kekurangan unsur hara, maka tanaman akan menunjukkan gejala defisiensi maupun toksisitas oleh defisiensi sebagai respon akibat gangguan proses fisiologis berupa perubahan morfologi yang tidak normal seperti pertumbuhan yang melambat, perubahan bentuk dan warna daun, serta perubahan lainnya. Gejala kelainan pertumbuhan tanaman dapat menjadi panduan untuk mengidentifikasi kekurangan maupun kelebihan unsur hara (Inaya dkk., 2021).

Berdasarkan jumlahnya yang dibutuhkan oleh tanaman, unsur hara dikelompokkan menjadi unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak (konsentrasi 1000 mg/kg bahan kering). Sedangkan unsur hara mikro merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit (konsentrasi 100 mg/kg bahan kering). Unsur hara makro meliputi nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), sulfur (S), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg). Unsur hara mikro meliputi klor (Cl), zat besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), boron (B), dan molibdenum (Mo). Jumlah unsur hara yang cukup tersedia di dalam tanah sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman (Asrul dan Aryantha, 2020).

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara makro yang dibutuhkan untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fosfor berperan dalam memacu pertumbuhan tanaman; mempercepat pembentukan akar; mempercepat pembentukan bunga; mempercepat pemasakan buah dan biji; mengangkut energi hasil metabolisme; serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai serangan hama dan penyakit. Dengan demikian fosfor harus selalu tersedia bagi tanaman untuk mendukung produksi yang optimal. Fosfor memiliki sifat imobil, sehingga kurang tersedia bagi tanaman. Selain itu, fosfor dapat terikat oleh unsur Al dan Fe pada tanah dengan pH rendah dan dapat terikat oleh unsur Ca pada tanah dengan pH tinggi (Zainuddin dkk., 2019).

Sebagian besar fosfor berasal dari pelapukan batuan mineral alami, sisanya berasal dari bahan organik. Kandungan fosfor dalam tanah cukup tinggi, namun ketersediaannya bagi tanaman sangat terbatas karena fosfor terdapat sebagai kelat logam yang tidak larut (Aziz, 2013). Fosfor di dalam tanah dibedakan menjadi P organik dengan jumlah sekitar 3-75 % dan P anorganik dengan jumlah sekitar 25-97 %. P organik berasal dari bahan organik seperti tanaman, hewan, atau mikroorganisme yang mati. P anorganik berasal dari mineral fosfat (apatit), jerapan P pada partikel liat, dan kompleks antara fosfat Al dan Fe. P organik tidak tersedia bagi tanaman karena terdapat dalam bentuk senyawa kompleks yang terikat oleh koloid tanah dan sulit didegradasi, sehingga perlu diubah menjadi P anorganik melalui proses mineralisasi. Proses pelarutan P tidak tersedia menjadi tersedia terjadi melalui reaksi khelasi antara ion logam dalam mineral tanah dengan asam-asam organik. Khelasi merupakan reaksi keseimbangan antara ion logam dan agen pengikat dengan membentuk lebih dari satu ikatan antar keduanya. Reaksi ini menyebabkan terbentuknya struktur cincin yang mengelilingi logam tersebut. Mekanisme pengikatan Al^{+++} dan Fe^{++} oleh gugus fungsi dari komponen organik terjadi karena adanya satu gugus karboksil dan satu gugus fenolik, atau dua gugus karboksil yang berdekatan lalu bereaksi dengan ion logam. Pelarutan P di dalam tanah meningkat saat kondisi pH tanah rendah (Sonia dan Setiawati, 2022).

Ketersediaan P organik bagi tanaman sangat tergantung pada proses mineralisasi oleh mikroorganisme. Dekomposisi bahan organik yang menghasilkan asam-asam organik dapat meningkatkan ketersediaan unsur P karena dapat mengikat koloid tanah dan melepaskan unsur P yang terikat, sehingga unsur P yang terlepas menjadi tersedia di dalam tanah dan dapat diserap tanaman. Pelepasan ion P yang cukup untuk pertumbuhan tanaman disebabkan oleh kandungan bahan organik yang tinggi dan kecepatan proses mineralisasi yang memadai (Punuindoong dkk., 2021).

2.2 Bakteri Pelarut Fosfat (BPF)

Bakteri pelarut fosfat tergolong ke dalam *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) yang menempati daerah *rhizosfer* dan berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan menyediakan mineral terlarut bagi tanaman, menghasilkan zat pengatur tumbuh (ZPT), dan menghambat pertumbuhan patogen tanah. Golongan bakteri ini mampu meningkatkan ketersediaan fosfat di dalam tanah sehingga dapat diserap oleh tanaman. Fosfat akan bersenyawa dengan aluminium membentuk Al-P pada tanah masam dan akan bersenyawa dengan kalsium membentuk Ca-P yang sukar larut pada tanah alkali. Meskipun fosfat yang terkandung di dalam tanah melimpah, namun jika pada tanah tidak terdapat bakteri pelarut fosfat maka hanya sedikit fosfat yang bisa diserap tanaman (Ilham dkk., 2014).

Prinsip pelarutan fosfat oleh bakteri yaitu bakteri mensekresikan enzim fosfatase dan asam-asam organik ke dalam tanah kemudian memacu proses mineralisasi fosfat organik menjadi fosfat anorganik melalui proses hidrolisis (Fitriatin *et al.*, 2020). Bakteri pelarut fosfat menghasilkan asam-asam organik berbobot molekul rendah seperti asam sitrat, asam oksalat, asam glutamat, dan asam suksinat yang mengkelat kation Al, Fe, dan Ca melalui gugus hidroksil (OH^-) dan karboksil (COO^-) yang mengikat fosfat, lalu menghasilkan senyawa kompleks stabil dan melepaskan ion fosfat yang semula terikat pada senyawa organik (Asrul dan Aryantha, 2020). Fosfat terlarut lalu diabsorpsi tanaman secara simplas atau apoplas mengikat gradien potensial air antara tanah dan akar (Sugianto dkk., 2018).

Aktivitas bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan fosfat sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya pH, temperatur, kelembaban, suplai makanan, dan kondisi lingkungan selama pertumbuhannya. pH optimal untuk meningkatkan ketersediaan fosfat di dalam tanah adalah 6,5 meskipun bakteri pelarut fosfat masih memiliki kemampuan untuk melarutkan fosfat pada pH di bawah 5,5. Aktivitas dan jumlah bakteri di dalam tanah juga akan semakin meningkat seiring dengan semakin dekatnya jarak antara bakteri dengan akar tanaman di dalam tanah (Marista dkk., 2013).

Bakteri pelarut fosfat juga berperan dalam metabolisme vitamin D yang berperan untuk memperbaiki pertumbuhan akar tanaman dan meningkatkan serapan unsur hara pada tanaman. Bakteri pelarut fosfat sering ditemukan berasosiasi dengan akar tanaman di dalam tanah, menghasilkan eksudat yang menjadi nutrisi bagi bakteri tersebut untuk tumbuh dan berkembang. Populasi bakteri pelarut fosfat di dalam tanah tergantung dari jenis tanah serta keragaman tanaman pada tanah tersebut (Ilham dkk., 2014).

Setiap spesies bakteri memiliki kemampuan berbeda dalam menghasilkan jenis maupun jumlah asam-asam organik, sehingga daya melarutkan fosfatnya pun berbeda. Bakteri pelarut fosfat di dalam tanah yang banyak ditemukan yaitu berasal dari marga *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, dan *Flavobacterium*. Penelitian Setiawati dkk. (2014) menunjukkan bahwa *Pseudomonas cepacea* memiliki kemampuan melarutkan fosfat yang tinggi dengan aktivitas fosfatase dan produksi asam organik. Penelitian Oksana dkk. (2020) menunjukkan bahwa *Klebsiella* memiliki kemampuan melarutkan fosfat. Penelitian Marista dkk. (2013) menunjukkan bahwa *Bacillus* termasuk bakteri yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat paling tinggi dan mampu bertahan hidup pada lingkungan yang tidak menguntungkan dengan membentuk endospora.

2.2.1 *Pseudomonas* sebagai Bakteri Pelarut Fosfat

Pseudomonas adalah bakteri berbentuk batang atau kokus, termasuk Gram negatif, bersifat motil karena memiliki flagela polar, aerob obligat, serta dapat tumbuh dengan baik pada suhu 4-43 °C dan pH 5,3-9,7. *Pseudomonas* menunjukkan hasil positif terhadap uji katalase dan oksidase. Umumnya *Pseudomonas* ditemukan di tanah, air, dan tanaman. *Pseudomonas* dapat memproduksi enzim protease, amilase, dan lipase sehingga dapat menguraikan karbohidrat, protein, dan senyawa organik lainnya menjadi CO₂, amoniak, dan senyawa-senyawa lainnya (Rahmadian dkk., 2018).

Penelitian Asril dan Lisafitri (2020) menunjukkan *Pseudomonas* ditemukan di lahan bekas perkebunan karet yang telah mengalami pemupukan selama bertahun-tahun dengan kondisi pH yang sangat asam dan keracunan Fe. *Pseudomonas* telah banyak dilaporkan sebagai bakteri yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat tertinggi pada *rhizosfer* dan memiliki tingkat toleransi yang tinggi pada berbagai kondisi lingkungan. Penggunaan *Pseudomonas* di tanah pertanian sangat tinggi untuk dikembangkan sebagai *biofertilizer* dan bioinokulan bagi tanaman.



Gambar 1. Sel Bakteri *Pseudomonas* Secara Mikroskopis. (Jyothi *et al.*, 2011)

2.2.2 *Bacillus* sebagai Bakteri Pelarut Fosfat

Koloni *Bacillus* berbentuk bulat tidak beraturan, berukuran besar, berwarna krem keputihan, tepi koloni rata dan tidak rata, permukaan koloni cembung dan datar, tidak mengkilat, serta tidak berlendir. Sel *Bacillus* berbentuk batang, bersifat Gram positif, memiliki endospora, aerob obligat atau fakultatif, motil atau non motil, dan positif terhadap uji katalase (Puspita dkk., 2017). *Bacillus* mampu menghasilkan fitohormon, menghasilkan siderofor, mengikat nitrogen, melarutkan fosfat, serta menghasilkan senyawa antibakteri dan antipatogen tanaman.

Bacillus telah banyak diaplikasikan sebagai pelarut fosfat untuk pertumbuhan tanaman karena dapat melepaskan unsur fosfat yang terikat dengan mensekresikan asam organik sehingga unsur fosfat menjadi tersedia untuk tanaman (Mukamto dkk., 2015). Firdausi dkk. (2016) dalam penelitiannya menyebutkan *Bacillus* memiliki kemampuan melarutkan fosfat dengan baik. Pemberian inokulan *Bacillus* dalam media pembawa pupuk hayati menghasilkan peningkatan unsur hara fosfat. *Bacillus* memiliki kemampuan hidup di beberapa jenis tanah *rhizosfer* karena kemampuannya dalam membentuk endospora.



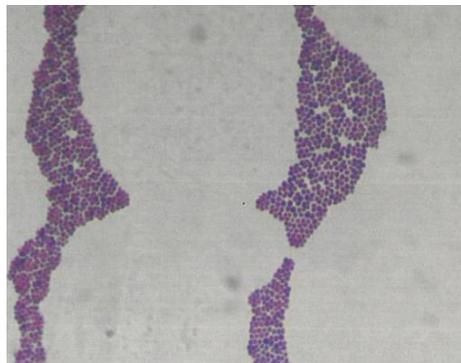
Gambar 2. Sel Bakteri *Bacillus* Secara Mikroskopis. (Indrayati dkk., 2023)

2.2.3 *Micrococcus* sebagai Bakteri Pelarut Fosfat

Micrococcus berbentuk kokus berpasangan hingga berkelompok tidak beraturan, diameter sel 0,5-2,0 μm , Gram positif, jarang motil, bersifat aerob dan anaerob fakultatif, serta positif terhadap uji katalase dan uji oksidase (Silalahi dkk., 2020). *Micrococcus* banyak ditemukan pada lapisan perakaran. Bakteri ini mampu melarutkan fosfat sehingga dapat meningkatkan ketersediaan fosfat tanah untuk memacu pertumbuhan perakaran tanaman (Marista dkk., 2013).

Penelitian Firdausi dkk. (2016) menyebutkan bahwa *Micrococcus* ditemukan pada kawasan hutan produksi yang banyak terdapat tanaman, sehingga *Micrococcus* mampu bertahan hidup.

Micrococcus juga mampu dalam mengubah hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi air dan oksigen, serta mampu memproduksi auksin, 1-aminosiklopropana-1-karboksilat deaminase, dan siderofor untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman (Wibowo dkk., 2022).

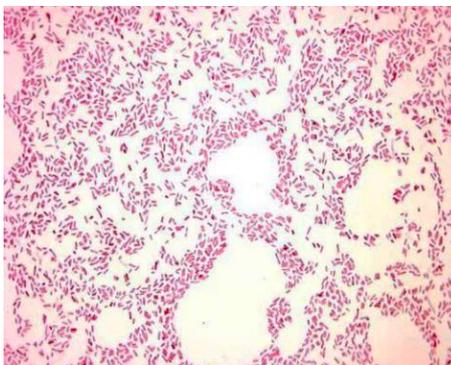


Gambar 3. Sel Bakteri *Micrococcus* Secara Mikroskopis. (Sandle, 2020)

2.2.4 *Azotobacter* sebagai Bakteri Pelarut Fosfat

Azotobacter berbentuk batang atau kokus, diameter sel 1,5-2,0 μm , Gram negatif, motil dan non motil, bersifat aerob atau anaerob fakultatif, dan mampu tumbuh pada pH optimum 7,0-7,5. Koloni *Azotobacter* berbentuk bulat, berwarna putih keruh, transparan, berlendir, elevasi *convex*, dan tepian *entire* (Novalia dkk., 2022). *Azotobacter* dapat ditemukan di tanah, air, dan bersimbiosis dengan tanaman. *Azotobacter* menghasilkan enzim katalase dan zat pengatur tumbuh (ZPT) yaitu giberelin untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman (Marista dkk., 2013). *Azotobacter* mampu memfiksasi nitrogen bebas di udara dan merupakan salah satu strain yang potensial sebagai bakteri pelarut fosfat. *Azotobacter* yang mampu memfiksasi nitrogen dan melarutkan fosfat berfungsi sebagai kandidat pupuk hayati yang efisien untuk meningkatkan nutrisi N dan P pada tanaman (Nosrati *et al.*, 2014).

Penelitian Maatoke dkk. (2024) menunjukkan *Azotobacter* berasal dari *rhizosfer* tanah sawah dan tanah hutan. *Azotobacter* mampu memproduksi asam organik lebih tinggi dibandingkan bakteri lain karena memiliki aktivitas enzim *glucose dehydrogenase* (GDH). Irawan dan Zulaika (2016) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa konsorsium *Azotobacter* menghasilkan fosfat terlarut yang besar dengan nilai 67,58 ppm dan 67,51 ppm.

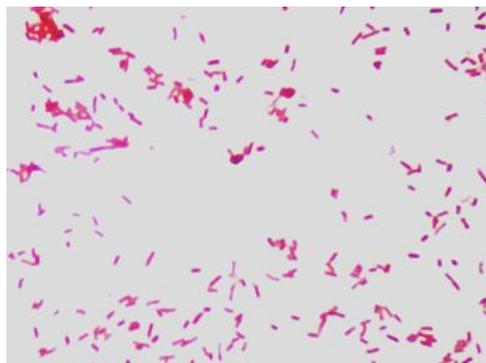


Gambar 4. Sel Bakteri *Azotobacter* Secara Mikroskopis. (Aishwarya *et al.*, 2019)

2.2.5 *Enterobacter* sebagai Bakteri Pelarut Fosfat

Enterobacter berbentuk batang lurus, Gram negatif, bersifat anaerob fakultatif, tidak membentuk spora, motil karena memiliki flagela *peritrichous*, dan mampu memfermentasi laktosa. Koloni bakteri ini berbentuk bulat, diameter 2-3 mm dan memiliki elevasi cembung. *Enterobacter* mampu mensintesis enzim dekarboksilase ornithine yang membedakannya dengan bakteri lain. *Enterobacter* ditemukan di tanah, air, tanaman, hewan, dan feses. Spesies bakteri ini ada yang bersifat patogen dan tidak patogen (Krisnawati dkk., 2023).

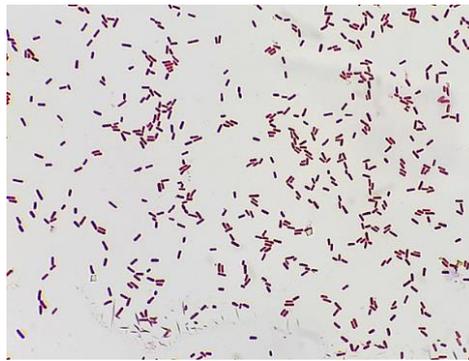
Enterobacter melarutkan fosfat dengan menghasilkan asam-asam organik dan enzim fosfatase yang bereaksi dengan kation pengikat fosfat, sehingga fosfat dapat diserap tanaman. Penelitian Suartini dkk. (2013) mengisolasi *Enterobacter* dari pupuk organik dan Hartanti (2020) mengisolasi *Enterobacter* dari tanaman padi. Percobaan inokulasi isolat bakteri ini menunjukkan bahwa isolat mampu menginduksi pertumbuhan padi merah dengan meningkatkan tinggi dan berat tanaman.



Gambar 5. Sel Bakteri *Enterobacter* Secara Mikroskopis.
(Aryal, 2021)

2.2.6 *Klebsiella* sebagai Bakteri Pelarut Fosfat

Klebsiella berbentuk batang pendek, ukuran sel berkisar antara 0,5-0,5 x 1,2 μ , termasuk Gram negatif, bersifat aerob, memiliki kapsul, dan tidak membentuk spora. *Klebsiella* tumbuh optimum pada suhu 37 °C, non motil, serta mampu memfermentasi laktosa. *Klebsiella* dapat ditemukan di makanan, minuman, tanah, air, feses, dan hidup bersimbiosis dengan akar tanaman (Suartini dkk., 2013). Penelitian Suartini dkk. (2017) menunjukkan *Klebsiella* yang diisolasi dari pupuk organik memiliki keefektifan yang tinggi dalam melarutkan fosfat yaitu sebesar 90,78 % dan dapat memacu pertumbuhan tanaman caysin.

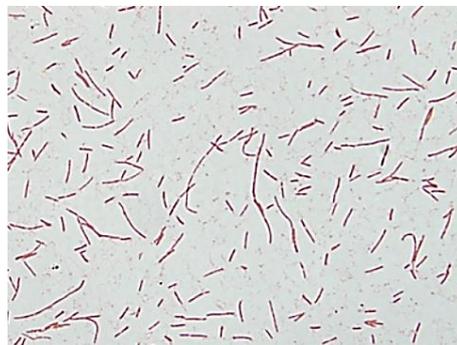


Gambar 6. Sel Bakteri *Klebsiella* Secara Mikroskopis.
(Chaurasiya, 2021)

2.2.7 *Flavobacterium* sebagai Bakteri Pelarut Fosfat

Flavobacterium berbentuk batang sejajar, berukuran 0,5-3 μ m, termasuk Gram negatif, warna koloni kuning tua, motil dan non motil, hidup secara aerob, dan hanya sedikit yang anaerob fakultatif. Bakteri ini mampu mengoksidasi asam amino pada kondisi aerob, sedangkan pada kondisi anaerob metabolismenya akan bersifat fermentatif (Massinai dkk., 2017). *Flavobacterium* dapat ditemukan pada tanah, air, dan beberapa berasosiasi dengan organisme lain.

Flavobacterium mampu melarutkan fosfat yang terikat dalam mineral tanah menjadi senyawa yang mudah diserap tanaman dan mendekomposisi bahan-bahan organik tanah (Marista dkk., 2013). Penelitian Jannah dkk. (2022) menunjukkan bahwa inokulasi *Flavobacterium* pada tanaman kedelai memiliki pengaruh yang signifikan karena mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah daun, kandungan klorofil, serta meningkatkan berat biji kedelai. Hal ini dikarenakan isolat *Flavobacterium* mampu beradaptasi dan bersimbiosis dengan akar kedelai secara baik sehingga dapat membantu menyediakan kebutuhan fosfat tanaman.

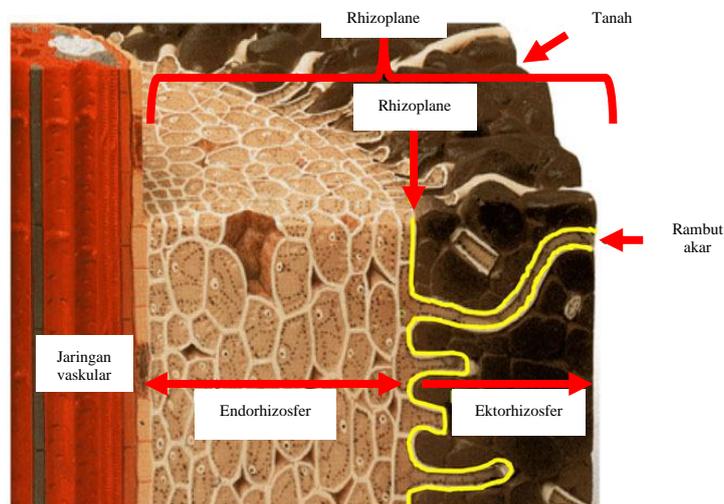


Gambar 7. Sel Bakteri *Flavobacterium* Secara Mikroskopis. (Cain and LaFrentz, 2007)

2.3 *Rhizosfer*

Istilah *rhizosfer* pertama kali diciptakan pada tahun 1904 oleh Lorenz Hiltner, seorang ahli agronomi dan fisiologi tumbuhan dari Jerman untuk menggambarkan antarmuka akar dan tanaman. Kata *rhizosfer* berasal dari bahasa Yunani yaitu "*rhiza*" yang berarti akar. Hiltner menggambarkan *rhizosfer* sebagai area di sekitar akar tanaman yang dihuni oleh populasi mikroorganisme yang dipengaruhi oleh bahan kimia yang dilepaskan dari akar tanaman. Definisi *rhizosfer* telah disempurnakan untuk mencakup tiga zona yang ditentukan berdasarkan kedekatan relatifnya terhadap akar dan pengaruhnya dari akar. Zona tersebut diantaranya yaitu *endorhizosfer*, *rhizoplane*, dan *ektorhizosfer* (Junior, 2013).

Endorhizosfer adalah daerah korteks dan endodermis akar tanaman, sehingga mikroorganisme dan kation dapat menempati ruang bebas antar sel (ruang apoplastik). *Rhizoplane* merupakan daerah yang mencakup zona medial yang berbatasan langsung dengan akar, termasuk epidermis dan lendir akar. *Ektorhizosfer* merupakan zona terluar yang terbentang dari *rhizoplane* hingga ke dalam tanah. *Rhizosfer* bukan wilayah dengan ukuran atau bentuk yang dapat ditentukan, melainkan *rhizosfer* terdiri dari gradien sifat fisik, kimia, dan biologi yang berubah secara radial dan memanjang di sepanjang akar (Junior, 2013).



Gambar 8. Skema Bagian Akar yang Menunjukkan Struktur *Rhizosfer*. (Junior, 2013)

Tanah merupakan media pertumbuhan mikroorganisme yang kompleks. Di daerah *rhizosfer*, tanaman akan mengeluarkan eksudat akar yang berisi gula, asam amino, vitamin, dan enzim sebagai nutrisi bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan bermultiplikasi. Mikroorganisme sendiri akan menghasilkan metabolit sekunder ke *rhizosfer* yang digunakan tanaman untuk mengatur pertumbuhannya. Eksudat akar merupakan sumber utama nutrisi di *rhizosfer* bagi mikroorganisme. Populasi mikroorganisme tanah sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu kandungan bahan organik pada *rhizosfer*, kandungan unsur hara tanah, ketersediaan oksigen, kondisi suhu, kondisi kelembapan, kondisi aerasi, nilai pH, serta faktor fisik dan biologi pada tanah (Wisdawati dkk., 2019).

Mikroorganisme di sekitar daerah perakaran tanaman saling terlibat dalam hubungan simbiosis dengan sistem perakaran yang ada. Simbiosis tersebut ada yang bersifat menguntungkan atau simbiosis mutualisme hingga simbiosis komensalisme, bersifat netral, dan juga bersifat merugikan. Mikroorganisme *rhizosfer* berperan dalam menyediakan nutrisi tanaman dengan mengubah sifat morfologi dan fisiologi perakaran tanaman serta mengubah fase keseimbangan nutrisi, sehingga akan lebih mudah diangkut ke permukaan akar. Mikroorganisme *rhizosfer* juga berperan dalam mengubah komposisi kimia tanah, melakukan transfer nutrisi, dan menghambat area penyerapan akar tanaman atau berkompetisi dalam mendapatkan makanan (Sari, 2015).

Sistem perakaran tanaman akan memasok oksigen ke *rhizosfer* dan saat berlangsung respirasi, sel-sel perakaran tanaman akan membebaskan karbondioksida ke *rhizosfer*. Perakaran tanaman mensekresikan nutrisi berupa eksudat akar, sekresi akar, atau hasil lisis dari sel-sel pada daerah perakaran secara berkelanjutan. Mikroorganisme hidup dan berkembang di *rhizosfer*, termasuk pada daerah permukaan perakaran (*rhizoplane*), lalu mikroorganisme mendapatkan keuntungan dari ketersediaan oksigen dan nutrisi yang tersedia pada daerah tersebut (Sari, 2015).

Mikroorganisme yang mendominasi daerah *rhizosfer* adalah filum bakteri prokariotik yaitu *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, dan *Acidobacteria*. Adapun filum fungi yang mendominasi daerah *rhizosfer* yaitu *Ascomycota* dan *Basidiomycota*. Mikroorganisme di dalam tanah, khususnya dalam *rhizosfer* memiliki manfaat yang besar bagi pertumbuhan tanaman. Namun dalam siklus hidupnya, mikroorganisme tanah sering mendapatkan tekanan akibat keterbatasan petani dalam mengolah tanah yang mengakibatkan kualitas kesuburan tanah menurun (Irfan dkk., 2021).

2.4 Tanaman Pisang Cavendish (*Musa acuminata* L.)

Tanaman pisang umum ditemui di Indonesia dengan keanekaragaman yang melimpah. Pisang berasal dari Asia Tenggara dan tersebar luas ke Afrika, Amerika Latin, serta Karibia. Indonesia menempati peringkat keenam sebagai produsen pisang terbesar di dunia dengan kontribusi sebesar 5,67 %. Provinsi yang menyumbangkan produksi pisang sebesar 88,07 % yaitu Jawa Timur, Lampung, Jawa Tengah, Sumatera Utara, Banten, Bali, Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Timur, dan Sumatera Barat (Harto *et al.*, 2019). Pisang tumbuh di hampir seluruh tipe agroekosistem dan menjadi tanaman budidaya tertua (Kumar dkk., 2012). Di Indonesia tercatat lebih dari 200 jenis pisang. Pengembangan komoditas pisang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi buah-buahan masyarakat (Sariamanah dkk., 2016).

Jenis pisang yang umum dibudidayakan secara luas dan komersial yaitu pisang Cavendish (*Musa acuminata* L.) dari Asia Tenggara. Keunggulan pisang ini memiliki ukuran buah yang lebih besar dan memiliki sekitar 10 sisir/tandan. Pisang ini hanya memiliki 2-3 tunas dari satu induk, sehingga dibutuhkan alternatif yang tepat untuk meningkatkan produksinya. Lebih dari 40 % produksi pisang di dunia ditempati oleh grup pisang Cavendish. Pola tanam pisang ini dapat dirotasikan dengan tanaman lain, meningkatkan kation, dan menurunkan kejenuhan aluminium dalam tanah sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah (Andriani dan Rahayu, 2023).

Klasifikasi tanaman pisang Cavendish menurut *United States Department of Agriculture* (USDA) yaitu:

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Bangsa	: Zingiberales
Suku	: Musaceae
Marga	: <i>Musa</i> L.
Jenis	: <i>Musa acuminata</i> L.



Gambar 9. Tanaman Pisang Cavendish (*Musa acuminata* L.).
(CABI, 2019)

Aspek pengembangan komoditas tanaman pisang salah satunya ketersediaan lahan untuk pengembangan yang lebih luas. Tanaman pisang dijadikan sebagai tanaman konservasi pada daerah kering dan kritis. Mujiyo dkk. (2017) menyebutkan tanaman pisang tumbuh baik di daerah tropis basah dengan ketinggian 100-700 m di atas permukaan laut (mdpl), suhu 22-32 °C, kelembapan > 60 %, curah hujan 2.000-3.000 mm/tahun, dan lama bulan kering 0-3 bulan. Tanaman pisang dapat dikembangkan di beberapa kondisi tanah kering seperti di pekarangan rumah, perkebunan, dan hutan negara.

Nurza dkk. (2020) menyebutkan budidaya tanaman pisang membutuhkan tanah yang gembur, tidak terlalu liat, dan kaya bahan organik. Produktivitas tanah semakin tinggi jika warna tanah semakin gelap yang berarti kondisi tanah subur. Tanaman pisang tumbuh di daerah kering karena menyuplai air dari batang, namun pertumbuhannya tidak optimal. Pertumbuhan tanaman pisang akan optimal pada tanah yang tinggi unsur hara karena unsur hara dibutuhkan saat fase generatif tanaman. Sebagian besar unsur hara diperoleh dari tanah, pembusukan tanaman, bahan organik, dan pupuk. Kebutuhan rata-rata unsur hara tanaman pisang yaitu 388 kg/ha nitrogen (843,48 kg/ha urea dengan 46 % N), 52 kg/ha fosfor (144,44 kg/ha SP-36 dengan 36 % P₂O₅), dan 1.438 kg/ha kalium (2.876 kg/ha KCl dengan 50 % K₂O) (Norasyifah dkk., 2019).

Budidaya pisang Cavendish harus memperhatikan faktor-faktor kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhannya. Tanaman pisang Cavendish tumbuh baik di daerah tropis dengan ketinggian tidak lebih dari 1.600 m di atas permukaan laut (mdpl), suhu optimum 27 °C dan suhu maksimumnya 38 °C, pH 4,5-7,5, curah hujan 2000-2500 mm/tahun atau 100 mm/bulan, dan tumbuh secara optimal jika ditanam di daerah dengan tingkat sinar matahari cukup stabil. Jika sinar matahari terlalu berlebihan mengenai pisang Cavendish maka akan merusak batang tanaman sehingga tanaman akan mati (Lendah, 2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dari bulan Desember 2023 sampai Maret 2024 di Terbanggi Besar dan di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu bor tanah manual, sekop, pH meter, *Global Positioning System* (GPS), *cool box*, cawan petri, tabung reaksi, rak tabung reaksi, tabung Erlenmeyer, tabung Durham, mikropipet, tip, gelas beaker, jarum ose, Bunsen, *syringe*, drigalski, neraca analitik, *shaker*, *hot plate*, *vortex*, *magnetic stirrer*, *colony counter*, autoklaf, inkubator, kaca objek, mikroskop, dan *Biological Safety Cabinet* (BSC).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sampel tanah, NaCl 0,85 %, media agar *Pikovskaya* (5 gram $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 0,5 gram $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 0,2 gram NaCl; 0,1 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,2 gram KCl; 10 gram glukosa; 0,5 gram *yeast extract*; 0,002 gram $\text{H}_{14}\text{MnO}_{11}\text{S}$; 0,002 gram $\text{H}_{14}\text{FeO}_{11}\text{S}$; 20 gram agar; dan 1 liter aquades), media *Nutrient Agar* (NA), media *Nutrient Broth* (NB), glukosa, sukrosa, laktosa, indikator *brom cressol purple* (BCP), aquades, alkohol 70 %, kantung plastik, kertas label, tissue, spiritus, minyak imersi, larutan KOH, larutan HCl, cat Gram A (kristal violet), cat Gram B (lugol/iodin), larutan Gram C (aseton/alkohol), cat Gram D (safranin), cat *malachite green*, larutan hidrogen peroksida (H_2O_2), dan tanaman tembakau.

3.3 Metode Penelitian

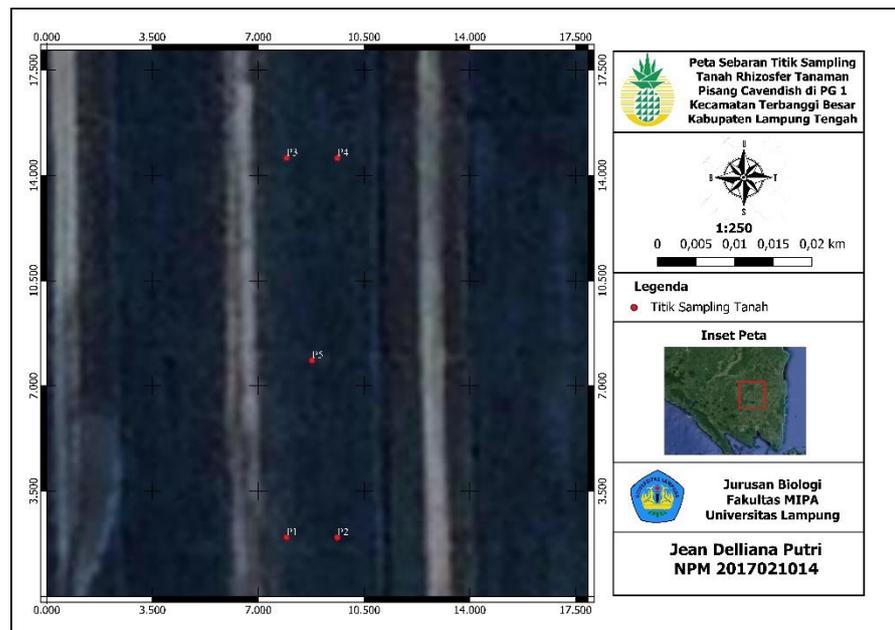
Penelitian ini dilakukan dengan metode eksploratif untuk mengetahui keberadaan bakteri pelarut fosfat (BPF) pada *rhizosfer* pisang Cavendish di Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah. Sampel tanah diambil dengan teknik *purposive sampling* dari 5 titik lokasi yang kemudian dikompositkan dan dilakukan pengukuran pH tanah. Isolasi dilakukan pada media agar *Pikovskaya*. Kemudian dihitung kepadatan koloni bakteri pada media dengan pengujian *Total Plate Count* (TPC) dan bakteri dimurnikan. Selanjutnya dihitung nilai indeks kelarutan fosfat (IKF) untuk menyeleksi 5 koloni bakteri yang memiliki kemampuan paling tinggi dalam melarutkan fosfat. Indikator positif isolat bakteri yang dapat melarutkan fosfat ditandai dengan terbentuknya zona bening (*halozone*) di sekeliling koloni. Lalu dilakukan karakterisasi morfologi, karakterisasi fisiologi, dan uji patogenitas pada daun tembakau.

Karakterisasi morfologi dilakukan untuk mengamati morfologi dari koloni bakteri pelarut fosfat yang telah diperoleh diantaranya meliputi bentuk koloni, warna koloni, bentuk tepi koloni, dan elevasi koloni. Karakterisasi fisiologi dilakukan untuk mengetahui sifat fisiologi bakteri pelarut fosfat yang diperoleh diantaranya meliputi uji pewarnaan Gram, uji pewarnaan spora, uji fermentasi karbohidrat, uji katalase, dan uji motilitas. Uji patogenitas dilakukan untuk mengetahui bahwa isolat bakteri pelarut fosfat yang telah diperoleh bersifat patogen atau non patogen terhadap tanaman tembakau, sehingga isolat yang non patogen dapat dijadikan sebagai kandidat pupuk hayati. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi keragaman karakteristik morfologi dan fisiologi isolat bakteri pelarut fosfat yang diperoleh serta tingkat patogenitas isolat tersebut terhadap tanaman tembakau. Hasil karakterisasi disajikan dalam bentuk tabel dan gambar, kemudian diuraikan secara deskriptif.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah diambil dari *rhizosfer* pisang Cavendish di lahan *Plantation Group 1* (PG 1), Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah. Lokasi lahan berada di 49A2 dengan luas lahan 4,52 ha. Jenis tanah pada lahan adalah tanah humus yang berwarna coklat kehitaman dan bertekstur gembur. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan teknik *purposive sampling* pada tanaman pisang berusia 7,8 bulan. Sampel tanah diambil dari 5 titik, dengan masing-masing titik diambil sebanyak 50 gram.



Gambar 10. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah.

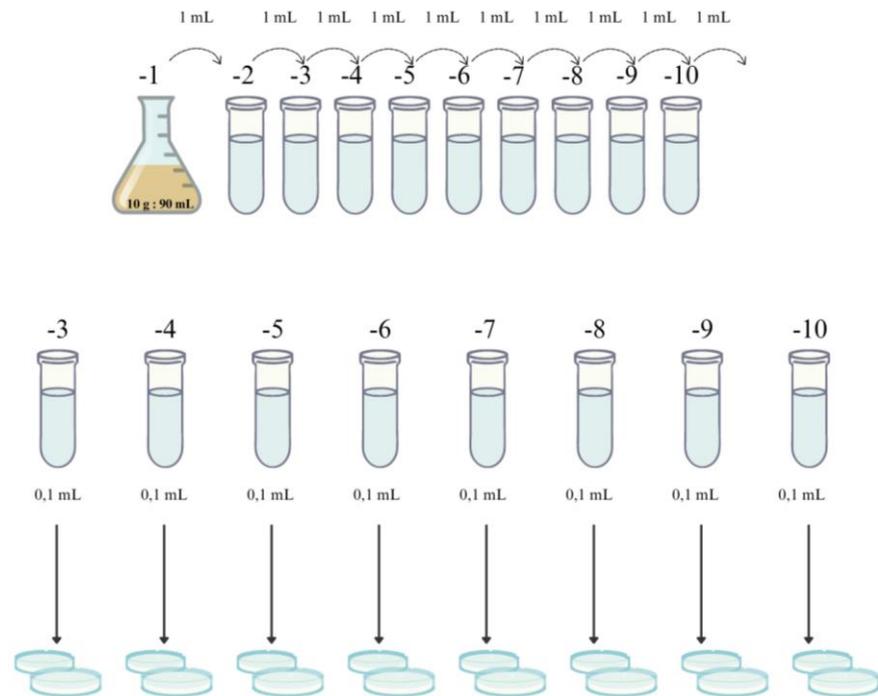
Titik pengambilan sampel tanah yaitu sebagai berikut:

- P1 : 04°50'28.60"S 105°15'11.30"E
- P2 : 04°50'28.60"S 105°15'11.50"E
- P3 : 04°50'27.10"S 105°15'11.30"E
- P4 : 04°50'27.10"S 105°15'11.50"E
- P5 : 04°50'27.90"S 105°15'11.40"E

Kedalaman tanah yang diambil yaitu 0-20 cm dari pangkal akar. Lokasi pengambilan sampel tanah dibersihkan dari serasah, lalu bor tanah ditekan ke dalam tanah dan tanah diambil menggunakan sekop. Tanah dimasukkan ke dalam kantong plastik steril, kemudian dikompositkan dan dilakukan pengukuran pH tanah menggunakan pH meter. Selanjutnya tanah dibawa ke laboratorium Mikrobiologi menggunakan *cool box* (Syarwani dkk., 2022).

3.4.2 Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat

Sampel tanah yang sudah dikompositkan ditimbang sebanyak 10 gram lalu dimasukkan ke dalam tabung Erlenmeyer steril dan ditambahkan 90 mL NaCl 0,85 % steril. Selanjutnya sampel tanah dihomogenkan dengan *shaker* selama 30 menit. Hasil ini dijadikan sebagai pengenceran pertama (10^{-1}) (Rosita *et al.*, 2023). Proses isolasi dilakukan secara aseptis di dalam *Biological Safety Cabinet* (BSC). Suspensi sebelumnya dari pengenceran 10^{-1} diambil sebanyak 1 mL menggunakan mikropipet lalu dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 mL NaCl 0,85 % dan dihomogenkan menggunakan *vortex* sebagai pengenceran 10^{-2} . Prosedur kerja dilakukan dengan cara yang sama hingga memperoleh tingkat pengenceran 10^{-10} . Isolasi bakteri pelarut fosfat dilakukan dengan teknik *spread plate* menggunakan media selektif agar *Pikovskaya*. Suspensi dari pengenceran 10^{-3} sampai 10^{-10} diambil masing-masing sebanyak 0,1 mL menggunakan mikropipet, lalu diinokulasikan ke dalam cawan petri berisi media agar *Pikovskaya*. Selanjutnya suspensi diratakan ke seluruh permukaan media menggunakan *drigalski*. Cawan petri kemudian diinkubasi pada suhu 37 °C selama 3 x 24 jam (Panjaitan dkk., 2020).



Gambar 11. Tahapan Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat.

3.4.3 Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri dengan Pengujian *Total Plate Count* (TPC)

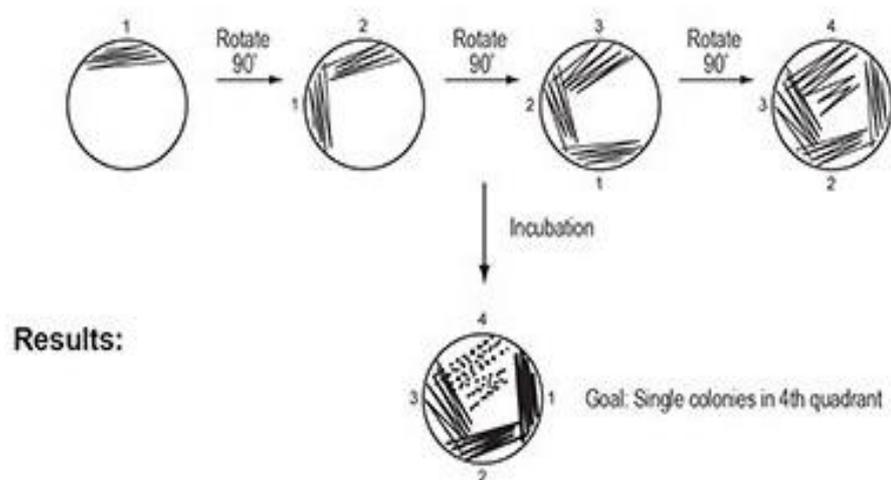
Jumlah koloni yang tumbuh diamati setelah 3 x 24 jam kemudian dihitung kepadatan koloni bakteri yang mampu tumbuh pada media agar *Pikovskaya* menggunakan *colony counter*. Rumus perhitungan kepadatan koloni bakteri yang tumbuh sebagai berikut:

$$\text{Total koloni (CFU/g)} = \frac{\text{Jumlah koloni} \times \text{Faktor pengenceran}}{\text{Berat tanah}}$$

Keterangan: CFU = *Colony Forming Unit*

3.4.4 Pemurnian Isolat Bakteri Pelarut Fosfat

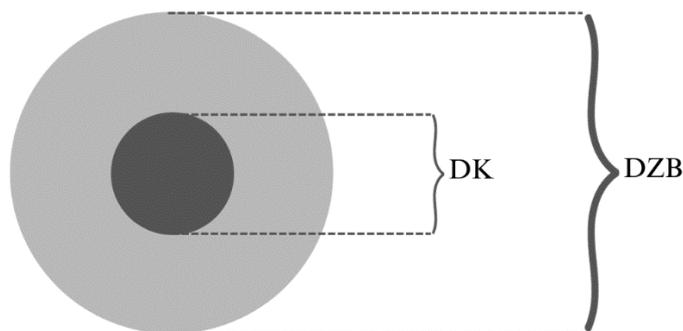
Koloni bakteri hasil isolasi diambil sebanyak 1 ose lalu digoreskan pada media agar *Pivokskaya* dengan teknik *streak plate* metode kuadran lalu diinkubasi pada suhu 37 °C selama 3 x 24 jam untuk mendapatkan koloni tunggal. Selanjutnya koloni tunggal dibuat stok pada media agar miring untuk dilakukan uji lanjutan.



Gambar 12. Teknik *Streak Plate* dengan Metode Kuadran.
(Sanders, 2012)

3.4.5 Perhitungan Nilai Indeks Kelarutan Fosfat (IKF) dan Seleksi Bakteri Pelarut Fosfat

Indikator positif isolat yang berpotensi melarutkan fosfat ditandai dengan terbentuknya zona bening (*halozone*) di sekeliling koloni. Perwakilan isolat potensial ditumbuhkan kembali pada media agar *Pikovskaya* dengan metode titik (*spot inoculation*), lalu cawan petri diinkubasi pada suhu 37 °C selama 3 x 24 jam. Kemampuan pelarutan fosfat pada isolat bakteri dibuktikan berdasarkan nilai indeks kelarutan fosfat (IKF) dengan rumus perhitungan menurut Oksana dkk. (2020) sebagai berikut:



Gambar 13. Ilustrasi Perhitungan Nilai Indeks Kelarutan Fosfat.

$$\text{IKF} = \frac{\text{DZB}}{\text{DK}}$$

Keterangan:

IKF = Indeks Kelarutan Fosfat

DK = Diameter Koloni

DZB = Diameter Zona Bening

Nilai indeks kelarutan fosfat dibagi menjadi empat kategori menurut Mardiansah dan Trimulyono (2021), yaitu sebagai berikut:

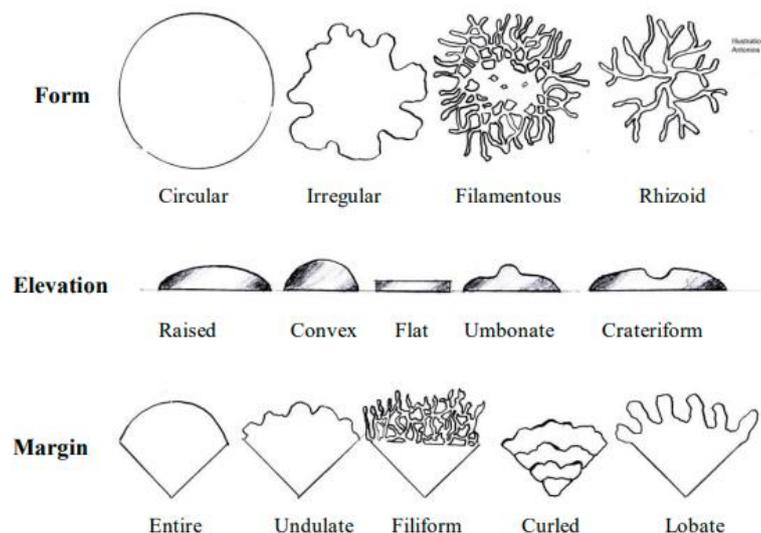
- kategori sangat rendah dengan nilai indeks di bawah 1,00;
- kategori rendah dengan nilai indeks antara 1,00-2,00;
- kategori sedang dengan nilai indeks antara 2,00-3,00;
- kategori tinggi dengan nilai indeks di atas 3,00.

Sebanyak lima isolat bakteri terbaik yang dilihat berdasarkan kemampuan melarutkan fosfat paling tinggi dipilih dan digunakan untuk proses karakterisasi dan uji patogenitas.

3.4.6 Karakterisasi Morfologi Bakteri Pelarut Fosfat

Karakterisasi morfologi kultur murni bakteri pelarut fosfat dilakukan untuk mengamati morfologi dari koloni yang telah diseleksi.

Karakterisasi morfologi diantaranya meliputi bentuk koloni, warna koloni, bentuk tepi koloni, dan elevasi koloni.



Gambar 14. Karakteristik Pola Pertumbuhan Koloni Bakteri. (Petersen and McLaughlin, 2016)

3.4.7 Karakterisasi Fisiologi Bakteri Pelarut Fosfat

3.4.7.1 Uji Pewarnaan Gram

Biakan bakteri digoreskan 1 ose ke atas kaca objek secara aseptik lalu diratakan dan difiksasi. Preparat lalu ditetesi kristal violet dan didiamkan 1 menit, kemudian dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat ditetesi lugol/iodin dan didiamkan 1 menit, lalu dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat ditetesi alkohol 70 % selama 30 detik hingga lapisan tampak lebih pucat. Terakhir, preparat ditetesi safranin dan didiamkan 1 menit, lalu dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat kemudian diamati di bawah mikroskop mulai dari perbesaran kecil terlebih dahulu. Pengamatan meliputi bentuk sel dan jenis Gram bakteri. Jika sel bakteri tampak berwarna ungu menandakan sifat bakteri tersebut Gram positif dan jika sel bakteri tampak berwarna merah menandakan sifat bakteri tersebut Gram negatif (Panjaitan dkk., 2020).

3.4.7.2 Uji Pewarnaan Spora

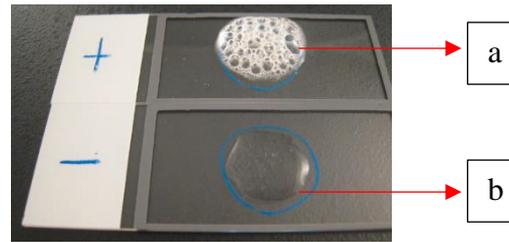
Biakan bakteri digoreskan 1 ose ke atas kaca objek secara aseptik lalu diratakan dan difiksasi. Preparat kemudian ditetesi *malachite green* selama 10 menit lalu dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat lalu ditetesi safranin selama 5 detik, dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat diamati di bawah mikroskop mulai dari perbesaran kecil terlebih dahulu. Pengamatan yang dilakukan meliputi bentuk spora dan warna spora.

3.4.7.3 Uji Fermentasi Karbohidrat

Isolat bakteri pelarut fosfat diambil sebanyak 1 ose lalu diinokulasikan ke dalam tabung reaksi yang berisi media *Nutrient Broth* (NB) yang ditambahkan glukosa, sukrosa, laktosa, serta indikator *bromo cressol purple* (BCP). Tabung reaksi sebelumnya sudah dimasukkan tabung Durham lalu diinkubasi pada suhu 37 °C selama 1 x 24 jam. Hasil uji positif ditandai dengan terjadi perubahan warna media menjadi kuning dan terbentuk gelembung gas di dalam tabung Durham yang berarti bakteri mampu memfermentasi karbohidrat (Nuryanti dkk., 2021).

3.4.7.4 Uji Katalase

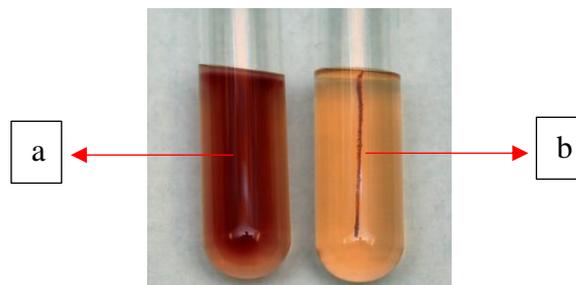
Isolat bakteri diambil sebanyak 1 ose secara aseptik lalu digoreskan di atas permukaan kaca objek. Preparat kemudian ditetesi dengan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) lalu dilakukan pengamatan. Hasil uji katalase positif ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung gas pada isolat setelah ditambahkan larutan hidrogen peroksida (Wibowo dkk., 2022).



Gambar 15. Uji Katalase dengan Hasil Positif (Terbentuk Gelembung Gas) (a) dan Hasil Negatif (Tidak Terbentuk Gelembung Gas) (b). (Khatoon *et al.*, 2022)

3.4.7.5 Uji Motilitas

Isolat bakteri diambil sebanyak 1 ose lalu ditusukkan tegak lurus ke dalam media *Nutrient Agar* semi solid. Media diinkubasi pada suhu 37 °C selama 1 x 24 jam. Hasil uji positif ditandai dengan adanya sebaran bakteri pada media sehingga warna media menjadi keruh (Wibowo dkk., 2022).



Gambar 16. Uji Motilitas dengan Hasil Positif (Ada Sebaran Bakteri) (a) dan Hasil Negatif (Tidak Ada Sebaran Bakteri) (b). (Shield and Catchcart, 2011)

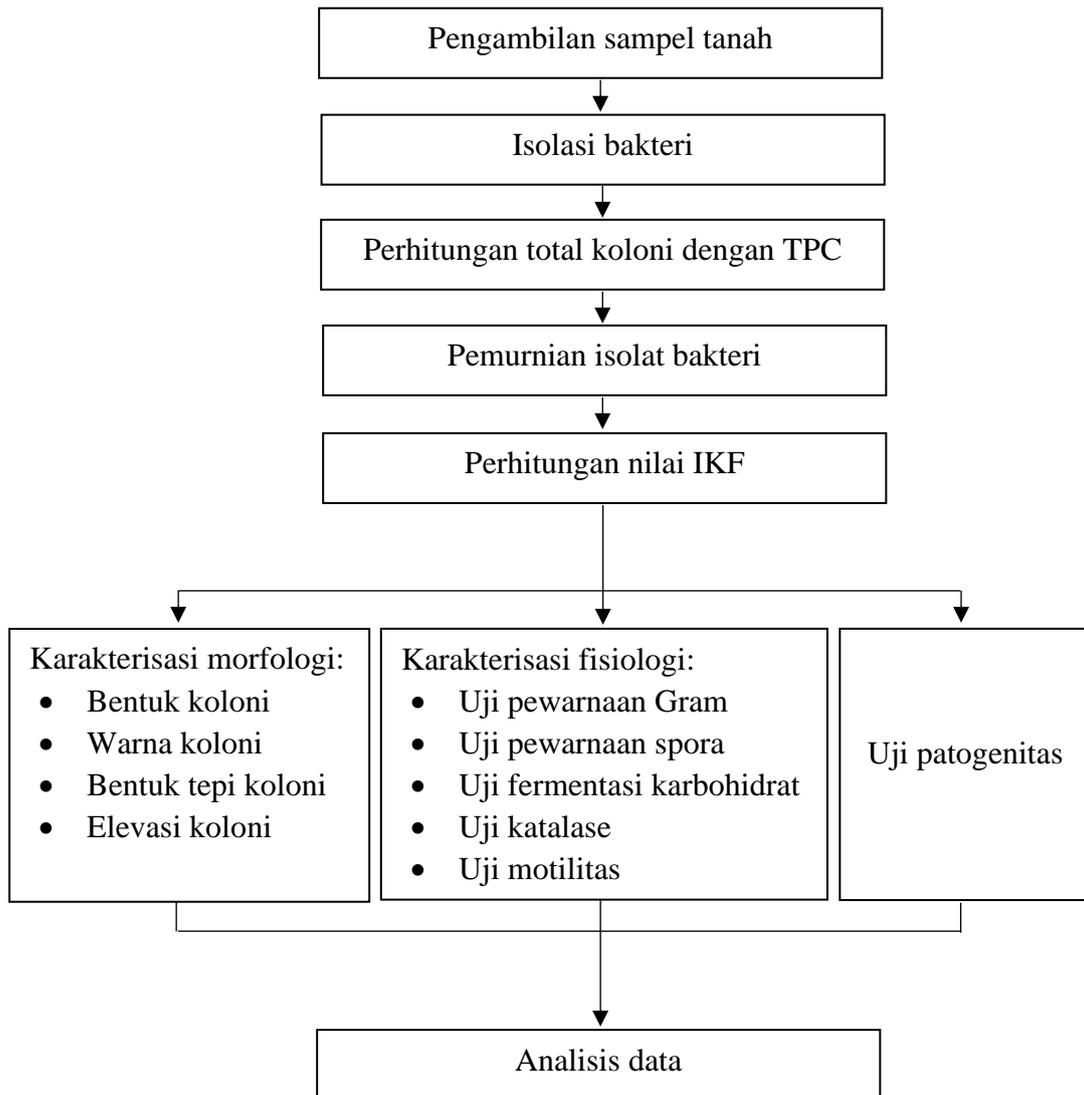
3.4.8 Uji Patogenitas Bakteri Pelarut Fosfat

Isolat bakteri diambil sebanyak 1 ose lalu diinokulasikan ke dalam 100 mL media cair *Pikovskaya* dan diinkubasi dengan *shaker* selama 1 x 24 jam. Selanjutnya 1 mL suspensi bakteri diinjeksikan pada sisi abaksial daun tembakau dengan *syringe* steril, lalu titik injeksi diberi label sesuai isolat. Pengamatan dilakukan setelah 2 x 24 jam dengan melihat gejala nekrosis jika isolat bersifat patogen. Jika daun tetap hijau berarti isolat tidak bersifat patogen (Hanif dan Susanti, 2017).

3.5 Analisis Data

Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan gambar, kemudian data dianalisis secara deskriptif.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 17. Diagram Alir Penelitian.

V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, simpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. diperoleh 5 isolat bakteri pelarut fosfat dari *rhizosfer* pisang Cavendish yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat tertinggi yaitu JE1 dengan nilai IKF 3,65; JE2 dengan nilai IKF 3,63; JE3 dengan nilai IKF 3,13; JE4 dengan nilai IKF 3,08; dan JE5 dengan nilai IKF 2,94;
2. karakteristik morfologi kelima isolat bakteri pelarut fosfat yaitu memiliki bentuk koloni *irregular* dengan tepi *undulate*; warna koloni didominasi putih dengan elevasi meliputi *umbonate*, *raised*, dan *flat*. Karakteristik fisiologi kelima isolat bakteri pelarut fosfat yaitu memiliki bentuk sel *short bacil* dan sifat Gram negatif, kecuali pada isolat JE5 yang memiliki sifat Gram positif; tidak membentuk spora; mampu memfermentasi glukosa, namun tidak mampu memfermentasi sukrosa dan laktosa; mampu menghasilkan enzim katalase; dan tidak motil;
3. isolat JE1 tidak bersifat patogen terhadap daun tembakau, sedangkan isolat JE2, JE3, JE4, dan JE5 bersifat patogen terhadap daun tembakau.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai identifikasi spesies dari kelima isolat bakteri pelarut fosfat yang didapatkan serta perlu dilakukan uji viabilitas pada isolat JE1 dalam bahan pembawa kompos sebelum dijadikan sebagai kandidat pupuk hayati.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmoteleb, A. and D. Gonzalez-Mendoza. (2020). Isolation and Identification of Phosphate Solubilizing *Bacillus* spp. from *Tamarix ramosissima* Rhizosphere and Their Effect on Growth of *Phaseolus vulgaris* Under Salinity Stress. *Geomicrobiology Journal*. 37(10): 1-8.
- Aishwarya, A., P. Anju, D. Amol, and D. Jaiprakash. (2019). Isolation of *Azotobacter* and Study of Its Effect As A Liquid Formulation on Seed Germination and Growth Parameters of Green Gram (*Vigna radiata* L.). *The Pharma Innovation Journal*. 8(4): 336-341.
- Amin, S.S., T.Z. Ghozali, dan M.R.S. Efendi. (2023). Identifikasi Bakteri dari Telapak Tangan dengan Pewarnaan Gram. *Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan*. 1(1): 30-35.
- Andriani, R. dan M. S. Rahayu. (2023). Pertumbuhan dan Produksi Pisang Cavendish Dataran Tinggi di Blitar, Jawa Timur. *Buletin Agrohorti*. 11(3): 323-330.
- Anggraini, I., R.S. Ferniah, dan E. Kusdiyantini. (2019). Isolasi Khamir dari Batang Tanaman Tebu dan Identifikasinya Berdasarkan Sekuens *Internal Transcribed Spacer*. *Jurnal Bioteknologi Biosains Indonesia*. 6(1): 39-52.
- Antriana, Nur. (2014). Isolasi Bakteri Asal Saluran Pencernaan Rayap Pekerja (*Macrotermes* spp.). *Saintifika*. 16(1): 18-28.
- Aryal, S. (2021). *Biochemical Test of Enterobacter cloacae*. <https://microbenotes.com/biochemical-test-of-enterobacter-cloacae/>. Diakses pada 7 Oktober 2023.
- Aryaldi, R., Saida, dan M. Nontji. (2021). Identifikasi Morfologi dan Uji Pelarut Fosfat Bakteri *Rhizosfer* Tanaman Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata* L.). *Jurnal Agrotekmas*. 2(1): 1-10.

- Asril, M. dan Y. Lisafitri. (2020). Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat Genus *Pseudomonas* dari Tanah Masam Bekas Areal Perkebunan Karet di Kawasan Institut Teknologi Sumatera. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 21(1): 40-48.
- Asrul dan I.N.P. Aryantha. (2020). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah *Rhizosfer* Kelapa Sawit (*Eleis guineensis*). *Jurnal Penelitian Pertanian Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh*. 19(1): 30-39.
- Aziz, A. (2013). Analisis Kandungan Unsur Fosfor (P) dalam Kompos Organik Limbah Jamur dengan Aktivator Ampas Tahu. *Jurnal Ilmiah Biologi "Bioscientist"*. 1(1): 20-26.
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Produksi Tanaman Buah-Buahan*. <https://www.bps.go.id/indicator/55/62/1/produksi-tanaman-buah-buahan.html>. Diakses pada 9 Oktober 2023.
- Baloc, I.S., L.F. Ishaq, A.S.J.A. Tae, dan D. Serangmo. (2023). Eksplorasi Bakteri Pelarut Fosfat Indigen pada Ekosistem Kebun dan Pantai di Kabupaten Kupang. *Agrisa*. 12(2): 106-124.
- CABI. (2019). *Musa acuminata (Wild Banana)*. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.35125>. Diakses pada 3 Mei 2024.
- Cain, K.D. and B.R. LaFrenz. (2007). *Laboratory Maintenance of Flavobacterium psychrophilum and Flavobacterium columnare*. <https://doi.org/10.1002/9780471729259.mc13b01s6>. Diakses pada 9 Oktober 2023.
- Chaurasiya, A.K. (2021). *File: Gram Negative Bacilli of Klebsiella in Gram Stained Smear of Culture*. <https://commons.wikimedia.org>. Diakses pada 15 Oktober 2023.
- Firdausi, N., W. Muslihatin, dan T. Nurhidayati. (2016). Pengaruh Kombinasi Media Pembawa Pupuk Hayati Bakteri Pelarut Fosfat Terhadap pH dan Unsur Hara Fosfor dalam Tanah. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 5(2): 53-56.
- Fitriatin, B.N., D.F. Manurung, E.T. Sofyan, and M.R. Setiawati. (2020). Compatibility, Phosphate Solubility, and Phosphatase Activity by Phosphate Solubilizing Bacteria. *The Saudi Journal of Life Sciences*. 5(12): 281-284.
- Hanif, A. dan R. Susanti. (2017). Analisis Senyawa Antifungal Bakteri Endofit Asal Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Agritech*. 1(1): 23-29.
- Hartanti, D.A. (2020). Isolasi Bakteri Endofit Pelarut Fosfat Pada Tanaman Padi (*Oryza sativa*) var. situbagendit. *Stigma*. 13(1): 8-14.

- Harto, A.B., P.A.D. Prastiwi, F.N. Ariadji, D. Suwardhi, F.M. Dwivany, I.W. Nuarsa, and K. Wikantika. (2019). Identification of Banana Plants from *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) Photos Using *Object Based Image Analysis* (OBIA) Method (A Case Study in Sayang Village, Jatinangor District, West Java). *Journal of Biosciences*. 26(1): 7-14.
- Herdiantoro, D., M.R. Setiawati, dan T. Simarmata. (2022). Reaksi Hipersensitif Daun Tembakau oleh Isolat Bakteri Pelarut Kalium pada Praformulasi Pupuk Hayati. *Soilrens*. 20(2): 72-77.
- Ilham, I.B.G. Darmayasa, I.G.M.O. Nurjaya, dan R. Kawuri. (2014). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat Potensial pada Tanah Konvensional dan Tanah Organik. *Jurnal Simbiosis*. 2(1): 173-183.
- Indrayati, S., P.R. Utami, dan R. Cahyadi. (2023). Identifikasi Bakteri pada Masker Medis Setelah 4 Jam dan 8 Jam Pemakaian. *Jurnal Biologi Makassar*. 8(1): 60-69.
- Inya, N., D. Amitra, dan Hafsan. (2021). Identifikasi Masalah Nutrisi Berbagai Jenis Tanaman di Desa Palajau Kabupaten Jeneponto. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*. 1(3): 94-102.
- Irawan, R. dan E. Zulaika. (2016). Pelarutan Fosfat oleh Konsorsium *Azotobacter*. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 5(2): 74-76.
- Irfan, Y. Marsuni, dan D. Fitriyanti. (2021). Eksplorasi Cendawan Rizosfer Asal Tahura Sultan Adam yang Dapat Bersifat Sebagai Agens Antagonis Terhadap *Fusarium oxysporum* Secara In Vitro. *Proteksi Tanaman Tropika*. 4(2): 348-355.
- Junior, D.H.M. (2013). The Rhizosphere - Roots, Soil, and Everything In Between. *Nature Education Knowledge*. 4(3): 1.
- Jyothi, H., Shivaveerakumar, and R. Vandana. (2011). Production of L-Glutaminase by *Pseudomonas* VJ-6. *Research Journal of Biotechnology*. 6(3): 42-49.
- Karpagam, T. and P.K. Nagalakshmi. (2014). Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Microbes from Agricultural. *International Journal of Current Microbiology and applied Sciences*. 3(3): 601-614.
- Khatoon, H., A. Anokhe, and V. Kalia. (2022). Catalase Test: A Biochemical Protocol for Bacterial Identification. *AgriCos e-Newsletter*. 3(1): 53-55.
- Krisnawati, M., I.G.K. Suarjana, dan K.T.P. Gelgel. (2023). Isolasi dan Identifikasi *Enterobacter* spp. pada Anjing Diare. *Buletin Veteriner Udayana*. 15(1): 54-59.

- Kumar, K.P.S., D. Bhowmik, S. Duraivel, and M. Umadevi. (2012). Traditional and Medicinal Uses of Banana. *Journal of Pharmacognosi and Phytochemistry*. 1(3): 57-70.
- Kurnianingsih, R., S. Rosidah, D.N. Ayu, E.S. Prasedya, dan S.P. Astuti. (2021). Identification of Morphological Characters and Time of Mitotic *Musa paradisiaca* cv. Haji. *Jurnal Biologi Tropis*. 21(3): 1096-1105.
- Kurniawat, D., Halimahtussaddiyah, dan Nurkhadijah. (2013). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Kitinolitik dari Produksi Pangan Terasi Udang Lokal Sulawesi Tenggara Serta Uji Aktivitas Enzimatis. *Jurnal Progres Kimia Sains*. 3(2): 19-27.
- Larasati, E.D., M.G.I. Rukmi, E. Kusdiyantini, dan R.C.B. Ginting. (2018). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah Gambut. *Bioma*. 20(1): 1-8.
- Maatoke, C.D., Z. Dewani, dan F. Suciati. (2024). Karakterisasi Morfologi dan Fisiologi Mikrob Pelarut Fosfat dan Mikrob Penambat N₂ (*Azotobacter*) dari *Rhizosfer* Tanaman Padi dan Tanah Hutan Cifor Dramaga Bogor. *Jurnal Pendidikan Biologi*. 11(1): 113-121.
- Mardiyansah, D. dan G. Trimulyono. (2021). Isolasi, Karakterisasi, dan Uji potensi Bakteri Pelarut Fosfat dari *Rhizosfer* Tanaman Jati dan Sengon di Pegunungan Kapur, Daerah Selatan Kabupaten Tulungagung. *LenteraBio*. 10(2): 188-198.
- Marista, E., S. Khotimah, dan R. Linda. (2013). Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rizosfer Tanaman Pisang Nipah (*Musa paradisiaca* var. nipah) di Kota Singkawang. *Protobiont*. 2(2): 93-101.
- Massinai, A., A. Tahir, J. Jompa, dan A. Rantetondok. (2017). Bakteri Asosiasi di Karang Batu (*Scleractinian*) yang Terinfeksi Penyakit Tumor (*Growth Anomalies*) yang Berasal Dari Pulau Salemo Kabupaten Pangkep. *Spermonde*. 3(1): 7-12.
- Mujiyo, H. Widijanto, A. Herawati, F. Rochman, dan R. Rafirman. (2017). Potensi Lahan untuk Budidaya Pisang di Kecamatan Jenawi Karanganyar. *Journal of Sustainable Agriculture*. 32(2): 142-14.
- Mukamto, S. Ulfah, W. Mahalina, A. Syauqi, L. Istiqfaroh, dan G. Trimulyono. (2015). Isolasi dan Karakterisasi *Bacillus* sp. Pelarut Fosfat dari *Rhizosfer* Tanaman *Leguminosae*. *Sains dan Matematika*. 3(2): 62-68.
- Murnita dan Y. A. Taher. (2021). Dampak Pupuk Organik dan Anorganik Terhadap Perubahan Sifat Kimia Tanah dan Produksi Tanaman Padi (*Oriza sativa* L.). *Menara Ilmu*. 15(2): 67-76.

- Norasyifah, M. Ilyas, T. Herlinawati, Kani, dan Mahdiannoor. (2019). Pertumbuhan dan Hasil Pisang Muli (*Musa Acuminata* L.) dengan Pemberian Pupuk Organik Guano. *Ziraa'ah*. 44(2): 193-205.
- Nosrati, R., P. Owlia, H. Saderi, I. Rasooli, and M.A. Malboobi. (2014). Phosphate Solubilization Characteristics of Efficient Nitrogen Fixing Soil *Azotobacter* strains. *Iranian Journal of Microbiology*. 6(4): 285-295.
- Novalia, E. Nurtjahya, R. Santi, dan E. Sari. (2022). Karakter Bakteri *Azotobacter* dan *Azospirillum* dari Rizosfer Tanaman Lada di Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Bios Logos*. 12(1): 46-54.
- Nuraisya, Y. S. P. Dungan, dan U. Hasanah. (2020). Bakteri Pelarut Fosfat Indigen *Rhizosfer* Kopi (*Coffea* sp.) dan Paitan (*Tithonia diversifolia*): Kemampuan Melarutkan Fosfat dalam Media Pikovskaya Cair. *Agrotekbis*. 8(3): 483-491.
- Nurwijayo, W. (2021). *Cara Budidaya Pisang Cavendish, Tingkatkan Kualitas Buah*. <https://gdm.id/budidaya-pisang-cavendish/>. Diakses pada 24 Juni 2024.
- Nuryanti, S., Fitriani, dan A.R. Pratiwi. (2021). Karakterisasi Isolat Bakteri Penghasil Selulosa dari Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*). *As-Syifaa Jurnal Farmasi*. 13(1): 71-79.
- Nurza, I.S.A., P.I. Nursari, A. Zakhyana, A. Akbar, M. Suryadi, N. Purnamasari, F.M. Khofifi, dkk. (2020). Uji Kelayakan Tanah terhadap Penanaman Tanaman Pisang, Singkong, dan Ubi Jalar di Daerah Sekitar Villa Silma Kecamatan Cilember Kabupaten Bogor. *Jurnal Sains, Teknologi, Sosial, Pendidikan, dan Bahasa*. 5(2): 26-31.
- Oksana, M. Irfan, A.R. Fianiray, dan S.I. Zam. (2020). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanah Ultisol di Kecamatan Rumbai, Pekanbaru. *Agrotechnology Research Journal*. 4(1): 22-25.
- Panjaitan, F.J., T. Bachtiar, I. Arsyad, dan O.K. Lele. (2020). Isolasi dan Karakteristik Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dari *Rhizosfer* Tanaman Jagung Fase Vegetatif dan Fase Generatif. *Jurnal Agroplasma*. 7(2): 53-60.
- Panjaitan, F.J., T. Bachtiar, I. Arsyad, O.K. Lele, dan W. Indriyani. (2020). Karakterisasi Mikroskopis dan Uji Biokimia Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dari *Rhizosfer* Tanaman Jagung Fase Vegetatif. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Lingkungan*. 1(1): 9-17.
- Petersen, J. and S. McLaughlin. (2016). *Laboratory Exercises in Microbiology: Discovering the Unseen World Through Hands-On Investigation*. New York: City University of New York (CUNY).

- Punuindoong, S., M.T.M. Sinolungan, dan J.J. Rondonuwu. (2021). Kajian Nitrogen, Fosfor, Kalium dan C-Organik pada Tanah Berpasir Pertanian Kelapa Desa Ranoketang Atas. *Soil Environmental*. 21(3): 6-11.
- Purwaningsih, D. dan D. Wulandari. (2017). Uji Aktivitas Antibakteri Hasil Fermentasi Bakteri Endofit Umbi Talas (*Colocasia esculenta* L) Terhadap Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. *Jurnal Sains Kesehatan*. 3(5): 750-759.
- Purwaningsih, S. (2012). Isolasi, Populasi, dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Daerah Perakaran dan Tanah dari Bengkulu, Sumatra. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 13(1): 101-108.
- Puspita, F., M. Ali, dan R. Pratama. (2017). Isolasi dan Karakterisasi Morfologi dan Fisiologi Bakteri *Bacillus* sp. Endofitik dari Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Agrotek*. 6(2): 44-49.
- Rahmadian, C.A., Ismail, M. Abrar, Erina, Rastina, dan Y. Fahrimal. (2018). Isolasi dan Identifikasi Bakteri *Pseudomonas* sp. pada Ikan Asin di Tempat Pelelangan Ikan Labuhanhaji Aceh Selatan. *Jimvet*. 2(4): 493-502.
- Rahmayuni, E., S. Ismiani, D.H. Muslimah, E.D.I. Wilujeng, dan M.N. Rizqulloh. (2018). Karakterisasi dan Viabilitas Isolat Bakteri Pelarut Fosfat dalam Bahan Pembawa Kompos dan Zeolit. *Jurnal Agrosains dan Teknologi*. 3(1): 31-38.
- Rosita, R., E. Aprianda, F. Hazra, dan D.D. Eris. (2023). Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Three Types of Rhizosphere and Their Potency to Increase Growth of Corn (*Zea mays*). *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*. 10(1): 30-38.
- Sanders, E.R. (2012). Aseptic Laboratory Techniques: Plating Methods. *Journal of Visualized Experiments*. 63(3064): 1-18.
- Sandle, T. (2020). Assessing Gram-Stain Error Rates within The Pharmaceutical Microbiology Laboratory. *European Journal of Parenteral and Pharmaceutical Sciences*. 25(1): 1-12.
- Sari, D.R. (2015). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Tanah yang Terdapat di Sekitar Perakaran Tanaman. *Bio-site*. 1(1): 21-27.
- Sariamanah, W.O.S., A. Munir, dan A. Agriansyah. (2016). Karakterisasi Morfologi Tanaman Pisang (*Musa paradisiaca* L.) di Kelurahan Tobimeita Kecamatan Abeli Kota Kendari. *Jurnal Ampibi*. 1(3): 32-41.
- Setiawati, M.R., P. Suryatmana, R. Hindersah, B.N. Fitriatin, dan D. Herdiyantoro. (2014). Karakterisasi Isolat Bakteri Pelarut Fosfat untuk Meningkatkan Ketersediaan P pada Media Kultur Cair Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati dan Fisik*. 16(1): 30-34.

- Shield, P. and L. Cathcart. (2011). *Motility Test Medium Protocol*. New York: American Society for Microbiology.
- Sianipar, G.W.S., Sartini, dan Riyanto. (2020). Isolasi dan Karakteristik Bakteri Endofit pada Akar Pepaya (*Carica papaya* L). *Jurnal Ilmiah Biologi UMA*. 2(2): 83-92.
- Silalahi, L.F.B., Mukarlina, dan Rahmawati. (2020). Karakterisasi dan Identifikasi Genus Bakteri Endofit dari Daun dan Batang Jeruk Siam (*Citrus nobilis* Var. Microcarpa) Sehat di Desa Anjungan Kalimantan Barat. *Protobiont*. 9(1): 26-29.
- Sonia, A.V. dan T.C. Setiawati. (2022). Aktivitas Bakteri Pelarut Fosfat Terhadap Peningkatan Ketersediaan Fosfat pada Tanah Masam. *Jurnal Agroekoteknologi*. 15(1): 44–53.
- Suartini, N.L.P.E., I.B.G. Darmayasa, dan I.G.P. Ardhana. (2013). Uji Keberadaan dan Karakterisasi Mikroba Pelarut Fosfat pada Berbagai Merek Pupuk Organik. *Jurnal Biologi*. 17(2): 42-46.
- Sudewi, S., A. Ala, B. Patandjengi, and M. Farid. (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(012017): 1-9.
- Sugianto, S.K., M. Shovitri, dan A. Hidayat. (2018). Potensi Rhizobakteri Sebagai Pelarut Fosfat. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 7(2): 71-74.
- Syarwani, S. Aisyah, Hadija, dan Nirawati. (2022). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari *Rhizosfer* Tanaman Aren (*Arenga pinnata* (Wurb) Merr) di Desa Bonto Somba Kabupaten Maros. *Jurnal Eboni*. 4(2): 63-70.
- Utami, S., S. Lidar, dan M. Rizal. (2021). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri dan Jamur Pelarut Fosfat pada Berbagai Lokasi. *Jurnal Agrotela*. 1(1): 33-42.
- Wibowo, R.H., S.R. Sembiring, Sipriyadi, W. Darwis, R. Supriyati, T. Hidayah, dan S.P. Yudha. (2022). Kemampuan Bakteri Endofit Pelarut Fosfat dari Tumbuhan Akar Kuning (*Arcangelisia flava* (L.) Merr) Asal Pulau Enggano, Provinsi Bengkulu. *Jurnal Biologi*. 15(2): 171-181.
- Wisdawati, E., T. Kuswinanti, A. Rosmana, dan A. Nasruddin. (2019). Keanekaragaman Cendawan *Rhizosfer* Pada Tanaman Talas Satoimo. *Jurnal Agropiantae*. 8(2): 51-57.