

**ISOLASI DAN SKRINING BAKTERI PELARUT FOSFAT PADA  
TANAMAN JEWAWUT (*Setaria italica* L.) SEBAGAI  
SUMBER BELAJAR BIOLOGI SISWA SMA**



**Oleh :  
Samrawati  
H0321517**

**Skripsi ini ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk  
mendapatkan gelar Sarjana Pendidikan**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI  
JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN IPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT**

**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ISOLASI DAN SKRINING BAKTERI PELARUT FOSFAT PADA  
TANAMAN JEWAWUT (*Setaria italica* L.) SEBAGAI  
SUMBER BELAJAR BIOLOGI SISWA SMA**

**SAMRAWATI**

**NIM. H0321517**

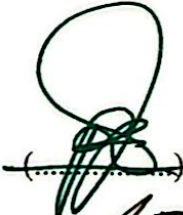
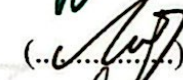
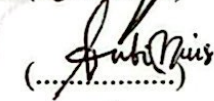
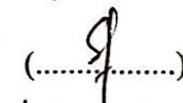

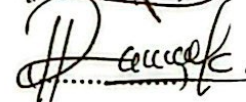
Dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tanggal: 08 Oktober 2025

**PANITIA UJIAN**

Ketua Penguji : Prof. Dr. H. Ruslan, M.Pd.  
Sekretaris Ujian : M. Irfan, S.Pd., M.Pd.  
Pembimbing I : Nurmuliayanti Muis, S.Si., M.Si.  
Pembimbing II : Dr. Sainab, M.Pd.  
Penguji I : Ramlah, S.Si., M.Sc.  
Penguji II : Muh. Rizal Kurniawan, S.Pd., M.Pd.

  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....

Majene, 08 Oktober 2025

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Sulawesi Barat

Dekan,

  
**Prof. Dr. H. Ruslan, M.Pd.**  
**NIP. 196312311990031028**

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama mahasiswa : Samrawati  
NIM : H0321517  
Program Studi : Pendidikan Biologi

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila pada kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya.

Majene, 08 Oktober 2025

Yang membuat pernyataan



Samrawati  
NIM. H0321517

## ABSTRAK

**SAMRAWATI:** Isolasi dan Skrining Bakteri Pelarut Fosfat Pada Tanaman Jewawut (*Setaria Italica L.*) sebagai Sumber Belajar Biologi Siswa SMA. **Skripsi. Majene: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat, 2025**

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi keberadaan serta kemampuan bakteri pelarut fosfat yang ditemukan di sekitar akar tanaman jewawut (*Setaria italica L.*), sekaligus mengkaji potensi hasil temuannya untuk dikembangkan menjadi media pembelajaran berupa infografis yang relevan bagi siswa SMA pada mata pelajaran Biologi. Pendekatan yang diterapkan adalah kuantitatif dengan metode deskriptif, yang memungkinkan peneliti menggambarkan fenomena secara rinci melalui data numerik. Langkah-langkah penelitian meliputi pengambilan sampel dari wilayah perakaran (rhizosfer) tanaman jewawut, penyiapan peralatan dan bahan laboratorium, formulasi dan sterilisasi media kultur, proses isolasi mikroba, pengujian aktivitas pelarutan fosfat, karakterisasi morfologi koloni, uji pewarnaan Gram, serta pengujian kemampuan isolat dalam memproduksi hormon tumbuhan berupa Indole Acetic Acid (IAA) dan Gibberellin A3 (GA3). Data diperoleh melalui observasi langsung terhadap pertumbuhan koloni bakteri, zona bening pelarutan fosfat, serta hasil uji laboratorium terhadap kemampuan produksi hormon tumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat yang mampu melarutkan fosfat berasal dari bagian jewawut muda pinggir rhizosfer (JMPR). Berdasarkan hasil uji pelarutan fosfat, lima isolat bakteri yaitu JMPR 2, JMPR 8, JMPR 11, JMPR 16, dan JMPR 17 diketahui mampu melarutkan fosfat. Pada uji pewarnaan Gram, empat isolat tergolong Gram negatif dan satu isolat Gram positif dengan bentuk dominan coccus. Selain itu, tiga isolat di antaranya terbukti mampu menghasilkan hormon IAA dan GA3. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bakteri pelarut fosfat dari tanaman jewawut memiliki potensi sebagai biofertilizer untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan dapat dijadikan sebagai sumber belajar kontekstual dalam mata pelajaran Biologi pada sub materi Bakteri tingkat SMA.

Kata Kunci: Isolasi, Skrining, Tanaman Jewawut, Bakteri Pelarut Fosfat, Infografis

## ***ABSTRACT***

**SAMRAWATI:** Isolation and Screening of Phosphate-Solubilizing Bacteria in Foxtail Millet (*Setaria italica* L.) as a Learning Resource for High School Biology Students. **Undergraduate Thesis. Majene: Faculty of Teacher Training and Education, Universitas Sulawesi Barat, 2025.**

This study aims to explore the presence and capabilities of phosphate-solubilizing bacteria found in the rhizosphere of foxtail millet (*Setaria italica* L.), as well as to examine the potential of these findings to be developed into an infographic-based learning resource for high school students in Biology subjects. A quantitative approach with a descriptive method was applied, allowing the researcher to present a detailed overview of the phenomena using numerical data. The research procedures included sample collection from the rhizosphere of *Setaria italica*, preparation of tools and materials, formulation and sterilization of culture media, microbial isolation, phosphate solubilization assays, colony morphological characterization, Gram staining, and testing the bacterial isolates' ability to produce plant hormones such as Indole Acetic Acid (IAA) and Gibberellin A3 (GA3). Data were obtained through direct observation of bacterial colony growth, clear zones of phosphate solubilization, and laboratory test results on plant hormone production. The findings revealed that phosphate-solubilizing isolates were obtained from the young foxtail millet rhizosphere margin (JMPR). Based on the phosphate solubilization tests, five bacterial isolates—JMPR 2, JMPR 8, JMPR 11, JMPR 16, and JMPR 17—demonstrated phosphate-solubilizing capabilities. Gram staining results showed that four isolates were Gram-negative and one was Gram-positive, predominantly coccus in shape. Additionally, three of the isolates were proven to produce IAA and GA3 hormones. These results indicate that phosphate-solubilizing bacteria from foxtail millet have potential as biofertilizers to support plant growth and can serve as contextual learning materials in the Bacteria sub-topic of high school Biology curricula.

**Keywords:** Isolation, Screening, Foxtail Millet, Phosphate-Solubilizing Bacteria, Infographic

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Jewawut (*Setaria italica* L.) merupakan tanaman yang termasuk dalam famili Poaceae, yang dikenal juga dengan nama *Foxtail millet*. Jewawut termasuk biji-bijian paling utama dan dikonsumsi oleh sepertiga penduduk dunia urutan keenam. Hal ini dikarenakan jewawut memiliki banyak kandungan gizi sebagaimana tanaman biji-bijian atau sereal lainya misalnya padi (Hidayati dan Syarif, 2020). Daerah di Indonesia yang banyak memproduksi jewawut salah satunya adalah Sulawesi Barat. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi jewawut diantaranya kondisi tanah, varietas tanaman, iklim, dan teknik budidaya. Sehingga penting bagi petani jewawut untuk memperhatikan faktor-faktor tersebut (Pasally, 2022).

Daerah di Sulawesi Barat yang paling banyak memproduksi jewawut adalah Desa Galung Lego, bagian pesisir Kecamatan Balanipa, Kabupaten Polewali Mandar (Polman), dengan tingkat produksi sebanyak 2-3 ton jewawut per hektarnya. Namun, produksi hasil panen menunjukkan penurunan salah satunya diakibatkan karena kurangnya pengetahuan petani terkait pemupukan yang efektif (Arhim et al., 2023). Penurunan produksi jewawut bisa mencapai 0,8-1,4 ton per hektar. Hasil wawancara yang dilakukan penulis dengan petani jewawut di Desa Galung Lego, diketahui bahwa petani banyak menggunakan pupuk sintetis atau pupuk kimia dan tidak pernah menggunakan pupuk organik atau biofertilizer. Penggunaan pupuk kimia atau sintetis secara terus menerus akan memberikan dampak negatif, berupa kerusakan sistem tanah karena kehilangan bahan organiknya. Selain itu, membuat tanah juga rentan terhadap erosi, permeabilitasnya menurun, serta populasi mikroba pada tanah juga akan menurun. Sehingga hal ini akan mengurangi penyerapan unsur hara esensial yang dibutuhkan oleh tanaman (Rosalina et al., 2021).

Salah satu unsur hara esensial yang banyak dibutuhkan tanaman adalah fosfor (P), di tanah fosfor (P) tersedia dalam bentuk fosfat ( $PO_4^{3-}$ ) (Condrón dan Turner, 2017). Fosfor (P) berperan dalam proses fotosintesis, respirasi, transfer, dan proses penyimpanan energi, juga pembelahan serta pembesaran sel. Namun,

penggunaan pupuk sintetis secara terus menerus akan mengurangi jumlah fosfat yang dapat diperoleh tanaman. Hal ini dikarenakan pemakaian pupuk sintetis jangka panjang mengakibatkan tanah menjadi cepat mengeras, sulit menyimpan air, dan pH tanah menjadi asam. Pada tanah yang asam, fosfat akan mengendap dalam bentuk senyawa tidak larut sehingga mengurangi ketersediaannya bagi tanaman (Kartikawati et al., 2017). Selain itu, pupuk kimia mengandung kation berupa Ca, Al, Fe, yang dapat terfiksasi dengan fosfat dan membentuk senyawa-senyawa yang sulit diserap oleh akar tanaman misalnya seperti kalsium fosfat, aluminium fosfat dan besi fosfat. Sehingga pemberian pupuk pada tanaman jawawut lebih baik menggunakan pupuk hayati atau biofertilizer (Hartati, 2023).

Pupuk hayati bermanfaat dalam proses pertumbuhan tanaman karena mengandung mikroorganisme yang dapat menambah aktivitas biologis tanah misalnya dekomposisi bahan organik (Supriyono et al., 2022) serta memproduksi hormon pertumbuhan auxin dan giberelin (Kalay et al., 2020). Selain itu, pemakaian pupuk hayati juga tidak akan menyebabkan pencemaran pada lingkungan tanah. Salah satu jenis pupuk hayati adalah pupuk hayati fosfat yang merupakan pupuk organik yang mengandung agensia mikroorganisme pelarut fosfat. Saat diaplikasikan ke dalam tanah akan berada di bagian rhizosfer. Agensia mikroorganisme terdiri dari kelompok bakteri, fungi atau sedikit aktinomisetes (Susilowati et al., 2022). Kelompok bakteri rhizosfer pada pupuk hayati disebut dengan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*), salah satu diantaranya adalah jenis bakteri pelarut fosfat (BPF) (Murrobi, 2022).

Beberapa spesies bakteri pelarut fosfat adalah *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus* sp. dan *Chromobacterium* sp. Mekanisme pelarutan fosfat oleh agensia hayati baik bakteri, fungi, ataupun aktinomisetes dilakukan dengan dua cara diantaranya (i) Agensia hayati dapat memproduksi asam-asam organik diantaranya asam formiat, asam asetat, asam sitrat, asam propionat, asam laktonat, asam glikolat, asam suksinat, yang mampu melarutkan fosfat terfiksasi dengan kation Ca, Al, Fe, dalam tanah menjadi fosfor (P)-tersedia serta (ii) memproduksi enzim fosfatase yang berfungsi dalam proses mineralisasi fosfat organik (Susilowati et al., 2022).

Penelitian terkait potensi bakteri rhizosfer dalam melarutkan fosfat pada tanaman jiwawut minim dilakukan di Sulawesi Barat khususnya di Kabupaten Polewali Mandar. Oleh karena itu, peneliti berinisiatif untuk meneliti kemampuan bakteri rhizosfer pelarut fosfat pada tanaman jiwawut yang bersumber dari perkebunan masyarakat di Kabupaten Polewali Mandar. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui kandidat bakteri yang berpotensi melakukan pelarutan fosfat pada tanah jiwawut dengan melihat kemampuan tumbuh bakteri pada media Pikovskaya, yang dalam penelitian lanjutan berpotensi dijadikan sebagai kandidat PGPR pada pengembangan pupuk hayati atau biofertilizer.

Hasil penelitian ini kemudian akan dijadikan sebagai sumber belajar Biologi berupa media yang dinilai sesuai untuk siswa. Wawancara terhadap guru mata pelajaran Biologi di kelas X SMAN 1 Tinambung, memperoleh hasil bahwa guru belum menerapkan sumber belajar berupa infografis pada saat pembelajaran Biologi. Sumber belajar yang digunakan siswa adalah buku paket. Penggunaan infografis dalam proses pembelajaran tentunya akan menambah variasi sumber belajar yang dapat digunakan siswa, sehingga diharapkan mampu meningkatkan ketertarikan siswa menyimak pembelajaran.

Proses pembelajaran Biologi di sekolah sampel juga kurang dikaitkan dengan sumber daya lokal dan permasalahan nyata di sekitar lingkungan siswa. Padahal, pendidikan saat ini menekankan penggunaan pembelajaran kontekstual dimana proses pembelajaran harusnya dikaitkan dengan konteks kehidupan sehari-hari siswa, seperti sumber daya lokal dan masalah di sekitar mereka. Hal ini dibutuhkan agar siswa memiliki keterampilan untuk menerapkan konsep materi pembelajaran pada permasalahan kehidupan yang berbeda (Sembarang dan Nasution, 2023). Menjadikan hasil penelitian ini sebagai sumber belajar tentunya sejalan dengan konsep pembelajaran Biologi karena menyangkut permasalahan yang terjadi di sekitar lingkungan siswa dan terkait dengan peran Biologi dalam permasalahan sehari-hari. Pelaksanaan pembelajaran kontekstual dapat menggunakan sumber belajar berupa infografis yang berisi representasi visual dari informasi, data atau pengetahuan. Kelebihan infografis adalah dapat merepresentasikan visual grafis dari konten pendidikan dengan materi yang kompleks, lalu disajikan dalam penjelasan yang lebih sederhana dan mudah

dimengerti (Tumewu et al., 2023). Sehingga, hasil penelitian ini akan dijadikan sebagai sumber belajar Biologi dalam bentuk infografis yang sesuai dengan pembelajaran kontekstual.

Berdasarkan uraian di atas peneliti merasa perlu melakukan penelitian berjudul “Isolasi dan Skrining Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanaman Jewawut (*Setaria Italica* L.) sebagai Sumber Belajar Biologi Siswa SMA”.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang, maka identifikasi masalah pada penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Tidak adanya data terkait bakteri rhizosfer pelarut fosfat yang diisolasi dari tanaman jewawut di daerah Sulawesi Barat.
2. Terbatasnya kandidat bakteri yang berpotensi sebagai pupuk hayati pelarut fosfat yang diisolasi dari tanaman jewawut.
3. Belum adanya implementasi hasil penelitian mengenai isolasi dan skrining rhizosfer pelarut fosfat kandidat biofertilizer pada tanaman jewawut ke dalam dunia pendidikan sebagai sumber belajar Biologi dalam bentuk infografis.

## **C. Batasan dan Rumusan Masalah**

Agar penelitian bisa lebih efektif dan efisien maka perlu adanya pembatasan pada permasalahan yang dibahas. Batasan dan rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **1. Batasan masalah penelitian**

Batasan ruang lingkup penelitian ini yaitu isolasi dan skrining bakteri rhizosfer dari tanaman jewawut berasal dari lahan pertanian jewawut di Desa Galung Lego, bagian pesisir Kecamatan Balanipa, Kabupaten Polewali Mandar (Polman), Sulawesi Barat terhadap kemampuannya dalam melarutkan fosfat menghasilkan IAA (*Indole Acetic Acid*), dan GA3 (Giberelin A3). Hasil penelitian nantinya akan diimplementasikan sebagai sumber belajar Biologi dalam bentuk infografis pada materi bakteri kelas X SMA.

## **2. Rumusan masalah**

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana mengisolasi bakteri rhizosfer pelarut fosfat pada tanaman jiwawut?
- b. Bagaimana skrining bakteri rhizosfer pelarut fosfat pada tanaman jiwawut?
- c. Bagaimana skrining terhadap bakteri pelarut fosfat dalam menghasilkan IAA dan GA3?
- d. Bagaimana implementasi hasil penelitian dalam bentuk infografis sebagai sumber belajar pada materi bakteri untuk mendukung pembelajaran Biologi?

## **D. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian ini bertujuan mengisolasi bakteri rhizosfer dari tanaman jiwawut.
2. Penelitian ini bertujuan melakukan skrining terhadap bakteri rhizosfer yang mampu melarutkan fosfat dan karakteristik morfologi isolat bakteri pelarut fosfat pada tanaman jiwawut.
3. Penelitian ini bertujuan melakukan skrining terhadap bakteri pelarut fosfat yang mampu memproduksi IAA dan GA3.
4. Penelitian ini bertujuan untuk membuat infografis sebagai sumber belajar Biologi pada materi bakteri.

## **E. Manfaat Penelitian**

### **1. Manfaat teoritis**

Menambah pengetahuan di bidang keilmuan Biologi mengenai kemampuan mikroba pelarut fosfat dari tanaman jiwawut.

### **2. Manfaat praktis**

- a. Bagi peneliti
  - 1) Hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai sumber pengetahuan terkait potensi bakteri rhizosfer yang dijadikan sampel pengujian dalam melarutkan fosfat.
  - 2) Hasil penelitian dapat dimanfaatkan menjadi sumber belajar berupa infografis.

- b. Bagi pendidikan
  - 1) Hasil penelitian dapat dimanfaatkan dalam mendukung pembelajaran Biologi khususnya pada materi bakteri.
  - 2) Hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi mengenai salah satu peranan nyata bakteri dalam kehidupan.
- c. Bagi masyarakat
  - 1) Hasil penelitian dapat dijadikan sumber informasi mengenai mikroorganisme tanah yang dapat menjadi agen Biologis dalam memperbaiki penyerapan unsur hara tanaman.
  - 2) Lebih lanjut hasil penelitian dapat memberikan opsi kepada masyarakat untuk mengurangi penggunaan pupuk sintetis.

#### **F. Penelitian Relevan**

1. Penelitian Penelitian yang dilakukan oleh Adriantama et al. (2021) berjudul “Isolasi dan Identifikasi Morfologi serta Uji Pelarutan Fosfat terhadap Bakteri Rhizosfer Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)” merupakan studi kuantitatif. Dalam penelitian tersebut, dari 23 isolat bakteri yang berhasil diisolasi, hanya 8 isolat yang dapat diuji menggunakan media pikovskaya karena 15 isolat lainnya mengalami kerusakan. Dari 8 isolat tersebut, dua di antaranya, yaitu isolat nomor 13 dan 20, menunjukkan adanya zona bening yang mengindikasikan kemampuan melarutkan fosfat, masing-masing dengan diameter 1,5 mm dan 0,75 mm. Kesamaan antara penelitian tersebut dengan penelitian ini terletak pada objek kajian, yaitu bakteri rhizosfer dari satu jenis tanaman, metode penelitian yang bersifat kuantitatif, serta penggunaan desain eksperimen laboratorium. Fokus utama kedua penelitian juga serupa, yaitu menilai kemampuan bakteri rhizosfer dalam melarutkan fosfat. Perbedaannya terletak pada jenis tanaman yang menjadi sumber rhizosfer; penelitian sebelumnya menggunakan tanaman kedelai (*Glycine max* L.), sedangkan penelitian ini menggunakan tanaman jewawut (*Setaria italica* L.). Selain itu, penelitian Adriantama et al. juga mengevaluasi keberadaan bakteri Rhizobium melalui media YEMA, sedangkan penelitian ini berfokus tidak hanya pada pelarutan fosfat, tetapi juga mencakup uji skrining hormon pertumbuhan IAA

dan GA3. Perbedaan lainnya adalah penelitian terdahulu tidak mengarah pada pengembangan media pembelajaran, sedangkan penelitian ini dirancang untuk menghasilkan infografis edukatif yang akan digunakan dalam pembelajaran siswa SMA pada topik bakteri.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Fallo et al. (2022) berjudul “Seleksi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum Annuum* L.) di Kabupaten Timor Tengah Utara” merupakan studi kuantitatif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari 20 isolat yang berhasil dikoleksi, sebanyak 5 isolat menunjukkan kemampuan dalam melarutkan fosfat. Nilai Indeks Pelarutan Fosfat (IPF) yang diperoleh berkisar antara 0,25 mm hingga 2,10 mm. Isolat dengan IPF tertinggi adalah CMB04 sebesar 2,10 mm, sementara isolat dengan IPF terendah adalah CN04 dengan nilai 0,25 mm. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang sedang dilakukan, di antaranya objek yang diteliti adalah bakteri rhizosfer dari satu jenis tanaman, pendekatan yang digunakan bersifat kuantitatif, dan desain penelitian berupa eksperimen di laboratorium. Fokus utama kedua penelitian juga serupa, yaitu mengisolasi dan mengevaluasi kemampuan bakteri rhizosfer dalam melarutkan fosfat. Namun, perbedaan terletak pada jenis tanaman sumber rhizosfer; penelitian ini menggunakan tanaman jiwawut (*Setaria italica* L.), sedangkan penelitian sebelumnya menggunakan tanaman cabai rawit (*Capsicum annuum* L.). Tujuan akhir kedua penelitian juga berbeda: Fallo et al. berfokus pada potensi peningkatan produktivitas tanaman cabai melalui identifikasi bakteri pelarut fosfat, sedangkan penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan media pembelajaran berbentuk infografis yang dapat digunakan siswa SMA dalam memahami materi tentang bakteri.
3. Aryaldi et al. (2021) melakukan penelitian berjudul “Identifikasi Morfologi dan Uji Pelarut Fosfat Bakteri Rhizosfer Tanaman Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata* L.)”, yang merupakan jenis penelitian kuantitatif. Dalam studi tersebut, sebanyak 7 isolat diuji menggunakan media Pikovskaya, dan hasilnya menunjukkan bahwa 4 isolat, yaitu isolat nomor 7, 13, 15, dan 19 memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat, meskipun waktu munculnya zona bening dan nilai indeks pelarutannya berbeda-beda. Adapun rata-rata indeks pelarutan

fosfat (IPF) masing-masing isolat adalah sebagai berikut: isolat 7 sebesar 0,23, isolat 13 sebesar 0,13, isolat 15 sebesar 0,70, dan isolat 19 sebesar 0,71. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang sedang dilakukan, terutama dari segi objek yang dikaji, yaitu bakteri rhizosfer dari satu jenis tanaman, serta penggunaan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen di laboratorium. Fokus utama kedua penelitian juga serupa, yaitu mengkaji kemampuan bakteri pelarut fosfat dari lingkungan rhizosfer. Adapun perbedaan antara keduanya terletak pada jenis tanaman sumber rhizosfer; Aryaldi et al. menggunakan tanaman kacang tunggak (*Vigna unguiculata* L.), sedangkan penelitian ini menggunakan tanaman jiwawut (*Setaria italica* L.). Selain itu, penelitian sebelumnya tidak diarahkan pada pengembangan media pembelajaran, sementara dalam penelitian ini, hasil yang diperoleh akan dimanfaatkan untuk membuat infografis edukatif bagi siswa SMA dalam pembelajaran mengenai bakteri.

4. Penelitian yang dilakukan oleh Walida et al. (2019) dengan judul “Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penghasil IAA dan Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Kelapa Sawit” termasuk dalam kategori penelitian kuantitatif. Dalam penelitian tersebut, ditemukan bahwa dari 10 isolat yang berhasil diisolasi, isolat R05 menunjukkan aktivitas pelarutan fosfat tertinggi sebesar 0,211 mg/l, sedangkan isolat dengan kemampuan terendah adalah R01 dengan nilai 0,012 mg/l. Penelitian ini memiliki beberapa kesamaan dengan penelitian yang sedang dilakukan, antara lain objek kajiannya adalah bakteri rhizosfer dari satu jenis tanaman, pendekatan penelitian menggunakan metode kuantitatif, serta desain yang diterapkan adalah eksperimen laboratorium. Fokus utama keduanya juga sama, yaitu meneliti potensi bakteri rhizosfer dalam melarutkan fosfat. Perbedaan terletak pada tanaman sumber rhizosfer; Walida et al. meneliti rhizosfer dari tanaman kelapa sawit, sedangkan dalam penelitian ini rhizosfer yang digunakan berasal dari tanaman jiwawut (*Setaria italica* L.). Selain itu, penelitian sebelumnya tidak diarahkan pada pengembangan media pembelajaran, sedangkan penelitian ini bertujuan untuk mengolah hasil temuan menjadi infografis edukatif sebagai media belajar bagi siswa SMA, khususnya pada materi mengenai bakteri.

5. Penelitian yang dilakukan oleh Aisyah et al. (2022) berjudul “Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Aren (*Arenga pinnata* (Wurb) Merr)) di Desa Bonto Somba Kabupaten Maros” merupakan penelitian kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat empat isolat bakteri yang mampu melarutkan fosfat, dan isolat dengan nilai indeks pelarutan tertinggi adalah L.2.2.2 dengan nilai IPF sebesar 3,75. Penelitian ini memiliki sejumlah kesamaan dengan penelitian yang sedang dilaksanakan, yaitu objek penelitian berupa bakteri rhizosfer dari satu jenis tanaman, pendekatan kuantitatif, serta penggunaan desain eksperimen di laboratorium. Fokus kedua penelitian pun serupa, yaitu menilai kemampuan bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan unsur fosfat di lingkungan rhizosfer. Adapun perbedaannya terletak pada jenis tanaman yang menjadi sumber rhizosfer; penelitian Aisyah et al. menggunakan tanaman aren (*Arenga pinnata*), sedangkan penelitian ini menggunakan tanaman jiwawut (*Setaria italica* L.). Selain itu, penelitian terdahulu tidak dimaksudkan untuk dikembangkan menjadi media pembelajaran, sementara dalam penelitian ini, hasil yang diperoleh akan diolah menjadi infografis edukatif untuk mendukung pembelajaran siswa SMA pada materi bakteri.
6. Nurjanah et al. (2023) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Media Infografis pada Materi Keanekaragaman Hayati Kelas X SMA” mengembangkan media pembelajaran dengan pendekatan *Research and Development* (R&D). Penelitian ini menyoroti pentingnya penyediaan media pembelajaran yang bervariasi, khususnya yang mampu menarik perhatian visual siswa serta meningkatkan minat belajar mereka. Oleh karena itu, dipilihlah media infografis sebagai alat bantu pembelajaran, dan dilakukan uji validasi terhadap infografis yang dikembangkan pada materi keanekaragaman hayati. Hasil validasi menunjukkan bahwa infografis tersebut memiliki tingkat kelayakan yang sangat tinggi dengan persentase rata-rata sebesar 92,6%. Penelitian ini memiliki kemiripan dengan penelitian yang sedang dilakukan, terutama dalam penggunaan infografis sebagai media ajar pada submateri Biologi, serta proses validasi terhadap infografis yang telah dibuat. Namun, terdapat perbedaan

dalam ruang lingkup materi; penelitian Nurjanah et al. memfokuskan pada topik keanekaragaman hayati, sedangkan penelitian ini berfokus pada materi tentang bakteri. Selain itu, isi infografis dalam penelitian sebelumnya merupakan rangkuman materi dari guru, sedangkan dalam penelitian ini, konten infografis didasarkan pada hasil penelitian mengenai kemampuan bakteri rhizosfer tanaman jewawut dalam melarutkan fosfat.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kajian Pustaka

#### 1. Tanaman Jewawut (*Setaria italica* L.)

Jewawut merupakan salah satu jenis tanaman sereal tropis yang termasuk dalam keluarga rumput-rumputan (Poaceae), dan dikenal memiliki kandungan nutrisi yang sebanding dengan tanaman sereal lain seperti padi, jagung, gandum, serta biji-bijian lainnya. Tanaman ini juga mengandung senyawa fitokimia, khususnya senyawa fenolik seperti golongan flavonoid dan tanin. Kandungan inilah yang membuat jewawut memiliki potensi sebagai agen antihipertensi (Demando et al., 2019). Di samping manfaatnya bagi kesehatan, jewawut juga berpotensi dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti beras, terutama dalam rangka mencukupi kebutuhan energi harian. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan karbohidrat dalam jewawut, yaitu sekitar 75%, yang hampir setara dengan kandungan karbohidrat pada beras yang mencapai 79%. Selain itu, kandungan protein dalam jewawut mencapai sekitar 11%, yang menunjukkan bahwa nilai proteinnya lebih tinggi dibandingkan dengan beras yang hanya mengandung sekitar 7% protein (Rahman, 2023).

Menurut Ramlah et al. (2023), sistematika nama ilmiah jewawut adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae  
Sub-kingdom : Tracheobionta  
Division : Magnoliophyta  
Class : Liliopsida  
Subclass : Commelinidae  
Order : Cyperales  
Famili : Poaceae  
Subfamili : Panicoideae  
Genus : *Setaria*  
Spesies : *Setaria italica* L.



Gambar 2.1 Dokumentasi Pribadi Tanaman Jewawut

Jewawut memiliki dua keunggulan utama. Pertama, bagi konsumen, jewawut dapat memberikan manfaat dalam mengatasi berbagai masalah gizi dan kesehatan, seperti kekurangan zat besi, seng (zink), asam folat, kalsium, serta membantu pengelolaan penyakit diabetes melitus. Kedua, dari sisi petani, tanaman ini berpotensi meningkatkan hasil panen hingga tiga kali lipat apabila kebutuhan unsur hara terpenuhi secara optimal. Selain itu, jewawut juga memiliki fleksibilitas penggunaan, baik sebagai bahan pangan maupun pakan ternak (Azrai, 2021).

## 2. Mikroorganisme tanah

Tanah merupakan lingkungan hidup bagi berbagai makhluk, termasuk tumbuhan, hewan, serta mikroorganisme dalam jumlah yang sangat banyak. Setiap jenis tanah memiliki komposisi mikroorganisme yang khas, tergantung pada kondisi fisik, kimia, dan biologisnya. Keberagaman organisme dan tempat hidup di dalam tanah membentuk suatu sistem kehidupan yang saling terkait, atau yang dikenal sebagai ekosistem tanah. Dalam ekosistem ini, mikroorganisme saling berinteraksi dan bersaing untuk memperoleh sumber daya penting seperti ruang tumbuh, air, oksigen, unsur hara, serta faktor lain yang menunjang kehidupan. Interaksi tersebut dapat bersifat saling menguntungkan (simbiotik) maupun bersifat netral atau saling bersaing (non-simbiotik), yang pada akhirnya memengaruhi dinamika populasi mikroba di dalam tanah (Apsal, 2018).

Jenis mikroorganisme yang banyak ditemukan di tanah antara lain bakteri dan fungi. Mikroorganisme ini berfungsi menguraikan sisa-sisa organisme mati, baik hewan maupun tumbuhan, menjadi senyawa-senyawa sederhana yang bermanfaat bagi kesuburan tanah. Hasil penguraian tersebut mencakup unsur hara

penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), dan mangan (Mn), serta menghasilkan gas-gas seperti metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dilepaskan ke atmosfer. Unsur-unsur tersebut kemudian dapat diserap oleh tanaman sebagai nutrisi utama untuk mendukung proses pertumbuhannya (Erninda, 2023).

### 3. Karakterisasi makroskopis mikroba

Bentuk karakterisasi mikroorganisme pengamatan morfologi makroskopis berdasar pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Morfologi Makroskopis Bakteri Pelarut Fosfat

Variabel	Kriteria
Bentuk koloni	Bulat, bulat dengan tepi bergelombang, bulat dengan tepi tumpul, permukaan kusut, konsentrik, menyebar tidak teratur, filament, bentuk-L, bulat dengan tepi berserabut, filiform, rhizoid, kompleks.
Tepi koloni	Halus, bergelombang, lobat tidak teratur, sillat, bercabang, <i>wool</i> , benang, rambut.
Permukaan koloni	Mengkilat, tidak mengkilat.
Pewarnaan koloni	Berwarna, tidak berwarna.

(Mukharomah, 2024, p. 15)

### 4. Klasifikasi bakteri Gram

Bakteri dapat diklasifikasikan berdasarkan struktur dinding selnya serta kemampuannya mempertahankan warna selama proses pewarnaan Gram. Berdasarkan karakteristik ini, bakteri dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Bakteri Gram positif memiliki dinding sel yang tebal dan kaya akan senyawa peptidoglikan, sehingga mampu mempertahankan warna ungu dari pewarna kristal violet. Selain itu, dalam struktur dinding selnya juga terdapat senyawa asam teikoat. Kandungan peptidoglikan yang tinggi menjadikan bakteri Gram positif lebih mudah dirusak oleh antibiotik seperti penisilin, karena senyawa ini bekerja efektif dalam merusak lapisan peptidoglikan. Oleh karena itu, bakteri Gram positif cenderung lebih rentan terhadap kerusakan akibat tekanan mekanik (Detha, 2019).

Klasifikasi kedua adalah bakteri Gram negatif yang memiliki ciri khas berupa warna merah setelah menjalani proses pewarnaan Gram. Warna ini muncul karena zat warna kristal violet terlarut akibat perlakuan alkohol, sehingga sel bakteri menyerap warna merah dari pewarna sekunder, yaitu safranin. Perbedaan

warna ini menandakan adanya perbedaan struktur dinding sel dengan bakteri Gram positif. Struktur dinding sel bakteri Gram negatif mengandung lipid dalam jumlah tinggi dan hanya memiliki sedikit peptidoglikan. Di atas lapisan peptidoglikan tersebut terdapat membran luar yang tersusun atas lipoprotein, fosfolipid, serta lipopolisakarida, yang menjadi penanda khas dari kelompok Gram negatif (Salsabila, 2023).

Lebih jauh, teknik pewarnaan Gram tidak hanya digunakan untuk membedakan sifat pewarnaan bakteri, tetapi juga membantu dalam mengidentifikasi morfologi sel, seperti bentuk dan susunan sel, serta klasifikasi Gram-nya. Dalam prosedur pewarnaan Gram, sampel bakteri yang telah difiksasi terlebih dahulu kemudian diberi serangkaian larutan, yaitu pewarna utama kristal violet, larutan lugol sebagai fiksatif pewarna, larutan alkohol sebagai agen dekolorisasi (pemucat), dan diakhiri dengan pemberian pewarna tandingan seperti safranin atau fuchsin (Salsabila, 2023).

## **5. Bakteri rhizosfer**

Rhizosfer adalah lapisan tanah yang langsung mengelilingi sistem perakaran tanaman dan memiliki interaksi erat dengan aktivitas biologis akar. Area ini menjadi lingkungan yang sangat mendukung bagi pertumbuhan mikroorganisme tanah, karena akar tanaman secara aktif melepaskan senyawa organik seperti asam amino, gula, dan asam organik yang dibutuhkan mikroba sebagai sumber energi dan nutrisi. Oleh karena itu, aktivitas mikrobiologis di wilayah rhizosfer jauh lebih intens dibandingkan dengan bagian tanah yang tidak terpengaruh langsung oleh akar. Selain berfungsi sebagai pusat interaksi mikroba, rhizosfer juga berperan sebagai garis pertahanan pertama bagi tanaman terhadap infeksi mikroorganisme patogen yang menyerang akar (Gassing, 2021).

Mikroorganisme tanah memainkan peranan penting dalam proses ekologi, terutama dalam transfer energi dan siklus nutrisi yang berkaitan langsung dengan produktivitas primer ekosistem (Salman, 2023). Area tanah sekitar akar tanaman, yang dikenal sebagai rhizosfer, berbeda dari wilayah lain seperti filosfer yang berada di permukaan bagian atas tanaman. Beragam jenis mikroba dapat ditemukan di tanah, namun sebagian besar yang berperan dalam interaksi biologis dengan tanaman berada di zona rhizosfer. Mikroorganisme di wilayah ini tidak hanya

mendukung pertumbuhan tanaman, tetapi juga berpotensi dimanfaatkan sebagai agen pengendali hayati karena letaknya yang strategis sebagai titik awal masuknya patogen ke dalam sistem akar (Gassing, 2021).

## **6. Bakteri pelarut fosfat (BPF)**

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara makro esensial yang sangat dibutuhkan dalam mendukung proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Unsur ini menyusun sekitar 0,2 hingga 0,8% dari bobot kering tanaman dan berperan penting dalam berbagai komponen biokimia seperti asam nukleat, enzim, koenzim, nukleotida, serta fosfolipid. Di antara unsur hara makro, fosfor menempati posisi kedua setelah nitrogen dalam hal kebutuhan tanaman. Fosfor terlibat dalam berbagai jalur metabolisme penting, termasuk proses fotosintesis, transfer energi, transduksi sinyal, serta fiksasi nitrogen. Pada tanaman, sebagian besar fosfor tersimpan dalam biji dalam bentuk asam fitat, namun bentuk ini tidak dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Kekurangan fosfor dalam bentuk yang dapat diserap tanaman dapat berdampak buruk pada hasil produksi biji-bijian (Firgiyanto, 2023).

Secara umum, tanah yang menjadi media tumbuh tanaman mengandung berbagai jenis mikroorganisme yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat. Mikroorganisme ini berperan dalam meningkatkan ketersediaan fosfat dalam bentuk larut, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Selain itu, keberadaan mikroba tersebut juga dapat memperbaiki efisiensi fiksasi nitrogen secara biologis serta meningkatkan ketersediaan unsur mikro seperti zat besi dan seng. Tidak hanya itu, mikroorganisme ini juga mampu menghasilkan senyawa pengatur tumbuh yang berfungsi merangsang perkembangan tanaman (Firgiyanto, 2023).

Bakteri pelarut fosfat adalah jenis mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mengubah fosfat dari bentuk yang tidak larut menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Di dalam tanah, fosfat secara alami hadir dalam dua bentuk utama, yaitu organik dan anorganik. Keduanya umumnya berada dalam kondisi yang tidak larut atau hanya sedikit larut, sehingga hanya tersedia dalam jumlah terbatas bagi organisme tanah. Fosfat anorganik biasanya terikat dalam bentuk mineral seperti variscite ( $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan strengite ( $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) pada

tanah dengan pH masam, serta trikalsium fosfat  $[Ca_3(PO_4)_2]$  pada tanah yang bersifat basa. Pelarutan fosfat ini sangat dipengaruhi oleh keberadaan asam organik, karena asam-asam ini memiliki gugus fungsional bermuatan negatif seperti karboksil ( $-COO^-$ ) dan hidroksil ( $-OH$ ) yang mampu membentuk senyawa kompleks (kelat) dengan ion logam. Proses ini membantu melepaskan fosfat dari senyawa yang mengikatnya. Beberapa bakteri diketahui sangat efisien dalam melarutkan fosfat dari batuan maupun residu dalam tanah. Salah satu contohnya adalah *Bacillus megaterium* var. *Phosphaticum* (Firgiyanto, 2023).

Menurut Firgiyanto (2023), proses pelarutan fosfat dapat berlangsung melalui beberapa mekanisme, antara lain:

- a. Transformasi fosfat yang awalnya tidak larut menjadi bentuk yang larut melalui proses mineralisasi.
- b. Pelepasan orthophosphat sebagai hasil dari proses mineralisasi senyawa fosfat organik.
- c. Konversi senyawa fosfat anorganik menjadi bentuk yang dapat digunakan dan penyalurannya dalam bentuk anion ke dalam protoplasma sel melalui mekanisme imobilisasi.
- d. Pelarutan senyawa fosfat anorganik melalui reaksi oksidasi maupun reduksi.

Jumlah bakteri pelarut fosfat paling tinggi biasanya ditemukan di wilayah sekitar akar tanaman, yang dikenal sebagai rhizosfer, dan bakteri yang hidup di sana disebut rhizobakteria. Rhizobakteria merupakan jenis bakteri tanah yang hidup dan berkembang di zona perakaran serta berperan dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Keberadaan mereka yang dominan di rhizosfer disebabkan oleh melimpahnya nutrisi di area tersebut, yang berasal dari berbagai eksudat akar tanaman seperti asam amino dan gula. Senyawa-senyawa ini menjadi sumber energi dan nutrisi penting bagi pertumbuhan bakteri (Sugianto et al., 2019).

## **7. Contoh bakteri pelarut fosfat**

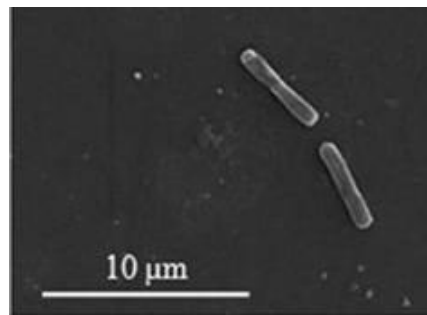
Terdapat sejumlah genus mikroorganisme yang diketahui memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat, antara lain *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Flavobacterium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Sclerotium*, dan *Fusarium*, di antara kelompok tersebut, *Pseudomonas* dan *Bacillus* dikenal memiliki potensi paling tinggi untuk dikembangkan sebagai pupuk hayati

atau biofertilizer (Mukharomah, 2024). Berikut ini adalah uraian mengenai beberapa spesies bakteri pelarut fosfat tersebut:

a. *Bacillus subtilis*

Menurut Karina (2016), klasifikasi *Bacillus subtilis* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Bacteria  
Filum : Firmicutes  
Kelas : Bacilli  
Ordo : Bacillales  
Famili : Bacillaceae  
Genus : *Bacillus*  
Spesies : *Bacillus subtilis*



Gambar 2.2 Bakteri *Bacillus subtilis*  
(Karina, 2016, p. 14)

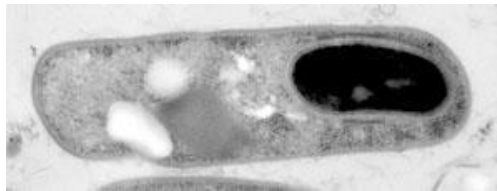
*Bacillus subtilis* merupakan bakteri berbentuk batang yang dapat ditemukan secara tunggal maupun membentuk rantai. Termasuk dalam kelompok bakteri Gram positif yang umumnya hidup di lingkungan tanah. Bakteri ini memiliki flagela untuk bergerak, bersifat aerob, serta mampu bertahan dalam kondisi fakultatif aerob bahkan anaerob. Dalam kondisi tanpa oksigen, *Bacillus subtilis* dapat menghasilkan ATP melalui proses fermentasi terhadap gula, peptida, atau substrat lainnya. Pertumbuhan optimal bakteri ini terjadi pada suhu mesofilik, yaitu berkisar antara 25°C hingga 35°C (Karina, 2016).

Kelompok bakteri dari genus *Bacillus* memiliki kemampuan signifikan dalam membantu proses pelarutan fosfat. Keberadaan bakteri ini terbukti dapat merangsang pembentukan serta menambah bobot kering bintil akar, sekaligus meningkatkan produksi biji pada berbagai tanaman, seperti jagung, bayam, dan kacang panjang (Karina, 2016).

b. *Bacillus megaterium*

Menurut Karina (2016), klasifikasi *Bacillus megaterium* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Firmicutes
Kelas	: Bacilli
Ordo	: Bacillales
Famili	: Bacillaceae
Genus	: <i>Bacillus</i>
Spesies	: <i>Bacillus megaterium</i>



Gambar 2.3 Bakteri *Bacillus megaterium*  
(Karina, 2016, p. 15)

Bakteri *Bacillus megaterium* merupakan jenis bakteri berbentuk batang yang biasanya membentuk rantai dan termasuk ke dalam kelompok Gram positif. Mikroorganisme ini tergolong aerobik, namun tetap mampu tumbuh meskipun dalam kondisi minim oksigen (anaerob). Pergerakan bakteri ini dibantu oleh struktur flagela, dan habitat alaminya banyak ditemukan di lingkungan tanah. Salah satu keunggulannya adalah kemampuannya untuk bertahan hidup dalam kondisi ekstrem melalui pembentukan struktur pelindung berupa endospora. Proses pembentukan endospora biasanya terjadi ketika sel bakteri mengalami tekanan lingkungan atau kekurangan nutrisi sebagai bentuk adaptasi dari fase vegetatif (Karina, 2016).

Sebagai bakteri pelarut fosfat, *Bacillus megaterium* memiliki peran penting dalam ekosistem tanah, terutama di wilayah perakaran tanaman (rhizosfer). Bakteri ini tidak hanya membantu dalam melarutkan senyawa fosfat yang sulit tersedia bagi tanaman, tetapi juga berfungsi sebagai agen pemacu pertumbuhan melalui produksi hormon tumbuhan seperti *Indole Acetic Acid* (IAA) dan asam Giberelin A3 (GA3). Keberadaannya dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara penting oleh

tanaman, termasuk nitrogen, fosfor, dan kalium (N, P, K) (Karina, 2016).

c. *Pseudomonas putida*

Menurut Karina (2016), klasifikasi *Pseudomonas putida* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Proteobacteria
Kelas	: Gammaproteobacteria
Ordo	: Pseudomonadales
Famili	: Pseudomonadaceae
Genus	: <i>Pseudomonas</i>
Spesies	: <i>Pseudomonas putida</i>



Gambar 2.4 Bakteri *Pseudomonas putida*

(Karina, 2016, p. 18)

*Pseudomonas putida* merupakan bakteri berbentuk batang yang tergolong dalam kelompok Gram negatif. Mikroorganisme ini umumnya ditemukan di lingkungan tanah dan perairan yang mengandung oksigen. Suhu pertumbuhan optimalnya berkisar antara 25 hingga 30°C. Bakteri ini mudah diisolasi dan mampu bergerak aktif menggunakan flagela yang berjumlah banyak dan terletak di ujung sel (flagel polar). Kemampuan *Pseudomonas putida* dalam melarutkan fosfat didukung oleh keberadaan beberapa strain, salah satunya adalah KT2440, yang mampu berkolonisasi di wilayah akar tanaman. Interaksi ini membentuk hubungan simbiotik antara tanaman dan bakteri, di mana rhizosfer menjadi sumber nutrisi bagi bakteri dari eksudat akar, sementara *Pseudomonas putida* membantu merangsang pertumbuhan tanaman serta memberikan perlindungan terhadap serangan patogen (Karina, 2016).

## 8. IAA (*Indole Acetic Acid*) dan GA3 (*Giberelin A3*)

IAA yang tidak diproduksi secara alami oleh tanaman dikenal sebagai hormon yang berasal dari luar tubuh tanaman, dan senyawa ini dapat disintesis oleh

berbagai mikroorganisme seperti bakteri, alga, dan jamur. Mikroba penghasil IAA ini dapat ditemukan di tanah, pada permukaan tanaman (epifit), maupun di dalam jaringan tanaman (endofit). Di antara jenis mikroorganisme tersebut, *Pseudomonas sp.* dan *Azotobacter sp.* merupakan contoh yang mampu menghasilkan hormon pertumbuhan IAA (Salman, 2023). Senyawa fitohormon yang dihasilkan oleh bakteri ini berfungsi merangsang serta mempercepat proses pertumbuhan tanaman. IAA sendiri tergolong sebagai auksin alami yang memiliki peran penting dalam pembesaran sel, menghambat pertumbuhan tunas samping, memicu gugurnya organ tanaman (absisi), dan membantu pembentukan jaringan pengangkut seperti xilem dan floem. Selain itu, IAA juga sangat berperan dalam proses pemanjangan dan perkembangan akar. Oleh karena itu, kehadiran bakteri yang dapat memproduksi IAA memberikan manfaat besar dalam menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Herlina et al., 2016).

Salah satu jenis hormon tumbuh yang memiliki peran penting dalam proses fisiologis tanaman adalah Gibberellin A3 (GA3). Hormon ini berfungsi dalam mengatasi masa dormansi benih, mempercepat pemanfaatan cadangan nutrisi pada tahap awal perkembangan embrio, mendorong pertumbuhan tunas, serta merangsang pemanjangan batang dan pembentukan organ generatif seperti bunga dan buah. GA3 sering digunakan untuk memecah dormansi karena kondisi dormansi biasanya terjadi akibat ketidakseimbangan antara senyawa yang menghambat dan yang merangsang pertumbuhan, dimana zat penghambat lebih dominan dan kadar senyawa pemacu pertumbuhan sangat rendah atau bahkan tidak ada (Murrinie et al., 2021).

## **9. Isolasi**

Mikroorganisme yang terdapat di lingkungan alami umumnya terdiri dari berbagai jenis yang bercampur, baik yang berasal dari tanah, air, udara, makanan, maupun yang hidup pada tubuh hewan dan tumbuhan. Oleh karena itu, diperlukan proses pemisahan untuk mengidentifikasi jenis bakteri tertentu serta mempelajari karakteristiknya, baik secara morfologis, fisiologis, maupun secara kultur. Proses pemisahan ini dikenal sebagai isolasi (Sabbathini & Pujiyanto, 2017).

Jenis-jenis metode isolasi dalam penelitian yang dijelaskan oleh Nurdin dan Hidayah (2023), diantaranya sebagai berikut:

a. Teknik pengenceran bertingkat (*serial dilution method*)

Teknik pengenceran bertingkat adalah teknik isolasi yang umumnya digunakan untuk mengisolasi mikroorganisme dari tanah, air, pus, dan lain sebagainya. Teknik ini dilakukan karena jika dalam sampel terdapat banyak populasi mikroba maka akan semakin banyak pula jumlah koloni yang dihasilkan sehingga membuat proses pengambilan biakan murni semakin sulit.

b. *Streak plate method* (teknik gores)

Teknik gores adalah teknik isolasi yang dilakukan untuk memperoleh koloni terpisah dari cawan agar. Teknik ini dilakukan dengan menggoreskan suspensi sampel ke tepi cawan petri menggunakan ose, lalu digoreskan di atas permukaan media agar dengan beberapa pola atau kuadran.

c. *Pour plate method* (teknik tabur)

Teknik tabur adalah teknik isolasi yang umumnya digunakan untuk isolasi prokariotik atau fungi. Teknik ini dilakukan dengan pengenceran bertingkat guna mengurangi populasi mikroba. Suspensi pengenceran yang cukup kemudian dihomogenkan dengan media agar cair lalu didinginkan hingga suhu 45-50°C. Selanjutnya campuran dituangkan cawan petri sebelum memadat.

d. *Spread plate method* (teknik sebar)

Teknik sebar adalah teknik isolasi dengan melakukan penyebaran sel-sel mikroba pada permukaan agar yang telah padat. Teknik ini diawali dengan membuat suspensi bakteri dengan kandungan bakteri sekitar 30 sampai 300 sel yang disebarkan secara merata di atas permukaan media agar menggunakan batang steril.

## 10. Skrining

Salah satu metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah skrining, yaitu langkah awal berupa serangkaian pengujian yang bertujuan untuk mengetahui potensi kandungan senyawa aktif dalam suatu sampel. Disebut pula skrining fitokimia, yang merupakan tahap awal dalam kajian fitokimia yang bertujuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam suatu sampel tumbuhan. Proses ini dilakukan untuk memperoleh gambaran awal mengenai kelompok senyawa bioaktif yang kemungkinan memiliki aktivitas farmakologis. Dalam pelaksanaannya, skrining ini menggunakan pereaksi kimia tertentu yang menghasilkan perubahan warna atau terbentuknya endapan sebagai

indikator keberadaan senyawa tertentu dalam sampel yang diuji (Gaharpung et al., 2024). Menurut Sulistyarini et al. (2020), pengujian skrining fitokimia mencakup dua jenis pengujian, yaitu uji perubahan warna dan uji pembentukan endapan, yang dilakukan untuk mengidentifikasi kelompok senyawa tertentu.

Proses skrining fitokimia mengacu pada metode yang dikembangkan oleh Sulistyarini et al. (2020), yang mencakup dua jenis pengujian utama, yakni uji reaksi warna dan uji reaksi pengendapan. Metode ini bertujuan untuk mendeteksi keberadaan kelompok senyawa metabolit sekunder melalui beberapa pengujian berikut:

- a. Uji flavonoid, sebanyak 1 gram bahan sampel diekstraksi menggunakan 10 ml air mendidih, kemudian campuran tersebut dipanaskan selama lima menit. Setelah proses perebusan selesai, campuran disaring dalam keadaan panas. Sebagian dari filtrat sebanyak 5 ml diambil untuk dianalisis lebih lanjut dengan menambahkan sekitar 0,1 gram magnesium serbuk, 1 ml asam klorida pekat, serta 2 ml amil alkohol. Setelah dikocok, larutan dibiarkan hingga terbentuk dua lapisan, dan warna yang muncul pada lapisan amil alkohol diamati sebagai indikator keberadaan flavonoid.
- b. Uji tanin, sebanyak 5 gram sampel diekstrak menggunakan 10 ml air suling. Setelah diperoleh ekstrak, larutan diencerkan hingga tampak jernih. Kemudian, 2 ml dari larutan tersebut dicampurkan dengan 1–2 tetes larutan  $\text{FeCl}_3$ . Munculnya perubahan warna menunjukkan adanya kandungan tanin dalam sampel.
- c. Uji alkaloid, pengujian alkaloid dilakukan dengan mencampurkan 0,5 gram sampel ke dalam campuran 1 ml larutan  $\text{HCl}$  2 N dan 9 ml air suling. Campuran ini dipanaskan di atas penangas air selama sekitar dua menit, lalu didinginkan dan disaring. Filtrat yang diperoleh digunakan untuk pengujian dengan membagi 0,5 ml ke dalam tiga tabung reaksi, kemudian masing-masing tabung diberi dua tetes pereaksi spesifik alkaloid. Hasil yang terbentuk diamati untuk mengidentifikasi keberadaan senyawa alkaloid.
- d. Uji steroid/terpenoid, sampel sebanyak 0,5 gram dilarutkan dalam etanol, kemudian campuran ini dimasukkan ke dalam wadah yang telah berisi eter. Setelah itu, larutan diuapkan hingga kering. Sisa dari penguapan tersebut diberi

tambahan 5 tetes asam sulfat pekat serta 3 tetes asam asetat anhidrat. Reaksi yang terjadi diamati untuk mendeteksi senyawa golongan steroid atau terpenoid berdasarkan perubahan warna atau ciri khas lainnya.

- e. Uji saponin, sebanyak 0,5 gram sampel dihomogenkan dengan 10 ml air panas, lalu dibiarkan hingga dingin dan dikocok kuat selama 10 detik sampai terbentuk buih. Kemudian, ditambahkan 1 tetes HCl 2 N untuk menguji kestabilan buih. Munculnya buih yang stabil dan jelas menjadi indikator adanya saponin dalam sampel.

### **11. Model Pengembangan R&D (Research and Development)**

Model Research and Development (R&D) adalah metode penelitian yang bertujuan mengembangkan produk (perangkat pembelajaran, model pembelajaran, media, modul, instrumen, dsb.) yang valid, efektif, dan praktis, serta menguji produk tersebut melalui serangkaian tahap uji coba agar produk tersebut benar-benar cocok untuk digunakan dalam konteks nyata. Model ini tidak hanya fokus pada teori, tetapi pada proses pengembangan produk dan validasi dalam konteks aplikasi nyata (Rustamana et al., 2024).

Kelebihan model pengembangan R&D diantaranya memungkinkan pengembangan model pembelajaran yang meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran. Membantu memperbaiki pemahaman materi ajar siswa karena produk dikembangkan berdasarkan analisis kebutuhan siswa dan kurikulum. Dapat meningkatkan hasil belajar siswa secara signifikan setelah model diimplementasikan. Karena prosedur uji coba dan evaluasi bagian dari R&D, produk bisa disesuaikan dan diperbaiki agar lebih relevan dan efektif (Wulandari et al., 2024). Pendekatan R&D dianggap kuat untuk inovasi pendidikan yang berbasis bukti (*evidence-based innovation*) karena melalui validasi dan iterasi produk. Produk yang dikembangkan lewat R&D umumnya lebih relevan dan adaptif terhadap kebutuhan siswa dan guru karena analisis kebutuhan dan feedback pengguna dijadikan bagian dari proses. Meningkatkan kualitas pembelajaran melalui peningkatan keterlibatan guru dan siswa (*engagement*). R&D mendorong kontinuitas inovasi, bukan satu kali perubahan, proses literatif (uji, revisi) memastikan produk tetap relevan dan efektif (Afriani et al., 2025).

Salah satu model operasional untuk melaksanakan R&D adalah model 4D. Rozi dan Khasanah (2023), dalam penelitiannya menjelaskan bahwa model ini terdiri dari 4 tahapan diantaranya sebagai berikut:

- a. *Define* (pendefinisian), yaitu identifikasi kebutuhan mahasiswa terhadap bahan ajar, analisis kurikulum, analisis materi, penentuan tujuan pembelajaran.
- b. *Design* (perancangan), yaitu merancang e-modul: format digital, layout, isi modul, pemilihan media pendukung, draft isi.
- c. *Development* (pengembangan), yaitu validasi ahli media dan materi, serta revisi berdasarkan umpan balik.
- d. *Disseminate* (penyebaran), tahap dimana produk disebarakan kepada pengguna untuk digunakan dalam pembelajaran.

Kelebihan model 4D diantaranya adalah tingkat validasi media tinggi sehingga dapat menunjukkan kualitas media sangat baik. Kedua, prosedur tahapan 4D dilaksanakan penuh, termasuk tahap penyebaran, sehingga implementasi nyata terlihat. Sedangkan keterbatasan dari model ini adalah meskipun media valid dan layak, aspek materi masih “layak” bukan “sangat layak”, menunjukkan ada ruang perbaikan terutama pada konten. Meskipun media valid dan layak, aspek materi masih “layak” bukan “sangat layak”, menunjukkan ada ruang perbaikan terutama pada konten (Rozi & Khasanah, 2023).

## **12. Sub mata pelajaran bakteri**

Materi tentang bakteri telah diajarkan secara intensif sejak fase D, dengan capaian pembelajaran pada fase tersebut mencakup pemahaman siswa terhadap proses identifikasi makhluk hidup berdasarkan karakteristiknya; sifat dan ciri-ciri zat, perubahan fisika dan kimia, serta teknik pemisahan campuran sederhana; sistem organisasi kehidupan beserta fungsinya, termasuk gangguan atau kelainan yang dapat terjadi pada sistem organ; interaksi antar makhluk hidup dengan lingkungannya dalam merancang solusi untuk mencegah dan mengatasi perubahan iklim; serta pewarisan sifat dan penerapan bioteknologi dalam kehidupan sehari-hari. Materi mengenai bakteri sendiri termasuk ke dalam subtopik identifikasi makhluk hidup berdasarkan karakteristik yang dimilikinya (Yuningsih, 2024).

Materi mengenai bakteri ini kemudian berlanjut di fase E yang berkesinambungan dengan materi virus. Dimana capaian pembelajaran pada modul

SMA fase E yang terkait dengan materi bakteri adalah siswa memahami proses klasifikasi makhluk hidup, peranan virus, bakteri, dan jamur dalam kehidupan, ekosistem dan interaksi antar komponen serta faktor yang mempengaruhi (Yuningsih, 2024).

Pada sub mata pelajaran bakteri sendiri, pemahaman bermakna yang patut untuk dipahami siswa adalah bakteri sebagai organisme mikroskopis yang sangat beragam dan berperan penting dalam kehidupan kita. Memahami bakteri dengan lebih mendalam akan membantu kita dalam beberapa hal misalnya menghargai peran bakteri baik sebagai teman, dimana bakteri memiliki peran penting dalam ekosistem, kesehatan manusia, serta industri maupun peran bakteri sebagai musuh. Kedua yakni mencegah penyakit, karena dengan memahami bagaimana bakteri menyebabkan penyakit, dapat diambil langkah-langkah pencegahan yang efektif. Serta yang ketiga dapat mengembangkan teknologi baru, dimana pengetahuan tentang bakteri ini dapat dimanfaatkan guna pengembangan obat-obatan baru, biofuel, dan teknologi lainnya (Kesumah, 2020).

### **13. Sumber belajar dalam bentuk infografis**

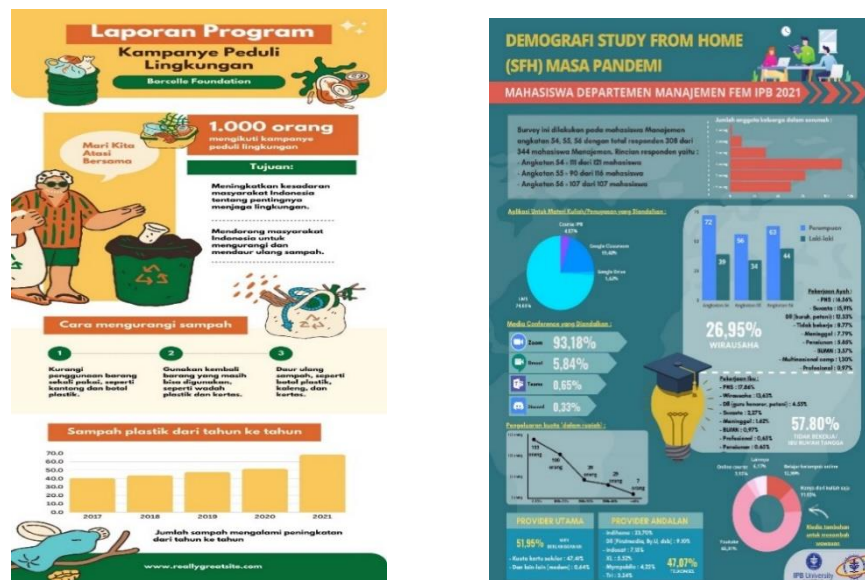
Segala sesuatu yang dapat dimanfaatkan untuk menunjang kegiatan belajar, baik oleh guru maupun siswa, disebut sebagai sumber belajar. Sarana ini bisa digunakan secara mandiri maupun terintegrasi, dengan tujuan utama untuk membantu tercapainya proses pembelajaran yang lebih efektif dan efisien. Informasi yang disalurkan melalui berbagai bentuk media, seperti teks, audio, video, hingga perangkat lunak interaktif, dapat dijadikan sumber belajar yang berfungsi untuk menyampaikan materi kurikulum serta mempermudah pemahaman siswa. Keberagaman format ini memungkinkan siswa dan guru memilih media yang paling sesuai dengan kebutuhan belajar mereka (Aliah et al., 2024).

Dalam konteks pembelajaran Biologi, sumber belajar yang tersedia masih didominasi oleh buku teks dengan penjelasan panjang dan tampilan visual yang minim. Hal ini membuat minat baca siswa menjadi rendah karena mereka lebih tertarik pada materi yang disajikan secara ringkas, berwarna, dan kaya akan gambar. Visualisasi dalam bentuk gambar bukan hanya membuat tampilan materi lebih menarik, tetapi juga membantu siswa dalam membayangkan informasi yang

disampaikan. Proses membayangkan ini, pada gilirannya, mendukung peningkatan daya ingat dan pemahaman terhadap materi (Hanifah et al., 2020).

Pertimbangan terkait bahan bacaan yang menarik inilah yang perlu dijadikan dasar juga dalam penentuan sumber atau media ajar yang tepat untuk materi-materi Biologi yang cukup kompleks, yang membutuhkan banyak imajinasi dan punya keterkaitan yang banyak dengan alam (Hanifah et al., 2020). Salah satu sumber belajar yang tepat dikembangkan untuk membantu siswa belajar secara menyenangkan adalah media ajar infografis (Tumewu et al., 2023).

Infografis berisi representasi visual dari informasi, data atau pengetahuan. Visualisasi data yang disajikan merupakan informasi kompleks lalu dibuat menjadi lebih jelas dan mudah dipahami. Infografis juga dapat digunakan untuk menyajikan hasil penelitian ilmiah. Infografis dinilai dapat memudahkan siswa memahami konsep pembelajaran, karena otak manusia cenderung lebih mudah menyimpan informasi dalam bentuk gambar daripada tulisan. Sehingga, media infografis dapat mentransfer pengetahuan tentang suatu topik lebih cepat dan lebih efektif dibandingkan dengan sekedar teks saja (Tumewu et al., 2023).



Gambar 2.5 Contoh Infografis

(Sumber: Canva dan Website FEM IPB University)

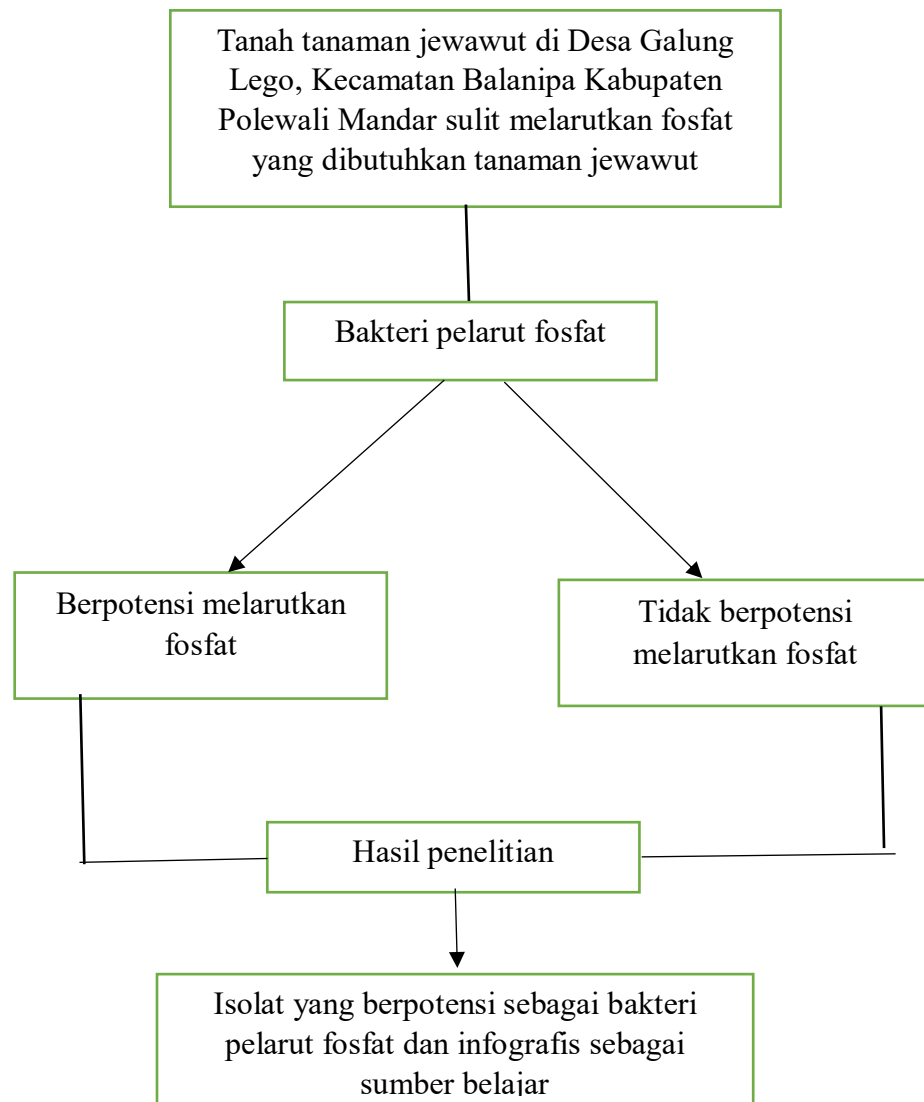
Komponen yang membangun infografis diantaranya adalah judul, bagian utama berupa material berisi data, informasi atau pengetahuan yang akan menjadi isi dalam infografis. Tanpa data, informasi atau pengetahuan, infografis tidak dapat

dibuat. Komponen lain yang berkaitan dengan desain visual infografis adalah warna, grafis dan ikon gambar jika diperlukan. Komponen visual yang dipilih harus disesuaikan dengan isi, tujuan serta target *audience* infografis dalam hal ini siswa. (Suryani, 2024).

Kelebihan media ajar infografis diantaranya dapat mengkomunikasikan pesan yang sebenarnya kompleks menjadi lebih sederhana dan mudah dipahami, dapat mempresentasikan informasi lebih singkat dan efektif, serta dapat menjelaskan data dengan lebih mudah (Suryani, 2024).

## B. Kerangka Pikir

Kerangka pikir merupakan dasar konseptual yang mengintegrasikan berbagai teori, data lapangan, hasil pengamatan, serta kajian pustaka sebagai panduan dalam menjalankan suatu penelitian. Biasanya, kerangka ini dituangkan dalam bentuk diagram atau skema yang memperlihatkan alur logis pemikiran peneliti (Syahputri et al., 2023). Kerangka pikir yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2.6 Bagan Kerangka Pikir

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian isolat bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman jewawut dan implementasinya sebagai sumber belajar biologi dalam bentuk infografis, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Populasi isolat bakteri rhizosfer yang mampu tumbuh pada media *Nutrient Agar* (NA) pada tahap isolasi adalah sebanyak 204 isolat bakteri.
2. Karakteristik morfologis dari kelima isolat bakteri yang diketahui mampu melarutkan fosfat adalah berbentuk dominan circular, elevasi convex, dengan tepi entire dan undulate, serta berwarna putih susu.
3. Uji produksi IAA bakteri pelarut fosfat menunjukkan bahwa isolat bakteri dengan kode JMPR 11, JMPR 16, dan JMPR 17 mampu memproduksi IAA, dimana produksi IAA tertinggi oleh JMPR 17 dengan konsentrasi IAA sebesar 627.811 ppm. Sedangkan uji produksi GA3 dari ketiga isolat bakteri pelarut fosfat menunjukkan bahwa JMPR 11, JMPR 16, dan JMPR 17 mampu memproduksi GA3, dimana produksi GA3 tertinggi oleh JMPR 11 dengan konsentrasi GA3 sebesar 95.78 ppm.
4. Hasil penelitian ini juga dibuat dalam bentuk infografis yang diharapkan dapat bermanfaat sebagai sumber belajar bagi siswa pada fase E atau SMA kelas X, dengan memperhatikan aspek-aspek validitas infografis guna mendukung pembelajaran biologi khususnya pada sub materi bakteri, pada kurikulum merdeka dengan capaian pembelajaran (CP) yaitu siswa memahami proses klasifikasi makhluk hidup, peranan virus, bakteri, dan jamur dalam kehidupan, ekosistem dan interaksi antar komponen serta faktor yang mempengaruhi.

#### B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian serta temuan di lapangan, secara umum pelaksanaan penelitian ini telah berjalan dengan baik. Meskipun demikian, tidak ada salahnya apabila peneliti mengemukakan sejumlah saran yang diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dan menjadi bahan pertimbangan yang berguna baik untuk penelitian sejenis di masa mendatang maupun untuk pengembangan dunia

pendidikan secara umum. Adapun saran-saran yang peneliti tawarkan diantaranya sebagai berikut:

1. Diperlukan penelitian lanjutan mengenai identifikasi molekuler terhadap isolat bakteri pelarut fosfat yang telah berhasil diisolasi untuk mengetahui spesies secara lebih akurat. Selain itu, pengujian lebih lanjut mengenai efektivitasnya dalam meningkatkan ketersediaan fosfat tanah secara *in vivo* juga penting dilakukan, khususnya pada tanaman budidaya lain selain jiwawut.
2. Disarankan agar sekolah, khususnya guru Biologi, memfasilitasi kegiatan penelitian sederhana serupa di lingkungan sekolah untuk menumbuhkan minat siswa dalam bidang mikrobiologi pertanian dan pertanian berkelanjutan.
3. Tanaman jiwawut sebagai tanaman lokal yang memiliki potensi dalam mendukung pertanian ramah lingkungan perlu dilestarikan dan dikembangkan pemanfaatannya. Oleh karena itu, instansi pendidikan dan pertanian dapat bekerja sama dalam mengembangkan penelitian serupa yang memanfaatkan potensi lokal secara optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adriantama, S., Suriyanti, S., & Nontji, M. (2021). Isolasi dan identifikasi morfologi serta uji pelarutan fosfat terhadap bakteri rhizosfer tanaman kedelai (*Glycine max* L.). *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, 2(1), 24-32. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v2i1.140>
- Afriani, L. (2025). Understanding the Design of Research and Development Methods in the Field of Education. *IJESS International Journal of Education and Social Science*, 6(1), 1-5. <https://doi.org/10.56371/ijess.v6i1.333>
- Afrianti, N. (2017). Uji kemampuan beberapa isolat jamur rhizosfer tanaman nanas sebagai antagonis jamur *Phytophthora* sp. dan pelarut fosfat. Skripsi. Universitas Jember. <http://digilib.unila.ac.id/29647/>
- Agustina, N., Asih, E. N. N., & Kartika, A. G. D. (2022). Jenis Gram dan morfologi koloni bakteri air baku garam. *Jurnal Ilmu Kelautan Lesser Sunda*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.29303/jikls.v2i1.44>
- Aisyah, S., Hadija, S., & Nirawati, N. (2022). Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman aren (*Arenga pinnata* (Wurb) Merr). *Jurnal Eboni*, 4(2), 64-70. <https://doi.org/10.46918/eboni.v4i2.1496>
- Aliah, A., Fitria, F., Sari, M., & Zubaidah, Z. (2024). Pentingnya sumber belajar dalam pendidikan di sekolah. *Jurnal Pendidikan Kita*, 1(1), 42-50. <http://ojs.umb-bungo.ac.id/index.php/pddKita/article/view/1419>
- Andianingsih, N., Rosmala, A., & Mubarak, S. (2021). Pengaruh Pemberian Hormon Auksin dan Giberelin terhadap Pertumbuhan Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) Var. Aichi First. *AGROSCRIPT: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 3(1), 48-56. <https://doi.org/10.36423/agroscript.v3i1.531>
- Apsal, H. P. (2018). Eksplorasi mikroorganisme di lahan rawa pasang surut pada empat tipe luapan. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Palembang. [https://repository.unsri.ac.id/12468/2/RAMA\\_54211\\_05071381320055\\_0021\\_046202\\_0018095802\\_01\\_front\\_ref.pdf](https://repository.unsri.ac.id/12468/2/RAMA_54211_05071381320055_0021_046202_0018095802_01_front_ref.pdf)
- Arhim, M., Alim, N., Fitri, F., Halik, R. A. F., & Arifin, A. (2023). Peran penyuluh pertanian terhadap peningkatan produksi jiwawut di Desa Lambanan Kecamatan Balanipa Kabupaten Polewali Mandar Provinsi Sulawesi Barat. *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 11(3), 285-297. <https://doi.org/10.30605/perbal.v11i3.2497>
- Aryaldi, R., Saida, S., & Nontji, M. (2021). Identifikasi morfologi dan uji pelarut fosfat bakteri rhizosfer tanaman kacang tunggak (*Vigna unguiculata*

- L.). AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Pertanian, 2(1), 1-10.  
<https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v2i1.137>
- Astriani, M., & Murtiyaningsih, H. (2018). Pengukuran indole-3-acetic acid (IAA) pada *Bacillus* sp. dengan penambahan L-Tryptofan. Bioeduscience, 2(2), 116-121. <https://doi.org/10.29405/j.bes/22116-1212233>
- Azhari, A. M. (2020). Pengembangan pembelajaran sejarah untuk meningkatkan minat siswa melalui model kontekstual. Program Studi Pendidikan Sejarah FKIP Universitas Lambung Mngkurat Banjarmasin. <https://osf.io/preprints/edarxiv/vux8k/>
- Azrai M. (2021). Teknologi budidaya tanaman jewawut. Bantul: Absolute Media
- Baloc, I. S., Ishaq, L. F., Tae, A. S. A., & Serangmo, D. (2023). Eksplorasi bakteri pelarut fosfat indigen pada ekosistem kebun dan pantai di Kabupaten Kupang. Jurnal Agrisa, 12(2), 106-124. <https://doi.org/10.35508/agrisa.v12i2.14246>
- Compant, S., Cambon, M. C., Vacher, C., Mitter, B., Samad, A., & Sessitsch, A. (2021). The plant endosphere world–bacterial life within plants. Environmental Microbiology, 23(4), 1812-1829. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15240>
- Condron, L. M., & Turner, B. L. (2017). The chemistry and dynamics of soil organic phosphorus. Soil Biology and Biochemistry, 113, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.05.015>
- Demando, G., Hamisah, B., & Marseli, Z. (2019). Potensi tanaman jewawut sebagai sumber karbohidrat terbarukan dan bioaktivitasnya sebagai anti hipertensi: potensi tanaman jewawut sebagai sumber karbohidrat terbarukan dan bioaktivitasnya sebagai anti hipertensi. Jurnal Khazanah Intelektual, 3(1), 355-370. <https://doi.org/10.37250/newkiki.v3i1.33>
- Detha, A. (2019). Karakteristik bakteri asam laktat yang diisolasi dari susu kuda sumba. Jurnal Kajian Veteriner, 7(1), 85-92. <https://doi.org/10.35508/jkv.v7i1.1058>
- Erninda, O. (2023). Analisis populasi mikroorganismen di tanah Sidosari Lampung Selatan 25 tahun pascaperlakuan limbah industri berlogam berat dengan penerapan biochar. Skripsi. Universitas Lampung. <http://digilib.unila.ac.id/77829/>
- Fallo, G., Pardosi, L., & Boluk, A. Y. (2022). Seleksi bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman cabai rawit (*Capsicum annuum* L.) di Kabupaten Timor Tengah Utara. Jurnal Biosense, 5(01), 24-33 <https://doi.org/10.36526/biosense.v5i01.1878>

- Fatimah, F., Aula, N., Salsabila, S., Ramly, Z. A., Rose, S. Y., Surtiningsih, T., & Nurhariyati, T. (2023). Exploration of phosphate solubilizing bacteria from mangrove soil of Lamongan, East Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(2), 1272-1278. <https://smujo.id/biodiv/article/view/13246>
- Firgiyanto R. (2023). Mikroorganisme pelarut fosfat pada pertanian berkelanjutan. Yayasan Kita Menulis. <https://sipora.polije.ac.id/22049/1/Mikroorganisme%20Pelarut%20Fosfat%20pada%20Pertanian%20Berkelanjutan.pdf>
- Gaharpung, M. S., Kuwa, M. K. R., Susanti, R., Wela, Y., Eda, L. N., Supiana, N., & Sulastien, H. (2024). Skrining kesehatan di Dusun Nuagiu Desa Detusoko Barat Kecamatan Detusoko. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Mandira Cendikia*, 3(1), 144-149. <https://journal.mandiracendikia.com/index.php/pkm/article/view/852>
- Gassing, S. (2021). Identifikasi dan karakterisasi mikroba rhizosfer padatanaman padi (*Oryza sativa* L.) di Kecamatan Kajang Kabupaten Bulukumba (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin). <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/9555/>
- Gholami, A., Shahsavani, S., Nezarat, S., & Rohani, M. (2019). Screening and characterization of phosphate solubilizing bacteria isolated from rhizosphere soils. *Journal of Applied Microbiology*, 127(3), 872–884. <https://doi.org/10.1111/jam.14355>
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research*, 206, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
- Güler, M. (2025). Isolation and characterization of *Bacillus* spp. producing indole-3-acetic acid (iaa) and solubilizing inorganic phosphate from the rhizosphere of medicinal sage (*salvia officinalis*). *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 12(3), 716-726. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1620479>
- Hanifah, H., Afrikani, T., & Yani, I. (2020). Pengembangan media ajar *e-booklet* materi plantae untuk meningkatkan hasil belajar Biologi siswa. *Journal Of Biology Education Research (JBER)*, 1(1), 10-16. <https://doi.org/10.55215/jber.v1i1.2631>
- Hartati, R. D. (2023). Pengaruh pemberian bakteri pelarut fosfat pada berbagai pH tanah terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr). *JA-CROPS (Journal of Agrotechnology and Crop Science)*, 1(1), 26. <https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/jacrops/article/view/2782>

- Hengkengbala, S. I., Lintang, R. A., Mangindaan, R. E., Ginting, E. L., & Tumembouw, S. (2021). Karakteristik morfologi dan aktivitas enzim protease bakteri simbiosis nudibranch. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 9(3), 83-94. <https://doi.org/10.35800/jplt.9.3.2021.36672>
- Herlina, L., Pukan, K. K., & Mustikaningtyas, D. (2016). Kajian bakteri endofit penghasil IAA (*Indole Acetic Acid*) untuk pertumbuhan tanaman. *J. FMIPA, Universitas Negeri Semarang*, 14(1), 51-58. <https://scholar.archive.org/work/5se4wvurgfddff4ig7zxvqnqxu/access/wayback/https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/saintekno/article/viewFile/7616/5295>
- Hidayati, N., & Syarif, F. (2020). Pertumbuhan dan produksi tanaman jiwawut [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.] pada perlakuan dosis radiasi dengan pengurangan frekuensi penyiraman untuk seleksi toleran kekeringan. *Jurnal Biologi Indonesia*, 15(2), 52-61. <https://doi.org/10.47349/jbi/15022019/177>
- Hikmahwati, H., & Fitrianti, F. (2023). The Phytohormones (iaa and ga3) produced by rhizosphere mushrooms in shallot (*Allium asconicum* l). As a biostimulant. *Jurnal Pertanian*, 14(1), 7-14. <https://doi.org/10.30997/jp.v14i1.8300>
- Kalay, A. M., Hindersah, R., Ngabalin, I. A., & Jamlean, M. (2020). Pemanfaatan pupuk hayati dan bahan organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata*). *Agric*, 32(2), 129-138. <https://doi.org/10.24246/agric.2020.v32.i2.p129-138>
- Kalayu, G. (2019). Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, 2019(1), 4917256. <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>
- Kandel, S. L., Joubert, P. M., & Doty, S. L. (2017). Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. *Microorganisms*, 5(4), 77. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5040077>
- Karina, A. I. (2016). Isolasi dan identifikasi bakteri penambat nitrogen, pelarut fosfat, dan bakteri pendegradasi selulosa pada tanah bekas tanaman bawang merah (*Allium cepa* L.) yang diberi Biofertilizer (Doctoral dissertation, Universitas Airlangga). <https://repository.unair.ac.id/52992>
- Kartikawati, A., Trisilawati, O., & Darwati, I. (2017). Pemanfaatan pupuk hayati (biofertilizer) pada tanaman rempah dan obat. *Jurnal Prespektif*, 16(1), 33-43. <https://www.academia.edu/download/102505373/pdf-OJSPerspektif.pdf>
- Kesumah, D. (2020). Bakteri Biologi kelas X. Modul BIOLOGI Kelas X. [https://repositori.kemdikbud.go.id/22079/1/X\\_Biologi\\_KD-3.5\\_Final.pdf](https://repositori.kemdikbud.go.id/22079/1/X_Biologi_KD-3.5_Final.pdf)

- Maryani, L., & Sopiandah, V. A. (2019). Minat belajar siswa dengan variasi penggunaan media pembelajaran (survey pada siswa Jurusan Akuntansi di SMK Negeri 3 Bandung). *PETIK: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 5(1), 63-69. <https://doi.org/10.31980/petik.v5i1.1537>
- Mirawati, M., Mu'min, N., & Zahra, U. (2021). Uji antiseptik ekstrak kulit jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) terhadap bakteri *Bacillus cereus* dan *Escherichia coli*. *Al-Kimia*, 9(2), 135-140. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v9i2.23261>
- Mishra, J., Fatima, T., & Arora, N. K. (2020). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture—a review. *Environmental Sustainability*, 3, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s42398-020-00107-z>
- Mukharomah, D. T. (2024). Isolasi dan uji kemampuan bakteri pelarut fosfat dari limbah tandan kosong kelapa sawit (tkks) di Desa Benggaulu Kabupaten Mamuju Tengah sebagai sumber belajar Biologi Materi Bakteri kelas X SMA. Skripsi. Universitas Sulawesi Barat. <https://repository.unsulbar.ac.id/id/eprint/1149/>
- Murrobi, A. (2022). *Isolasi dan karakterisasi bakteri di pupuk cair nutran* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau). <https://repository.uin-suska.ac.id/62009/>
- Murrinie, E. D., Sudjianto, U., & Ma'rufa, K. M. R. (2021). Pengaruh giberelin terhadap perkecambahan benih dan pertumbuhan semai kawista (*Feronia Limonia* (L.) Swingle). *Agritech: Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, 23(2), 183-191. <https://doi.org/10.30595/agritech.v23i2.12614>
- Ningrum, W. A., Wicaksono, K. P., & Tyasmoro, S. Y. (2017). Pengaruh plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) dan pupuk kandang kelinci terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata*) (Doctoral dissertation, Brawijaya University). <https://www.academia.edu/download/98116674/295409849.pdf>
- Nurdin, G. M., & Hidayah, N. (2023). *Mikrobiologi dasar: Teori dan Praktik*. Agma.
- Nurjanah, L., Dari, S. U., Zelika, S., Riswanda, J., & Wicaksono, A. (2023). Pengembangan media pembelajaran berbasis media infografis pada materi Keanekaragaman Hayati kelas X SMA. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi* (Vol. 6, No. 1, pp. 21-27). <https://jurnal.fp.umi.ac.id/index.php/agrotekmas/article/view/140>
- Pasally, S. (2022). Isolasi protein jewawut (*Setaria italica* L) dengan metode kjeldahl. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(3), 244-251. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i3.426>

- Priyono, W. (18 Februari 2018). Faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi, aktivitas, dan populasi mikroorganisme tanah. Tips Petani. <https://tipspetani.com/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-distribusi-aktivitas-dan-populasi-mikroorganisme-tanah/>
- Purba, M. A., Fauzi, F., & Sari, K. (2015). Pengaruh pemberian fosfat alam dan bahan organik pada tanah sulfat masam potensial terhadap P-tersedia tanah dan produksi padi (*Oryza sativa* L.). Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara, 3(3), 938-948. <https://www.neliti.com/publications/105094/pengaruh-pemberian-fosfat-alam-dan-bahan-organik-pada-tanah-sulfat-masam-potensi>
- Purwanto, A., & Saputro, I. R. C. D. (2022). Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun jambu biji (*Psidium Guahava* L.) terhadap *Escherichia Coli* dengan Metode Difusi Silinder. JIIP-Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan, 5(6), 1900-1905. <https://doi.org/10.54371/jiip.v5i6.659>
- Puspita, F., Saputra, S. I., & Merini, J. (2018). Uji beberapa konsentrasi bakteri *Bacillus* sp. endofit untuk meningkatkan pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy), 46(3), 322-327. <https://doi.org/10.24831/jai.v46i3.16342>
- Putrajaya, F., Hasanah, N., & Kurlya, A. (2019). Daya hambat ekstrak etanol daun suruhan (*Peperomia pellucida* L.) terhadap pertumbuhan bakteri penyebab jerawat (*Propionibacterium acnes*) dengan metode sumur agar. Edu Masda Journal, 3(2), 123-140. <https://doi.org/10.52118/edumasda.v3i2.34>
- Rahman S. (2023). Pengembangan pangan fungsional berbasis pangan lokal dan makanan tradisional khas Sulawesi Barat. Deepublish. <https://balaiyanpus.jogjaprov.go.id/opac/detail-opac?id=345877>
- Ramlah, R., Indrastuti, I., Karim, H. A., & Pabendon, M. B. (2023). Karakteristik morfologi jiwawut (*Setaria italica* l.) Indonesia. Agrovital: Jurnal Ilmu Pertanian, 8(2), 186-193. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v8i2.4868>
- Rini, I. A., Oktaviani, I., Asril, M., Agustin, R., & Frima, F. K. (2020). Isolasi dan karakterisasi bakteri penghasil IAA (*Indole Acetic Acid*) dari rhizosfer tanaman akasia (*Acacia mangium*). Agro Bali: Agricultural Journal, 3(2), 210-219. <https://doi.org/10.37637/ab.v3i2.619>
- Rosalina, F., Sukmawati, S., & Febriadi, I. (2021). Sosialisasi pemanfaatan limbah organik sebagai upaya pengurangan ketergantungan pupuk kimia kepada kelompok tani di Kelurahan Majener. DedikasiMU: Journal of Community Service, 3(4), 1190-1198. <https://doi.org/10.30587/dedikasimu.v3i4.3258>
- Rozi, F., & Khasanah, A. M. K. (2023). Pengembangan E-Modul Berbasis Mobile Menggunakan Aplikasi Canva Pada Mata Pelajaran Biologi Materi Ekosistem

- dan Perubahan Lingkungan. *Bioedusiana: Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(1).  
<https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/bioed/article/view/10093>
- Rustamana, A., Hasna Sahl, K., Ardianti, D., Hisyam, A., Solihin, S., Sultan, U., & Banten, S. (2024). Penelitian dan Pengembangan (Research & Development) dalam Pendidikan. *Jurnal Bima: Pusat Publikasi Ilmu Pendidikan Bahasa Dan Sastra*, 2(3), 60-69. <https://doi.org/10.61132/bima.v2i3.1014>
- Sabbathini, G. C., & Pujiyanto, S. (2017). Isolasi dan identifikasi bakteri genus *Sphingomonas* dari daun padi (*Oryza sativa*) di area persawahan Cibinong. *Jurnal Akademika Biologi*, 6(1), 59-64.  
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/Biologi/article/view/19523>
- Sa'idah, I. K., & Isnawati, I. (2020). Keefektifan LKPD eubacteria berbasis CTL untuk meningkatkan kemampuan berpikir divergen. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 9(1), 13-20.  
<https://doi.org/10.26740/bioedu.v9n2.p159-165>
- Salman, A. H. (2023). Isolasi dan karakterisasi bakteri rhizosfer tanaman eboni (*Diospyros celebica* Bakh.) yang berpotensi menghasilkan fitohormon IAA dan GA3 (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).  
<http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/26132/>
- Salsabila, S. (2023). Identifikasi bakteri dari telapak tangan dengan pewarnaan Gram. *CHEMVIRO: Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan (JKIL)*, 1(1), 30-35.  
<https://ojs.ejournalunigoro.com/index.php/CHEMVIRO/article/view/563>
- Sembarang, D. A. E. P., & Nasution, L. (2023). Pengembangan perangkat asesmen autentik berbasis kontekstual untuk mengukur keterampilan proses sains mahasiswa pada Matakuliah MikroBiologi: (Development of Contextual-based Assessment Tool to Measure Student Science Process Skill in Microbiology Course). *BIODIK*, 9(1), 139-150. <https://doi.org/10.22437/bio.v9i1.24474>
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., & Gobi, T. A. (2019). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Environmental Sustainability*, 2(3), 215-244. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00036-8>
- Sonia, A. V., & Setiawati, T. C. (2022). Aktivitas bakteri pelarut fosfat terhadap peningkatan ketersediaan fosfat pada tanah masam. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 15(1), 44-53.  
<https://doi.org/10.21107/agrovigor.v15i1.13449>
- Sudewi, S., Patandjengi, B., Saleh, A. R., Yani, A., & Ratnawati, R. (2021). Eksplorasi rizobakteri penghasil giberelin dari padi lokal aromatik, Sulawesi Tengah. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan. Jurnal Hasil Produksi GA3*, Vol. 2, pp. 310-316.  
<https://ojs.polipangkep.ac.id/index.php/proppnp/article/view/149>

- Sugianto, S. K., Shovitri, M., & Hidayat, H. (2019). Potensi rhizobakteri sebagai pelarut fosfat. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7(2), 71-74. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.37241>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan r&d*. Alfabeta, CV.
- Sukmawati, S., Ponisri, P., Rosalina, F., Farida, A., Satria, B., Syafaati, A. D., & Nuryanto, N. (2022). Skrining bakteri metanotrof, pelarut posfat dan nitrobacter pada lahan pertanian Kota Sorong. *Journal Galung Tropika*, 11(3), 304-316. <https://doi.org/10.31850/jgt.v11i3.1049>
- Sulistyarini, I., Sari, D. A., & Wicaksono, T. A. (2020). Skrining fitokimia senyawa metabolit sekunder batang buah naga (*Hylocereus polyrhizus*). *Cendekia Eksakta*, 5(1), 43-49. <https://publikasiilmiah.unwahas.ac.id/CE/article/view/3322>
- Supriyono, S., Nurmalasari, A. I., Sulisty, T. D., & Fatimah, S. (2022). Efektivitas pupuk hayati terhadap pertumbuhan dan hasil jagung hibrida di tanah alfisol. *Agrotechnology Research Journal*, 6(1), 1-7. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v6i1.44992>
- Suryani. (2024). Analisis strategi pembuatan infografis pada media sosial (studi kasus instagram). (Bachelor's thesis, UIN Sultan Syarif Kasim Riau: Fakultas Fakultas Dakwah Dan Komunikasi, 2024). <http://repository.uin-suska.ac.id/76386/>
- Susilowati, L. E., Mahrup, M., Arifin, Z., & Sukartono, S. (2022). Pemanfaatan pupuk hayati-fosfat untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.) di Entisol: Utilization of Biofertilizer-Phosphate to Increase Growth of maize (*Zea mays* L.) in Entisol. *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*, 8(1), 25-37. <https://doi.org/10.29303/jstl.v8i1.313>
- Syahputri, A. Z., Della Fallenia, F., & Syafitri, R. (2023). Kerangka berfikir penelitian kuantitatif. *Tarbiyah: Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pengajaran*, 2(1), 160-166. <http://jurnal.diklinko.id/index.php/tarbiyah/article/view/25>
- Triana, A. (2020). Pengembangan bahan ajar modul berbasis contextual learning kelas IV SD/MI. Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung. [https://repository.radenintan.ac.id/13647/2/SKRIPSI\\_FULL.pdf](https://repository.radenintan.ac.id/13647/2/SKRIPSI_FULL.pdf)
- Tumewu, W. A., Wowor, E. C., & Moku, Y. B. (2023). Minat belajar mahasiswa dalam penggunaan infografis sebagai media pembelajaran IPA pada pembelajaran daring. *SCIENING: Science Learning Journal*, 4(1), 38-45. <https://doi.org/10.53682/slj.v4i1.6641>
- Verma, A., Jaiswal, D. K., & Kaushik, R. (2019). Characterization of phosphate-solubilizing rhizobacteria and their effect on growth of wheat seedlings.

Journal of Applied Microbiology, 126(5), 1521–1533.  
<https://doi.org/10.1111/jam.14244>

- Wahidah, B. F., & Hasrul, H. (2017). Pengaruh pemberian zat pengatur tumbuh indole acetic acid (IAA) terhadap pertumbuhan tanaman pisang sayang (*Musa paradisiaca* L. var. sayang) secara in vitro. *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 11(1), 27-41. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v11i1.7408>
- Walida, H., Harahap, F. S., Hasibuan, M., & Yanti, F. F. (2019). Isolasi dan identifikasi bakteri penghasil IAA dan pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman kelapa sawit. *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 6(1), 1-7. <https://doi.org/10.31289/biolink.v6i1.2090>
- Wani, F. S., Ali, T., & Baba, Z. A. (2015). Isolation, characterization and screening of phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 9(3), 2533-2539. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA436439649&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=09737510&p=AONE&sw=w>
- Wijayanti, L. (2019). Penerapan desain 4D pada pengembangan buku ajar logika berhitung melalui analisis berpikir siswa SD. *Jurnal Pena Karakter: Jurnal Pendidikan Anak dan Karakter*, 2(1), 25-34. <https://doi.org/10.62426/>
- Wulandari, N., Irfan, M., & Saragih, R. (2019). Isolasi dan karakterisasi plant growth promoting rhizobacteria dari rhizosfer kebun karet rakyat. *Dinamika Pertanian*, 35(3), 57-64. [https://doi.org/10.25299/dp.2019.vol35\(3\).4565](https://doi.org/10.25299/dp.2019.vol35(3).4565)
- Wulandari, R., Amiza, I. P. D., & Annas, F. (2024). Pengembangan Model Inovasi Pembelajaran Berbasis Research and Development di SMP N 3 Pasaman Barat. *Journal of Educational Management and Strategy*, 3(02), 117-124. <https://doi.org/10.57255/jemast.v3i02.602>
- Yan, Y., Kuramae, E. E., Klinkhamer, P. G., & van Veen, J. A. (2015). Revisiting the dilution procedure used to manipulate microbial biodiversity in terrestrial systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(13), 4246-4252. <https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/aem.00958-15>
- Yuningsih, W. D. (2024). Modul ajar IPA - Biologi fase e (kelas 10) peranan bakteri SMAN 1 Cililin. Modul Ajar Kelas X. <https://www.wettyuningsih.com/2024/08/modul-ajar-peranan-bakteri-kelas-10.html>