

BAB II

KAJIAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN

A. Kajian Teori

1. Mikroba

a. Pengertian Mikroba

Mikroba adalah singkatan dari mikroorganisme, cabang ilmu yang berfokus pada penelitian organisme kecil atau mikroskopis yang hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Istilah mikrobiologi berasal dari Bahasa Yunani, di mana kata mikros berarti kecil, bios berarti hidup, dan logos merujuk pada ilmu pengetahuan (Fachrial, 2022).

b. Ciri-ciri Mikroba

- 1) Mikroba umumnya sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop. Mereka memiliki ukuran yang bervariasi, mulai dari beberapa mikrometer hingga beberapa nanometer.
- 2) Sebagian besar mikroba terdiri dari satu sel atau merupakan organisme uniselular
- 3) Ada dua jenis mikroba utama, yaitu prokariota dimana perkembangan selnya belum sempurna dan eukariota yang perkembangan selnya sudah sempurna
- 4) Beberapa mikroba bersifat autotrof, yang berarti mereka dapat menghasilkan energi dari bahan-bahan anorganik, sementara yang lain bersifat heterotrof dan membutuhkan bahan organik sebagai sumber energi.
- 5) Mikroba dapat beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan, termasuk suhu ekstrem, pH, tekanan, dan ketersediaan nutrisi.
- 6) Memiliki berbagai bentuk dan struktur.

c. Jenis-jenis Mikroba

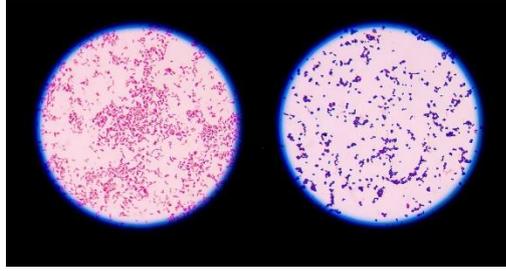
Mikroba sendiri dapat mencakup berbagai jenis organisme, termasuk bakteri, jamur, dan virus. Banyak yang menduga bahwa mikroorganisme hanya membawa dampak yang negatif bagi kehidupan manusia, hewan, maupun tumbuhan karena

banyak mikroorganisme patogen ditemukan dan dapat menyebabkan penyakit, namun meskipun demikian masih banyak mikroba yang memiliki peran penting dalam berbagai kehidupan dalam bidang pertanian, kesehatan, dan lingkungan (Assafat Hadi, 2019). Berikut adalah beberapa mikroba yang umum:

1) Bakteri

Bakteri adalah organisme mikroskopis prokariotik yang tersebar luas di berbagai lingkungan, seperti tanah, air, udara, serta di dalam tubuh manusia, hewan, dan tumbuhan. Mereka memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam siklus biogeokimia, industri, pertanian, dan kesehatan. Salah satu ciri khas umum dari bakteri adalah memiliki struktur sel prokariotik, yang berarti mereka tidak memiliki inti sel (nukleus) yang dilindungi oleh membran. Material genetik (DNA) bakteri terletak dalam sitoplasma dalam bentuk kromosom bakteri, yang terletak di dalam area yang disebut nukleoid. Bakteri dapat memiliki berbagai bentuk dan ukuran diantaranya bentuk bulat (kokus), batang (basil), spiral (spirila), atau berbentuk lainnya. Ukuran bakteri juga bervariasi, mulai dari mikroskopis hingga dapat dilihat dengan mata telanjang. Bakteri memiliki kemampuan metabolik yang beragam. Beberapa bakteri bersifat autotrof, yang dapat mensintesis makanan mereka sendiri dari bahan-bahan anorganik, sementara yang lain bersifat heterotrof, yang memerlukan bahan organik yang sudah jadi sebagai sumber energi dan nutrisi.

Bakteri mampu bereproduksi secara cepat melalui pembelahan biner, di mana satu sel bakteri membelah menjadi dua sel anak yang memiliki genetik yang sama. Kemampuan ini memungkinkan bakteri untuk berkembang biak dengan cepat dalam kondisi yang mendukung. Beberapa jenis bakteri dapat menjadi patogen, yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan. Namun, banyak juga bakteri yang bermanfaat bagi kesehatan manusia, seperti dalam pencernaan, produksi antibiotik, dan probiotik. Bakteri telah menjadi subjek penelitian yang luas dalam bidang biologi, mikrobiologi, dan bioteknologi, serta memiliki aplikasi yang luas dalam industri, pertanian, pengolahan limbah, dan kesehatan.



Gambar 2.1 Bakteri

Sumber: PT. Laboratorium Solusi Indonesia, 2023

<https://lsi.fleischhacker-asia.biz>

2) Jamur (fungi)

Jamur atau fungi adalah organisme eukariotik yang termasuk dalam kerajaan Fungi. Mereka memiliki peran penting dalam ekosistem, baik sebagai pengurai maupun sebagai simbion yang hidup berdampingan dengan organisme lain. Jamur memiliki peran penting dalam ekosistem, baik sebagai pengurai bahan organik maupun sebagai simbiotisme dengan tanaman dan hewan. Jamur memiliki struktur tubuh yang bervariasi, tetapi umumnya terdiri dari miselium, yaitu jaringan yang terdiri dari serabut-serabut tipis yang tumbuh di dalam atau di atas substrat. Beberapa jenis jamur memiliki struktur tubuh yang lebih kompleks seperti kap atau tudung. Jamur memiliki kemampuan untuk bereproduksi baik secara seksual maupun aseksual. Reproduksi seksual terjadi melalui penggabungan materi genetik dari dua individu yang berbeda, sementara reproduksi aseksual melibatkan perkembangbiakan dari satu individu saja.

Jamur memiliki peran penting dalam siklus nutrisi, terutama dalam penguraian bahan organik yang mati. Mereka berperan sebagai pengurai primer dalam dekomposisi sisa-sisa organisme, sehingga menghasilkan nutrisi yang dapat diserap oleh tanaman dan organisme lainnya. Beberapa jenis jamur membentuk hubungan simbiotik dengan tanaman, seperti mikoriza, di mana jamur membantu dalam penyerapan unsur hara oleh tanaman, sementara tanaman menyediakan nutrisi untuk jamur. Ada juga hubungan simbiotik dengan hewan, seperti lichens yang merupakan hasil dari simbiosis antara jamur dan alga. Kerajaan Fungi memiliki keanekaragaman yang sangat besar, dengan lebih dari 100.000 spesies yang telah diidentifikasi dan masih banyak lagi yang belum diketahui. Jamur memiliki

beragam manfaat bagi manusia, seperti dalam produksi makanan (seperti roti, bir, dan keju), produksi antibiotik dan obat-obatan lainnya, serta sebagai model organisme untuk penelitian ilmiah. Namun, beberapa jenis jamur juga dapat menjadi patogen bagi tanaman, hewan, dan manusia. Misalnya, jamur *Candida* dapat menyebabkan infeksi pada manusia, sedangkan jamur penyebab busuk hitam pada tanaman dapat merusak hasil panen.

a) Karakteristik Jamur

Jamur terdiri dari satu atau lebih sel, dan struktur sel mereka lebih kompleks daripada bakteri. Tipe sel jamur dapat menjadi uniselular (seperti ragi) atau bersel banyak (seperti jamur kapang). Beberapa jamur juga membentuk hifa, yaitu benang-benang yang membentuk jaringan yang disebut miselium. Sebagian besar jamur adalah heterotrof, yang berarti mereka memperoleh nutrisi dengan cara mengurai bahan organik dari lingkungan sekitarnya. Mereka dapat melakukan ini dengan cara merombak bahan organik eksternal sebelum menyerapnya (saprofit) atau dengan cara mengambil nutrisi dari organisme hidup lain (parasit atau simbiosis). Jamur memiliki berbagai cara reproduksi, termasuk reproduksi aseksual dan seksual. Reproduksi aseksual melibatkan pembentukan spora, yang dapat terjadi melalui pembelahan sel atau pembentukan struktur khusus seperti konidia. Reproduksi seksual melibatkan penyatuan sel kelamin yang berbeda (gamet) untuk membentuk zigot, yang kemudian berkembang menjadi spora atau struktur reproduksi lainnya. Jamur bervariasi dalam bentuk, ukuran, warna, dan cara hidupnya. Jamur dapat ditemukan di berbagai habitat, termasuk tanah, air, udara, dan bahkan di dalam tubuh organisme lain. Contoh jamur yang hidup di air yaitu jamur pada fermentasi *eco-enzyme*. Beberapa jamur memiliki manfaat ekonomi yang besar, seperti dalam produksi makanan (misalnya, ragi dalam pembuatan roti dan bir) dan obat-obatan (misalnya, penisilin dari jamur *Penicillium*). Namun, beberapa jamur juga dapat menjadi patogen yang menyebabkan penyakit pada tanaman, hewan, dan manusia.



Gambar 2.2 Jamur (*Penicillium*)

Sumber: Alponsin, 2019

<https://alponsin.wordpress.com>

b) Jamur pada *eco-enzyme*

Eco-enzyme merupakan campuran mikroba yang bekerja secara sinergis untuk mencerna bahan organik dalam limbah. Jamur bisa menjadi salah satu komponen penting dalam *eco-enzyme* karena memiliki kemampuan untuk mengurai bahan organik kompleks. Beberapa jenis jamur dapat berkontribusi pada proses fermentasi dalam pembuatan *eco-enzyme*, misalnya, ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) yaitu jamur yang umum digunakan dalam fermentasi bahan organik. Jamur ini menghasilkan enzim-enzim yang memecah gula-gula kompleks menjadi alkohol dan asam organik. Jamur dalam *eco-enzyme* dapat berperan dalam meningkatkan kesuburn tanah dengan cara mendekomposisi bahan organik dan menghasilkan senyawa-senyawa organik yang bermanfaat bagi tanaman. Proses ini dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman serta memperbaiki struktur tanah. Beberapa jamur dalam *eco-enzyme* juga dapat memiliki sifat antagonis terhadap organisme patogen. Mereka menghasilkan senyawa-senyawa antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan organisme patogen dalam lingkungan dan membantu menjaga kesehatan tanaman. Namun jenis-jenis jamur dalam *eco-enzyme* dan peran mereka dapat bervariasi tergantung pada komposisi dan proses pembuatan *eco-enzyme*.

Mikroba yang umum ditemukan dalam *eco-enzyme* meliputi bakteri asam laktat (BAL) serta khamir atau kapang (Vama & Cherekar, 2020). Khamir adalah jenis mikroorganisme uniseluler dari kelompok fungi yang sering hidup sebagai

parasit atau saprofit (Rukmini & Astuti Herawati, 2023). Bakteri asam laktat umumnya ada dalam bahan organik yang kaya karbohidrat dan sering terlibat dalam fermentasi berbagai buah seperti jeruk, pisang, nanas, dan apel. Proses fermentasi yang dilakukan oleh jamur dan beberapa jenis bakteri menghasilkan alkohol, sementara sebagian besar bakteri menghasilkan asam asetat. Fermentasi ini terjadi karena aktivitas enzim yang ada dalam bakteri atau jamur. Baik alkohol maupun asam asetat memiliki sifat sebagai disinfektan. Fermentasi yang menghasilkan alkohol dan asam asetat sebagai disinfektan hanya dapat diterapkan pada produk tanaman karena mengandung karbohidrat (gula) di dalamnya. (Larasati *et al.*, 2022).

Enny Dalilah dan Dezi Handayani (2024) dalam (Gu *et al.*, 2021) juga menyatakan beberapa peneliti berhasil mengisolasi berbagai mikroorganisme dari *eco-enzyme*. *Eco-enzyme* yang dibuat dari campuran sisa buah apel, gula, dan air mengandung bakteri seperti *Acetobacter sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Methylobacterium sp.*, *Paenibacillus sp.*, serta beberapa jenis jamur seperti *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, dan *Penicillium sp.* Mikroorganisme ini memainkan peran penting dalam proses fermentasi *eco-enzyme* dengan menghasilkan berbagai enzim seperti amilase, protease, dan lipase yang memberikan manfaat tertentu.

3) Virus

Virus adalah organisme mikroskopis yang terdiri dari materi genetik (DNA atau RNA) yang terbungkus dalam kapsid protein. Virus tidak dianggap sebagai organisme hidup karena mereka tidak memiliki sel dan tidak dapat melakukan fungsi-fungsi vital seperti metabolisme sendiri atau reproduksi mandiri. Sebagai gantinya, virus memanfaatkan sel-sel organisme inangnya untuk mereplikasi dan menyebarkan diri. Setelah masuk ke dalam sel inang, virus menggunakan mesin replikasi sel inang untuk membuat salinan dari materi genetiknya dan membuat komponen-komponen virus baru. Setiap jenis virus memiliki spesifisitas inang yang berbeda. Ini berarti bahwa virus tertentu hanya dapat menginfeksi jenis sel atau organisme tertentu. Virus dapat menyebabkan berbagai penyakit pada organisme inangnya, termasuk pada manusia, hewan, tumbuhan, dan bahkan bakteri. Contoh penyakit yang disebabkan oleh virus pada manusia termasuk influenza, HIV/AIDS, cacar, dan COVID-19. Walaupun virus sering dianggap sebagai patogen, beberapa

jenis virus digunakan dalam penelitian ilmiah, terapi genetik, dan teknologi bioteknologi. Virus telah menjadi fokus penelitian yang luas, terutama dalam bidang virologi, untuk memahami cara mereka berevolusi, menyebabkan penyakit, dan potensi pengembangan vaksin dan terapi. Peran mereka dalam kesehatan manusia dan ekosistem juga terus dipelajari untuk mengembangkan strategi pengendalian penyakit yang lebih efektif.



Gambar 2.3 Virus

Sumber: Halodoc, 2023
<https://www.halodoc.com>

2. *Eco-enzyme*

a. Pengertian *eco-enzyme*

Eco-enzyme adalah produk yang dibuat dari bahan organik tanpa tambahan bahan kimia, sehingga memiliki sifat alami dan ramah lingkungan. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Rosukon Poompanvong, pendiri Asosiasi Pertanian Organik Thailand. Selama proses fermentasi dalam pembuatan *eco-enzyme*, terbentuk cairan yang mengandung flavonoid, alkaloid, dan saponin. Senyawa-senyawa ini memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Gunawan *et al.*, 2022). Selama proses fermentasi *eco-enzyme* juga menghasilkan ozon yang membantu mengurangi kadar karbon dioksida dan logam berat di udara, serta menghasilkan nitrat (NO₃) dan karbonat (CO₃) yang membantu membersihkan atmosfer. Gas-gas yang dihasilkan selama produksi *eco-enzyme* memiliki peran krusial dalam mengurangi efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Nitrit yang terbentuk juga berfungsi sebagai nutrisi bagi tanaman dan tanah. Selain itu, *eco-enzyme* memiliki kemampuan untuk

menetralkan racun dan polutan di sungai, tanah, dan atmosfer, serta berperan sebagai hormon alami bagi tumbuhan dan pohon, dan bertindak sebagai herbisida dan pestisida alami. Gas-gas yang terbentuk selama produksi *eco enzyme* memiliki peran penting dalam mengurangi efek rumah kaca yang menjadi penyebab pemanasan global. Nitrit yang terdapat di udara juga memiliki peran sebagai nutrisi bagi tanaman dan tanah. *eco enzyme* mampu menetralkan racun dan polutan di sungai, tanah, dan atmosfer, berfungsi sebagai hormon alami bagi tumbuhan dan pohon, serta bertindak sebagai herbisida dan pestisida alami. Menghasilkan *eco enzyme* secara massal dari setiap rumah dapat menjadi kontribusi signifikan dalam mengatasi perubahan iklim global. Dengan memproduksi *eco enzyme* di setiap rumah, kita dapat berperan dalam upaya menyelamatkan bumi, mulai dari dapur (Jelita, 2022).



Gambar 2.4 *Eco-enzyme*

Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

b. Cara Membuat

- 1) Mencuci bersih wadah yang akan di gunakan
- 2) Menyiapkan limbah yang akan digunakan berupa buah-buahan dan sayuran sebanyak 1,5 kg kemudian cuci bersih, dan potong menjadi beberapa bagian kecil untuk mempercepat proses fermentasi. Dalam penelitian yang akan peneliti lakukan hanya menggunakan sayuran jenis wortel saja.
- 3) Siapkan air sebanyak 5L dan tuangkan ke dalam wadah yang akan digunakan fermentasi
- 4) Masukkan potongan sayuran ke dalam wadah. Tambahkan gula atau gula merah dalam jumlah tertentu sesuai dengan resep yang Anda ikuti.

Perbandingan standar adalah 1 bagian buah-sayuran: 1 bagian gula: 3 bagian air.

- 5) Tuangkan air ke dalam wadah hingga semua bahan terendam sepenuhnya. Pastikan tidak ada udara yang terperangkap di dalam wadah.
- 6) Tutup wadah rapat-rapat dan biarkan campuran tersebut fermentasi selama beberapa minggu hingga beberapa bulan. Tempatkan wadah tersebut di tempat yang teduh dan terlindung dari sinar matahari langsung.

c. Kelebihan dan Kekurangan

Kelebihan *Eco-enzyme*:

- 1) *Eco-enzyme* ramah lingkungan karena terbuat dari bahan alami seperti buah-buahan, sayuran, dan gula, serta diproses melalui fermentasi oleh mikroorganisme. Ini merupakan pilihan alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan produk pembersih kimia yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.
- 2) *Eco-enzyme* dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, termasuk sebagai pembersih rumah tangga, pupuk organik, dan pengendali hama tanaman. Kemampuannya sebagai solusi serbaguna untuk kebutuhan rumah tangga dan pertanian menjadikannya sangat fleksibel.
- 3) Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat *eco-enzyme* terjangkau dan mudah diperoleh. Dengan memproduksi *eco-enzyme* sendiri, dapat mengurangi pengeluaran biaya untuk membeli produk pembersih komersial.
- 4) Meningkatkan kualitas tanah karena *eco-enzyme* dapat berperan sebagai pupuk organik untuk meningkatkan kesuburan tanah dan memperbaiki struktur tanah. Ini bermanfaat dalam konteks pertanian organik dan pengelolaan taman.

Kekurangan *Eco-enzyme*:

- 1) Proses fermentasi untuk membuat *eco-enzyme* membutuhkan waktu yang relatif lama sehingga memerlukan kesabaran dan perencanaan yang baik sebelum *eco-enzyme* dapat digunakan.
- 2) Meskipun *eco-enzyme* dapat efektif dalam membersihkan permukaan dan mengendalikan hama tertentu, terkadang mungkin tidak seefektif produk pembersih kimia komersial yang lebih kuat, karena penggunaan *eco-enzyme*

ini juga dapat menyebabkan tanaman mati karena kadar asam yang dihasilkan terlalu tinggi

d. Cara Penyimpanan

Cara penyimpanan *eco-enzyme* ini penting untuk mempertahankan kualitasnya. Berikut adalah beberapa tips penyimpanan *eco-enzyme*:

- 1) Pastikan *eco-enzyme* di letakkan di tempat yang sejuk, gelap, dan kering. Hindari penyimpanan di tempat yang terkena sinar matahari langsung atau suhu yang terlalu tinggi.
- 2) Jauhkan dari bahan berbahaya seperti bahan kimia atau zat-zat yang dapat mengkontaminasi cairan tersebut.
- 3) Sertakan label yang jelas pada wadah *eco-enzyme* dengan informasi tanggal pembuatan dan jenis bahan yang digunakan. Ini akan membantu untuk melacak umur simpan atau fermentasi.
- 4) Gunakan alat yang bersih dan steril saat mengambil *eco-enzyme* dari wadah dan hindari menyentuh cairan langsung dengan tangan untuk mengurangi risiko kontaminasi.

e. *Eco-enzyme* limbah sayuran wortel

Eco-enzyme limbah wortel adalah sebuah produk ramah lingkungan yang dibuat dari limbah atau sisa-sisa sayuran wortel yang telah difermentasi. Proses fermentasi ini melibatkan campuran wortel bersama dengan gula dan air, yang kemudian dibiarkan untuk mengalami reaksi biokimia yang menghasilkan cairan yang kaya akan mikroorganisme bermanfaat. Wortel mengandung karbohidrat yang dapat menjadi sumber energi bagi mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi. Karbohidrat ini membantu memicu aktivitas mikroba yang menghasilkan enzim-enzim yang diperlukan untuk memecah bahan organik menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana. Wortel juga mengandung berbagai nutrisi yang bermanfaat bagi mikroorganisme, seperti vitamin, mineral, dan senyawa-senyawa lainnya. Nutrisi ini mendukung pertumbuhan dan perkembangan mikroba yang berkontribusi dalam proses fermentasi dan pembentukan *eco-enzyme*. Selain itu juga sifat asam dari wortel yang ringan dapat

membantu dalam menjaga kondisi lingkungan fermentasi menjadi lebih ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme yang diinginkan.

f. Standar mutu *eco-enzyme* yang baik

Fermentasi *eco-enzyme* dianggap berhasil jika menghasilkan larutan berwarna coklat dan memiliki aroma mirip buah-buahan, serta memiliki pH kurang dari 4 atau bersifat asam. Hal tersebut disebabkan karena adanya mikroorganisme yang mengalami proses metabolisme bakteri alami selama fermentasi berlangsung untuk menghasilkan alkohol dan asam organik (Larasati *et al.*, 2022).

Eco-enzyme yang baik sebaiknya mengandung sejumlah komponen yang penting untuk mencapai efektivitas dan manfaat yang diinginkan seperti asam organik seperti asam asetat, asam laktat, dan asam sitrat dihasilkan selama proses fermentasi dan memberikan sifat asam pada *eco-enzyme*. Asam organik ini bermanfaat untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan untuk membersihkan permukaan secara efektif. Kemudian mengandung berbagai jenis enzim yang dihasilkan selama proses fermentasi karena enzim-enzim tersebut membantu memecah bahan organik menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan mudah diserap oleh tanaman atau lingkungan. *Eco-enzyme* yang baik juga sebaiknya mengandung berbagai nutrisi yang bermanfaat bagi tanaman atau lingkungan, seperti vitamin, mineral, dan senyawa-senyawa lainnya. Nutrisi ini membantu meningkatkan kesuburan tanah, kesehatan tanaman, atau efektivitas pembersihan. Selain itu juga sebaiknya mengandung mikroorganisme yang menguntungkan, seperti bakteri dan ragi. Mikroorganisme ini membantu meningkatkan keseimbangan ekosistem tanah dan mendukung kesehatan tanaman (Yuliani *et al.*, 2023).

3. Limbah Sayuran

a. Definisi limbah

Pemilahan limbah sampah menjadi salah satu kegiatan yang sudah seharusnya tersentuh oleh kemajuan teknologi (Hakim, 2019). Limbah yang bersifat padat terdiri dari zat organik dan zat anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan (Nurhamidah *et al.*, 2021). Permasalahan limbah menjadi isu yang sangat krusial di setiap tingkatan

pemerintahan. Limbah dianggap sesuatu yang tidak memiliki nilai ekonomis, kehadirannya bahkan dapat memberikan dampak negatif terutama bagi Kesehatan (Suryani *et al.*, 2020). Menurut Rabbani, 2020 dalam (Pranata *et al.*, 2021) Limbah dapat menyebabkan masalah jika tidak dikelola dengan serius, terutama limbah rumah tangga yang berperan dalam pencemaran lingkungan.

Limbah rumah tangga merupakan hasil buangan dari aktivitas manusia. Jika limbah ini dibuang secara sembarangan, dapat menimbulkan berbagai masalah, baik bagi lingkungan maupun kesehatan manusia (Jelita, 2022). Menurut data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022, dari total produksi sampah nasional sebesar 21,1 juta ton yang dilaporkan dari 202 kabupaten/kota di Indonesia, sekitar 65,71% atau 13,9 juta ton sampah dapat dikelola dengan baik, sementara sisanya sebesar 34,29% atau 7,2 juta ton belum dikelola dengan baik (Faristiana *et al.*, 2023).

b. Limbah sayuran

Limbah sayuran yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari merupakan bahan buangan yang sering kali ditempatkan dan dibiarkan begitu saja di lingkungan tanpa proses pengolahan lebih lanjut. Semakin tinggi aktivitas sehari-hari, semakin banyak pula limbah sayuran yang dihasilkan. Pengelolaan limbah dari kegiatan sehari-hari ini masih belum optimal karena kurangnya kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga lingkungan, dan proses pengolahannya membutuhkan waktu yang cukup lama (Bunari *et al.*, 2022). Beberapa contoh limbah sayuran melibatkan sisa-sisa dari pertanian, seperti daun dan batang yang dipotong selama panen, bisa menjadi limbah sayuran jika tidak dimanfaatkan. Sisa pasar bagian-bagian sayur yang kurang menarik, terlalu matang, atau cacat dapat menjadi limbah. Sisa pengolahan pabrik karena selama pengolahan makanan atau pemotongan sayuran di pabrik-pabrik, bagian-bagian yang tidak diinginkan atau tidak digunakan untuk produk utama dapat menjadi limbah. Kemudian sisa konsumen karena biasanya sisa-sisa sayuran yang tidak dimakan atau tidak digunakan dalam masakan dapat menjadi limbah.

Pengelolaan limbah sayur menjadi semakin penting karena berbagai alasan, termasuk dampak lingkungan dan potensi untuk memanfaatkannya kembali. Beberapa praktik pengelolaan limbah sayuran melibatkan daur ulang atau kompos untuk menghasilkan pupuk organik. Limbah sayur juga dapat digunakan sebagai pakan ternak atau diarahkan ke instalasi daur ulang energi. Praktik-praktik ini membantu mengurangi jumlah limbah yang berakhir di tempat pembuangan sampah, mengurangi dampak lingkungan, dan mendukung pendekatan berkelanjutan dalam produksi dan konsumsi makanan.



Gambar 2.5 Limbah Sayuran

Sumber: Grid Health, 2019

<https://health.grid.id/>

c. Limbah Wortel

Wortel (*Daucus carota*) adalah tanaman sayuran yang dikenal dengan akarnya yang biasanya berwarna oranye cerah, meskipun ada juga varietas yang memiliki warna ungu, kuning, atau putih. Tanaman ini termasuk dalam keluarga Apiaceae dan memiliki akar yang dikonsumsi sebagai bagian utama dari tanaman tersebut.

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Apiales
Family	: Apiaceae
Genus	: <i>Daucus</i>
Spesies	: <i>Daucus carota</i>

Wortel mungkin menjadi limbah sayur yang banyak ditemui karena beberapa alasan yang berkaitan dengan produksi, distribusi, dan konsumsi. Berikut beberapa faktor yang mungkin menyebabkan wortel menjadi salah satu limbah sayur yang paling banyak ditemui karena wortel sering ditanam dalam jumlah besar dan dapat menghasilkan stok yang berlimpah, terutama dalam musim panen. Kondisi ini dapat menyebabkan kelimpahan wortel yang tidak dapat dijual atau dikonsumsi secara keseluruhan. Sehingga wortel mungkin tidak memenuhi standar kualitas pasar atau tampilan estetika tertentu yang diharapkan oleh konsumen dan pedagang. Sayuran yang tidak sesuai standar seringkali dianggap sebagai limbah dan dapat ditinggalkan atau dibuang. Kemudian selama penyimpanan atau transportasi, beberapa wortel dapat rusak atau mengalami kecacatan. Kerusakan ini dapat menyebabkan bagian dari panen menjadi limbah.

Untuk mengatasi masalah limbah wortel, beberapa praktik berikut dapat diadopsi dengan memanfaatkan dalam pembuatan produk lain, seperti pupuk organik, pakan ternak, atau bahkan sebagai bahan untuk produksi bioenergi. Pendekatan berbasis lingkungan seperti mengembangkan solusi daur ulang dengan mengedukasi tentang pilihan sayuran yang sedikit cacat atau tidak sempurna tetapi



Gambar 2.6 Limbah Wortel

Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

4. Tanaman Selada

Selada hijau (*Lactuca sativa L.*) adalah sayuran daun dengan siklus hidup singkat sekitar 30 hari, cocok untuk ditanam baik di dataran tinggi maupun dataran rendah. Tanaman ini dikenal karena memiliki berbagai manfaat kesehatan (Jahro,

2018). Selada memiliki kandungan serat, vitamin, antioksidan, kalium, zat besi, folat, karotenoid, vitamin C, dan vitamin E. Kombinasi nutrisi ini membuat selada bermanfaat untuk mendukung kesehatan tubuh secara menyeluruh. (Abdullah & Andres, 2021).

Berikut adalah klasifikasi dari tanaman selada (*Lactuca sativa*)

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Subkelas	: Asteridae
Ordo	: Asterales
Family	: Asteraceae
Genus	: <i>Lactuca</i>
Spesies	: <i>Lactuca sativa</i>



Gambar 2.7 Selada (*Lactuca sativa*)

Sumber : Freepik.com

<https://www.freepik.com>

a. Syarat tumbuh tanaman selada (*Lactuca sativa* L.)

Selada tumbuh baik pada tanah yang subur, kaya akan humus dan struktur remah, dengan pH tanah optimal antara 5 hingga 6,5. Unsur hara yang cukup menjadi faktor kunci dalam meningkatkan produksi selada. Salah satu metode untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman selada adalah menggunakan pupuk organik cair (POC). Suhu ideal untuk pertumbuhan selada berkisar antara 15-25°, dengan waktu tanam yang optimal adalah akhir musim hujan. Tanaman ini paling cocok

ditanam di ketinggian antara 500 hingga 2.000 meter di atas permukaan laut. Agar selada dapat tumbuh dengan baik di dataran rendah, penting untuk menggunakan media tanam yang sesuai dan memastikan ketersediaan nutrisi yang mencukupi. (Leksono, 2021).

Selain memiliki media tanam yang baik, pentingnya penggunaan pupuk organik seperti pupuk kandang sapi sangat ditekankan dalam pengembangan tanaman selada untuk meningkatkan hasil produksi. Pupuk kandang sapi diharapkan dapat memperbaiki kualitas tanah serta meningkatkan hasil tanaman dengan cara meningkatkan ketersediaan unsur hara dan mendukung pertumbuhan mikroorganisme serta memperbaiki struktur tanah (Mayadewi, 2007).

b. Faktor klimatik yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman selada

Ahmed *et al.*, (2020) menyatakan bahwa faktor-faktor klimatik yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman termasuk suhu, kelembaban udara, cahaya, dan curah hujan. Berikut adalah bagaimana setiap faktor ini dapat mempengaruhi pertumbuhan banyak daun, bobot atau berat tanaman, serta tinggi pertumbuhan tanaman. Pertama suhu, tanaman memiliki rentang suhu optimal di mana mereka dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Suhu yang ideal dapat merangsang pertumbuhan daun, memungkinkan proses fotosintesis yang efisien, dan mempercepat metabolisme tanaman untuk meningkatkan produksi biomassa.

Kemudian kelembaban udara, kelembaban udara yang tepat penting untuk pertumbuhan tanaman karena mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman dan juga proses transpirasi. Kelembaban udara yang rendah dapat menyebabkan tanaman kehilangan air terlalu cepat melalui proses transpirasi, yang dapat menghambat pertumbuhan dan mengakibatkan penurunan berat tanaman. Kelembaban yang cukup dapat meningkatkan produksi daun dan mempercepat pertumbuhan tanaman.

Selanjutnya cahaya yang memiliki peranan sangat penting untuk proses fotosintesis, di mana tanaman menggunakan energi cahaya untuk menghasilkan makanan. Intensitas, durasi, dan spektrum cahaya yang diterima oleh tanaman

mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan mereka. Cahaya yang cukup akan merangsang pertumbuhan daun dan mempercepat produksi biomassa.

Curah hujan juga mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman. Tanaman membutuhkan air untuk proses fotosintesis, transportasi nutrisi, dan pembentukan jaringan baru. Curah hujan yang cukup dapat mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dengan meningkatkan ketersediaan air tanah. Namun, curah hujan yang berlebihan atau kurang dapat mengganggu pertumbuhan dan menyebabkan stres tanaman.

Dalam berbagai kombinasi, faktor-faktor ini akan mempengaruhi pertumbuhan jumlah daun, berat atau bobot tanaman, serta tinggi pertumbuhan secara keseluruhan. Tanaman yang tumbuh dalam kondisi optimal akan memiliki daun yang lebih banyak, bobot yang lebih berat, dan tinggi pertumbuhan yang lebih tinggi daripada tanaman yang tumbuh dalam kondisi yang tidak ideal. Faktor lain yang dapat mempengaruhi juga bisa karena kekurangan nutrisi, penyakit atau serangga, serta kondisi genetiknya.

5. Media Tanam

Pemilihan substrat atau media tanam adalah keputusan penting dalam aktivitas pertanian. Media tanam yang dipilih harus sesuai dengan jenis tanaman yang akan ditanam. Secara umum, media tanam yang ideal harus dapat mempertahankan kelembapan di sekitar zona akar, menyediakan aerasi yang cukup, dan menjaga ketersediaan unsur hara. Beberapa bahan organik yang sering digunakan sebagai media tanam meliputi arang, cacahan pakis, kompos, lumut, cocopeat, pupuk kandang, dan humus. Media tanam berbahan dasar organik memiliki banyak keunggulan dibandingkan media tanah, seperti konsistensi yang baik, ringan, minim risiko terhadap penyakit, dan lebih bersih. Penggunaan bahan organik sebagai media tanam lebih disukai dibandingkan bahan anorganik karena mampu menyediakan unsur hara yang penting bagi tanaman. Selain itu, bahan organik memiliki porositas makro dan mikro yang optimal, memungkinkan sirkulasi udara yang baik serta penyerapan air yang efisien (Dalimoenthe, 2013).

B. Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Terdahulu
1.	<p>a. Peneliti : Terry Pakki, Robiatul Adawiyah, Agung Yuswana, Namriah, Muhamman Arief Dirgantoro, Agustono Slamet (2021)</p> <p>b. Judul : Pemanfaatan <i>Eco-enzyme</i> Berbahan Dasar Sisa Bahan Organik Rumah Tangga Dalam Budidaya Tanaman Sayuran di Pekarangan</p> <p>c. Tempat Penelitian : Sanggar Biokomp Organik FP-UHO Laboratorium Kebun Percobaan I Faperta UHO Kelurahan Kambu Kecamatan Kambu Kota Kendari Provinsi Sulawesi Tenggara.</p> <p>d. Metode : Metode yang digunakan dalam kegiatan ini adalah kombinasi penyuluhan dan bimbingan teknis.</p> <p>e. Hasil Penelitian : Penyuluhan dan sosialisasi mengenai penggunaan <i>Eco Enzyme</i> yang berasal dari limbah organik rumah tangga seperti sisa-sisa sayuran dan buah-buahan dilakukan untuk meningkatkan kesadaran akan pelestarian lingkungan. Hal ini diwujudkan melalui kegiatan penyemprotan <i>Eco Enzyme</i> pada tanaman dan udara sekitar pertanaman.</p> <p>f. Persamaan : Limbah <i>Eco enzyme</i> yang digunakan yaitu sayuran</p> <p>g. Perbedaan : Tidak menggunakan tanaman lobak sebagai objek penelitian (Pakki et al., 2021)</p>
2.	<p>a. Peneliti : Hayu Kartika, Candra Setia Bakti (2022)</p> <p>b. Judul : Edukasi Pembuatan <i>Eco-Enzyme</i> dalam Pemanfaatan Limbah Organik</p> <p>c. Tempat Penelitian : Pengabdian di lakukan diTanggerang</p> <p>d. Metode : Metode pengabdian ini melakukan edukasi mengenai cara membuat <i>Eco-Enzyme</i> melalui modul pelatihan dan pembelajaran</p> <p>e. Hasil Penelitian : Dari peserta edukasi tentang pembuatan <i>Eco-Enzyme</i>, delapan warga memilih untuk terlibat langsung dalam</p>

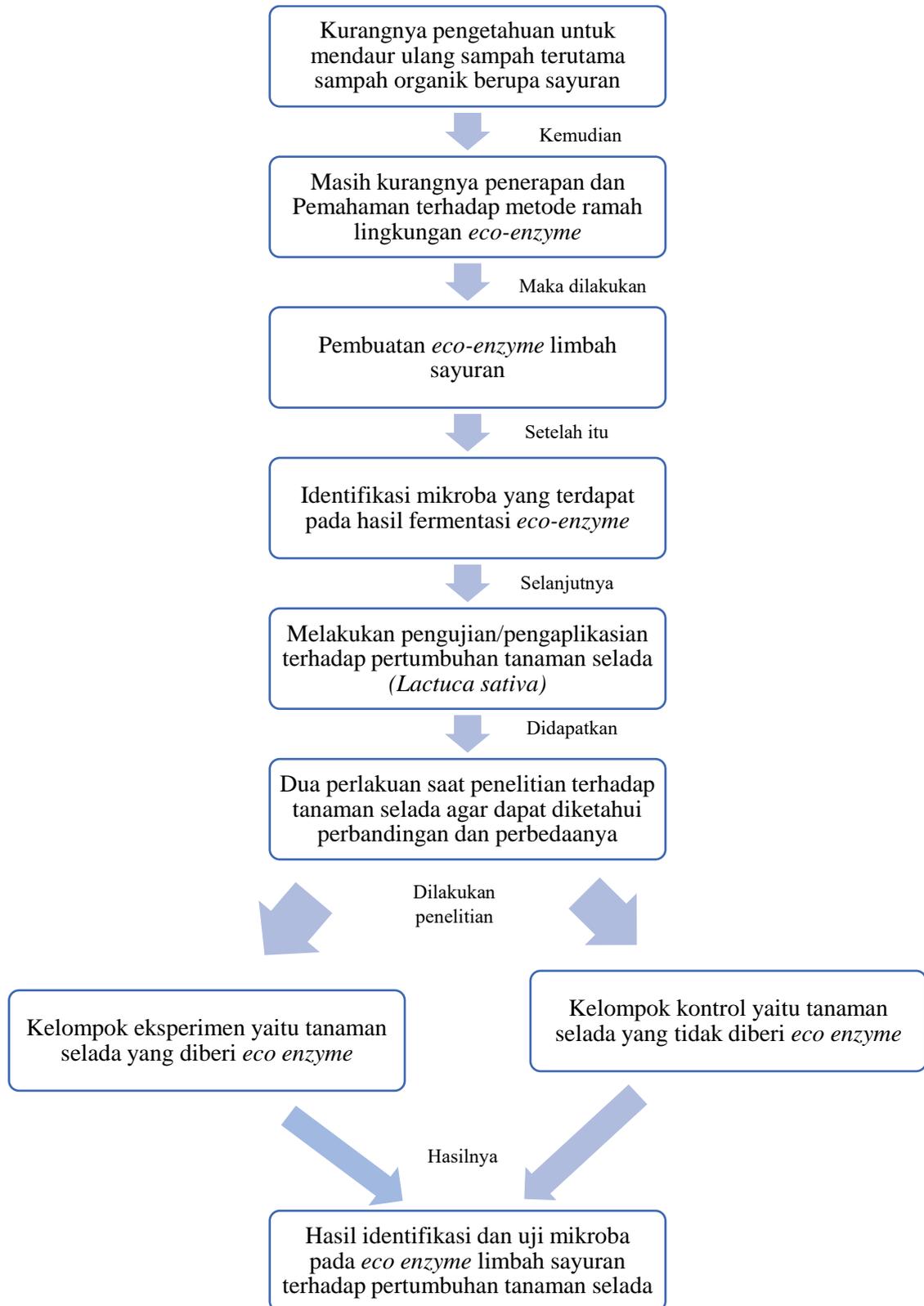
No	Penelitian Terdahulu
	<p>kegiatan ini, dan dari mereka semua, 100% berhasil membuat larutan <i>Eco-enzyme</i>. Ini menunjukkan bahwa proses pembuatan Eco-Enzyme relatif mudah dipahami dan memiliki tingkat keberhasilan yang tinggi ketika didampingi secara berkala.</p> <p>f. Persamaan : Limbah yang digunakan sebagai bahan <i>eco enzyme</i> menggunakan limbah organik</p> <p>g. Perbedaan : Tidak melakukan edukasi atau pengabdian kepada Masyarakat (Kartika & Bakti, 2022)</p>
3.	<p>a. Peneliti : Inna Nisawati Mardiani, Nisa Nurhidayanti, Miftakul Huda (2021)</p> <p>b. Judul : Sosialisasi Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Eco Enzim Bagi Warga Desa Jatireja Kecamatan Cikarang Timur Kabupaten Bekasi</p> <p>c. Tempat Penelitian : Desa Jatireja, Kecamatan Cikarang Timur</p> <p>d. Metode : Tim pengabdian dari Universitas Pelita Bangsa merencanakan pengelolaan sampah organik di Desa Jatireja dengan beberapa tahapan. Mereka berkoordinasi dengan pihak desa dan Lembaga Pemberdayaan Masyarakat (LPM) Desa Jatireja serta melakukan sosialisasi tentang pembuatan <i>eco-enzyme</i> kepada penduduk Desa Jatireja.</p> <p>e. Hasil Penelitian : Sosialisasi tentang pembuatan ecoenzim kepada penduduk Desa Jatireja, Kecamatan Cikarang Timur menghadapi tantangan karena pandemi Covid-19 yang dimulai sejak Maret 2019. Hal ini mengakibatkan pembatasan jumlah peserta menjadi 30 orang saja. Meskipun demikian, masyarakat Desa Jatireja menunjukkan antusiasme yang tinggi terhadap sosialisasi ini. Mereka aktif berpartisipasi dalam forum diskusi mengenai pembuatan ecoenzim. Selain itu, terdapat komitmen kuat dari warga untuk mengimplementasikan pembuatan ecoenzim sebagai produk alami yang dapat dimanfaatkan dalam kegiatan sehari-hari di rumah mereka.</p>

No	Penelitian Terdahulu
	<p>f. Persamaan : Memanfaatkan limbah organik untuk pembuatan <i>eco enzyme</i></p> <p>g. Perbedaan : tidak dilakukan sosialisasi mengenai pemanfaatan <i>eco enzyme</i> (Mardiani <i>et al.</i>, 2021)</p>
4.	<p>a. Peneliti : Muhammad Rifki Kurniawan, Rofiq Perwira Adjie, Ilham Rizqi Akbar, Salis Azkia Nugraha, Bomaseta Aadiyaatloka Nalendra (2022)</p> <p>b. Judul : Pelatihan Pembuatan Eco-Enzyme Menjadi Hand Sanitizer dan Pupuk Cair Organik di Desa Pucung</p> <p>c. Tempat Penelitian : Desa Pucung RT 53, Pendowoharjo, Sewon, Bantul</p> <p>d. Metode : Teknik Penyulihan, Pelatihan, dan Pendampingan Iptek</p> <p>e. Hasil Penelitian : Hasil kuesioner kepada masyarakat mitra menunjukkan peningkatan pemahaman dan pengetahuan mereka tentang pengelolaan sampah dan <i>eco-enzyme</i>. Selama lebih dari 3 bulan pelaksanaan kegiatan, telah berhasil mencapai salah satu indikator keberhasilan, yaitu produksi hand sanitizer dan pupuk cair organik.</p> <p>f. Persamaan : Menghasilkan Pupuk Organik Cair</p> <p>g. Perbedaan : Tidak menghasilkan hand sanitizer (Kurniawan <i>et al.</i>, 2023)</p>
5.	<p>a. Peneliti : Wulan Sari Sinaga, Desyana Millenia Limeranto, Eugenia Larissa Bakti Pangala, Kukuh Madyaningrana (2023)</p> <p>b. Judul : Efek Pemberian Pupuk Organik Cair Berbasis Kulit Buah (<i>Eco Enzyme</i>) terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (<i>Brassica chinensis</i> L.)</p> <p>c. Tempat Penelitian : Dilakukan di fasilitas penelitian lapang Fakultas Bioteknologi UKDW.</p> <p>d. Metode : Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan menerapkan Rancangan Acak Lengkap</p>

No	Penelitian Terdahulu
	<p>(RAL). Penelitian ini melibatkan 5 perlakuan yang diulang sebanyak 5 kali.</p> <p>e. Hasil Penelitian : Hasil analisis kadar nutrien makro POC kulit buah menunjukkan bahwa kandungan unsur karbon, nitrogen, fosfor dan kalium berturut-turut adalah 5,62%, 0,17%, 0,01%, dan 0,44%. Rendahnya kadar C-organik (5,62%) dan kadar NPK total (0,62%) menunjukkan bahwa nutrien makro yang dimiliki oleh POC kulit buah dalam penelitian ini belum memenuhi standar baku mutu.</p> <p>f. Persamaan : Di jadikan pupuk organik cair</p> <p>g. Perbedaan : Di aplikasikan terhadap tanaman Selada (Sinaga <i>et al.</i>, 2023)</p>

C. Kerangka Pemikiran

Menumpuknya sampah dalam jangka waktu yang lama dapat mengakibatkan polusi dan pencemaran karena sering kali sampah dianggap tidak berguna dan langsung dibuang oleh penggunanya. Meskipun demikian, dengan penanganan dan proses yang tepat, sampah masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan, terutama sampah organik sebagai contohnya. (Pranata *et al.*, 2021). Namun karena kurangnya pengetahuan untuk mendaur ulang sampah terutama sampah organik, maka kurang juga penerapan dan pemahaman terhadap metode ramah lingkungan seperti *eco-enzyme*.



Gambar 2.8 Kerangka Pemikiran

D. Asumsi dan Hipotesis

1. Asumsi Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada asumsi mengenai sumber bahan baku, yaitu limbah sayuran. Memanfaatkan limbah sayuran dalam produksi *eco-enzyme* dianggap sebagai metode yang sangat efektif dalam pengelolaan sampah organik dengan pendekatan yang ramah lingkungan.

4. Hipotesis Penelitian

H_0 : Tidak ada perbedaan yang signifikan dalam identifikasi dan uji mikroba pada *eco-enzyme* limbah sayuran terhadap pertumbuhan tanaman selada hijau (*Lactuca sativa L.*).

H_1 : Terdapat perbedaan yang signifikan dalam identifikasi dan uji mikroba pada *eco-enzyme* limbah sayuran terhadap pertumbuhan tanaman selada (*Lactuca sativa L.*).

E. Keterkaitan dengan Pembelajaran Biologi

Penelitian ini tentang identifikasi mikroba dalam *eco-enzyme* dan penggunaannya sebagai nutrisi pada tanaman dapat dijadikan sebagai materi pembelajaran bagi guru dan siswa, terutama dalam konteks KD 3.1 mengenai pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup, khususnya dalam pembelajaran tentang pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fokus pembelajaran dapat mencakup pemahaman tentang bagaimana faktor internal dan eksternal mempengaruhi pertumbuhan serta perkembangan tanaman. Penelitian ini juga memberikan peluang untuk menerapkan pendekatan pembelajaran yang memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai lingkungan hidup secara ilmiah.