

## BAB II

### KAJIAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN

#### A. *Eco-Enzym*

*Eco-enzyme* adalah produk yang dibuat dari bahan-bahan organik tanpa tambahan zat kimia, sehingga bersifat 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*, dihasilkan cairan yang mengandung senyawa seperti flavonoid, alkaloid, dan saponin, yang memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Gunawan et al, 2022). Selain itu, proses fermentasi *eco-enzyme* juga menghasilkan ozon yang membantu menurunkan kadar karbon dioksida dan logam berat di udara, serta menghasilkan nitrat (NO<sub>3</sub>) dan karbonat (CO<sub>3</sub>) yang berfungsi membersihkan atmosfer. Gas-gas yang dihasilkan dalam proses pembuatan *eco-enzyme* memainkan peran penting dalam mengurangi efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Nitrit yang terbentuk berperan sebagai nutrisi bagi tanaman dan tanah (Gunawan et al, 2022).

*Eco-enzyme* juga mampu menetralkan racun dan polutan yang terdapat di sungai, tanah, dan udara, sekaligus berfungsi sebagai hormon alami bagi tumbuhan dan pohon, serta bertindak sebagai herbisida dan pestisida alami. Menghasilkan *eco-enzyme* secara luas dari setiap rumah dapat menjadi kontribusi besar dalam mengatasi perubahan iklim global. Dengan membuat *eco-enzyme* di rumah masing-masing, kita dapat turut berkontribusi dalam upaya menyelamatkan lingkungan, dimulai dari dapur kita sendiri (Jelita, 2022).

Adapun Langkah-langkah Pembuatan yaitu pertama Bersihkan wadah yang akan digunakan hingga benar-benar bersih. Dan siapkan limbah organik berupa bunga-bunga yang telah layu sebanyak 1,5 kg, kemudian cuci bersih dan potong kecil-kecil untuk mempercepat fermentasi. Pada penelitian yang dilakukan, peneliti hanya menggunakan bunga melati, bunga anggrek, dan bunga mawar yang telah layu sebagai bahannya. Selanjutnya sediakan air sebanyak 5 liter dan tuangkan ke dalam wadah untuk proses fermentasi. Masukkan potongan bunga-bunga layu

ke dalam wadah, lalu tambahkan gula atau gula merah sesuai takaran resep. Perbandingan umumnya adalah 1 bagian bunga layu : 1 bagian gula : 3 bagian air.

Lalu tambahkan air hingga seluruh bahan terendam sempurna, pastikan tidak ada udara yang tersisa di dalam wadah. Tutup wadah rapat dan biarkan campuran tersebut mengalami fermentasi selama beberapa minggu hingga beberapa bulan. Simpan wadah di tempat teduh yang tidak terkena sinar matahari langsung.

Keunggulan *Eco-enzyme* diantaranya *Eco-enzyme* ramah lingkungan karena dibuat dari bahan alami seperti tanaman atau bunga-bunga yang telah layu dan gula, yang difermentasi oleh mikroorganisme. Ini adalah alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan produk pembersih kimia yang dapat mencemari lingkungan. *Eco-enzyme* dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk sebagai pembersih rumah, pupuk organik, dan pengendali hama tanaman, menjadikannya solusi serbaguna untuk kebutuhan rumah tangga dan pertanian (Jelita, 2022).

Bahan-bahan untuk membuat *eco-enzyme* mudah diperoleh dan terjangkau. Dengan membuat *eco-enzyme* sendiri, biaya untuk membeli produk pembersih komersial dapat dikurangi. *Eco-enzyme* meningkatkan kualitas tanah karena dapat berfungsi sebagai pupuk organik yang memperbaiki kesuburan dan struktur tanah, sehingga bermanfaat bagi pertanian organik dan perawatan taman.

Kelemahan *Eco-enzyme* diantaranya seperti proses fermentasi *eco-enzyme* memerlukan waktu yang cukup lama sehingga membutuhkan kesabaran dan perencanaan sebelum produk dapat digunakan. Walaupun *eco-enzyme* efektif untuk membersihkan permukaan dan mengendalikan hama tertentu, efektivitasnya mungkin tidak setara dengan produk pembersih kimia komersial yang lebih kuat. Penggunaan *eco-enzyme* juga bisa berdampak negatif pada tanaman jika kadar asam yang dihasilkan terlalu tinggi, yang dapat menyebabkan kematian tanaman. Cara menyimpan *eco-enzyme* sangat penting untuk menjaga kualitasnya. Berikut adalah beberapa saran penyimpanan yang pertama yaitu simpan *eco-enzyme* di tempat yang sejuk, gelap, dan kering. Hindari paparan langsung sinar matahari atau suhu yang tinggi. Jauhkan dari bahan berbahaya, seperti bahan kimia atau zat lain yang dapat mencemari cairan *eco-enzyme* (Jelita, 2022).

Tempelkan label yang jelas pada wadah *eco-enzyme* dengan informasi tanggal pembuatan dan jenis bahan yang digunakan untuk memudahkan pelacakan masa simpan atau tahap fermentasinya. Gunakan alat yang bersih dan steril saat mengambil *eco-enzyme* dari wadah, dan hindari kontak langsung dengan tangan untuk mencegah risiko kontaminasi.

Fermentasi *eco-enzyme* dinyatakan berhasil jika menghasilkan cairan berwarna coklat dengan aroma bunga-bungaan dan tingkat keasaman (pH) di bawah 4. Hal ini disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan alkohol dan asam organik selama fermentasi (Larasati et al., 2022).

*Eco-enzyme* berkualitas sebaiknya mengandung komponen-komponen penting untuk efektivitas dan manfaat, seperti Asam Organik: Asam-asam seperti asetat, laktat, dan sitrat yang dihasilkan selama fermentasi memberikan sifat asam pada *eco-enzyme*, meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, dan membersihkan permukaan dengan efektif.

Enzim-enzim yang terbentuk selama fermentasi membantu memecah bahan organik menjadi elemen yang lebih sederhana, yang mudah diserap oleh tanaman atau lingkungan. Nutrisi: Kandungan vitamin, mineral, dan senyawa lain bermanfaat dalam *eco-enzyme* membantu meningkatkan kesuburan tanah, kesehatan tanaman, atau efektivitas dalam membersihkan Mikroorganisme Menguntungkan: Mikroorganisme seperti bakteri dan ragi mendukung keseimbangan ekosistem tanah dan kesehatan tanaman. Eco enzyme mengandung enzim seperti amilase, lipase, dan protease yang membantu untuk terjadinya pertumbuhan yang baik. Eco-enzyme adalah cairan alami yang dihasilkan dari fermentasi sisa buah dan sayuran, gula, dan air. Eco-enzyme memiliki sifat antimikroba yang kuat dan dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Yuliani et al, 2023).

## **B. Mikroba**

Mikroba adalah singkatan dari mikroorganisme, yang merupakan cabang ilmu yang mempelajari organisme kecil atau mikroskopis yang hanya dapat diamati menggunakan mikroskop. Istilah mikrobiologi berasal dari bahasa Yunani, di mana "mikros" berarti kecil, "bios" berarti kehidupan, dan "logos"

merujuk pada ilmu pengetahuan (Fachrial, 2022). Mikroba memiliki berbagai bentuk dan struktur yang berbeda.

Mikroba mencakup berbagai tipe organisme, termasuk bakteri, jamur, dan virus. Banyak orang beranggapan bahwa mikroorganisme hanya berdampak negatif bagi kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan karena banyak mikroorganisme patogen yang ditemukan dan dapat menyebabkan penyakit. Namun, di balik itu, masih banyak mikroba yang memiliki peran vital dalam berbagai aspek kehidupan di bidang pertanian, kesehatan, dan lingkungan (Assafat Hadi, 2019).

Karakteristik pada Mikroba umumnya sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop. Mereka memiliki ukuran yang bervariasi, mulai dari beberapa mikrometer hingga beberapa nanometer. Sebagian besar mikroba terdiri dari satu sel atau merupakan organisme uniselular. Ada dua jenis mikroba utama, yaitu prokariota dimana perkembangan selnya belum sempurna dan eukariota yang perkembangan selnya sudah sempurna. 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. Mikroba dapat beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan, termasuk suhu ekstrem, pH, tekanan, dan ketersediaan nutrisi, dan Memiliki berbagai bentuk dan struktur.

Mikroba mempunyai kandungan yang baik pada *ecoenzym*. *Ecoenzym* mempunyai kandungan mikroba baik (*Lactobasilus*, *Asotobacter xylinum*, jamur ragi/Khamir, bakteri asam laktat), enzim (protease, amilase, lipase), mineral/hara (tergantung bahan organik yang dipakai), dan metabolit sekunder (*polifenol*, *alkaloid*, *antioksidan* lainnya sesuai BO asal) (Susanto, 2022).

Berikut adalah beberapa mikroba yang ada pada *ecoenzym*:

a. Bakteri

Bakteri merupakan organisme mikroskopis prokariotik yang dapat ditemukan di berbagai habitat, seperti tanah, air, udara, serta di dalam tubuh manusia, hewan, dan tumbuhan. Mereka memiliki peranan penting dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam siklus biogeokimia, industri, pertanian, dan kesehatan. Salah satu ciri khas bakteri adalah struktur sel

prokariotik, yang berarti mereka tidak memiliki inti sel (*nukleus*) yang dilindungi oleh membran. Materi genetik (DNA) bakteri berada dalam sitoplasma dalam bentuk kromosom bakteri yang terletak di area yang disebut nukleoid. Bakteri dapat memiliki berbagai bentuk dan ukuran, di antaranya bulat (*kokus*), batang (*basil*), spiral (*spirila*), atau bentuk lainnya. Ukuran bakteri bervariasi, mulai dari mikroskopis hingga ukuran yang dapat dilihat dengan mata telanjang. Bakteri memiliki kemampuan metabolik yang beragam. Beberapa bakteri bersifat autotrof, mampu mensintesis makanan dari bahan-bahan anorganik, sedangkan yang lain bersifat *heterotrof* dan memerlukan bahan organik sebagai sumber energi dan nutrisi.

Adapun jenis-jenis bakteri yang ada pada *ecoenzym* yaitu bakteri asam laktat, *Lactobacillus*, dan *Asotobacter xylinum*. bakteri asam laktat), enzim (protease, amilase, lipase), mineral/hara (tergantung bahan organik yang dipakai), dan metabolit sekunder (*polifenol*, *alkaloid*, antioksidan lainnya sesuai BO asal) (Susanto, 2022).

#### 1.) Bakteri asam laktat

Salah satu bakteri yang tumbuh dalam pembuatan *ecoenzyme* biasanya adalah bakteri asam laktat yang mengubah oksigen menjadi senyawa hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ). Senyawa tersebut akan bersifat toksik atau beracun pada bakteri patogen atau bakteri berbahaya yang tumbuh di larutan *eco enzyme*. Adapun karakteristik dari bakteri asam laktat yaitu merupakan kelompok bakteri yang mampu memfermentasi gula atau karbohidrat untuk menghasilkan asam laktat. BAL berperan dalam berbagai proses biokimia. Bersifat Gram positif, Tidak membentuk spora, Berbentuk bulat atau batang, Tidak memiliki enzim katalase, Tidak bernapas, Tidak memiliki porfirin dan sitokrom, Tidak melakukan fosforilasi transpor elektron, Hanya mendapatkan energi dari fosforilasi substrat (Susanto, 2022).

#### 2.) *Asotobacter xylinum*

*Acetobacter xylinum* merupakan bakteri gram negatif yang bersifat aerob obligat. *Acetobacter xylinum* memiliki ukuran sekitar 2 mikron. Biasanya bakteri tersebut merupakan salah satu bakteri yang terdapat pada *ecoenzym*. Adapun karakteristik dari bakteri *Acetobacter xylinum* yaitu bentuknya batang dengan

panjang 0,8 - 1,6 M dan lebar 0,5 M, bersifat aerob, tidak mempunyai *flagella*, tidak berpigmen, tidak membentuk spora dan bersifat kemotropik.

Bakteri *Acetobacter xylinum* merupakan jenis bakteri anaerob fakultatif yang biasa digunakan dalam bidang bioteknologi. *Acetobacter xylinum* merupakan jenis bakteri yang menguntungkan bagi manusia karena dapat menghasilkan produk yang bermanfaat, salah satunya adalah nata (Hesse, 2005).

### 3.) *Lactobacillus*

Bakteri *Lactobacillus* merupakan salah satu mikroba yang terdapat dalam *eco-enzyme*. *Eco-enzyme* adalah cairan hasil fermentasi limbah organik seperti ampas buah dan sayuran, gula, dan air.

Karakteristik pada bakteri *Lactobacillus* diantaranya yaitu Berbentuk batang, Susunannya berantai, Termasuk dalam kategori gram positif, Katalase negatif, Mayoritas spesiesnya (Susanto, 2022).

### 4) Jamur (fungi)

Jamur atau fungi adalah organisme eukariotik yang tergolong dalam kerajaan Fungi. Mereka memainkan peran penting dalam ekosistem, baik sebagai pengurai maupun sebagai simbiosis yang hidup berdampingan dengan organisme lain. Jamur memiliki peranan krusial dalam ekosistem, baik sebagai pengurai bahan organik maupun dalam simbiosis dengan tanaman dan hewan. Jamur memiliki struktur tubuh yang bervariasi, tetapi umumnya terdiri dari miselium, yaitu jaringan serabut tipis yang tumbuh di dalam atau di atas substrat. Beberapa jenis jamur memiliki struktur tubuh yang lebih kompleks seperti kap atau tudung. Jamur dapat bereproduksi secara seksual dan aseksual. Reproduksi seksual melibatkan penggabungan materi genetik dari dua individu yang berbeda, sedangkan reproduksi aseksual hanya melibatkan satu individu.

*Eco-enzyme* adalah campuran mikroba yang bekerja sinergis untuk mencerna bahan organik dalam limbah. Jamur dapat berperan sebagai komponen penting dalam *eco-enzyme* karena kemampuannya menguraikan bahan organik kompleks. Beberapa jenis jamur berkontribusi pada proses fermentasi dalam pembuatan *eco-enzyme*, seperti ragi (*Saccharomyces cerevisiae*), yang umum digunakan dalam fermentasi bahan organik. Jamur ini menghasilkan enzim yang memecah gula kompleks menjadi alkohol dan asam organik. Dalam *eco-enzyme*,

jamur dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan mendekomposisi bahan organik dan menghasilkan senyawa yang bermanfaat bagi tanaman. Proses ini dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman serta memperbaiki struktur tanah. Beberapa jamur dalam *eco-enzyme* juga memiliki sifat antagonis terhadap organisme patogen, menghasilkan senyawa antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan patogen di lingkungan dan membantu menjaga kesehatan tanaman. Namun, jenis jamur dalam *eco-enzyme* dan peran mereka dapat bervariasi tergantung pada komposisi dan proses pembuatannya. Mikroba yang umum terdapat dalam *eco-enzyme* mencakup bakteri asam laktat (BAL) serta khamir atau kapang (Vama & Cherekar, 2020). Khamir adalah mikroorganisme uniseluler dari kelompok fungi yang sering hidup sebagai parasit atau saprofit. Bakteri asam laktat biasanya ditemukan dalam bahan organik yang kaya karbohidrat dan terlibat dalam fermentasi berbagai buah seperti jeruk, pisang, nanas, dan apel. Proses fermentasi yang dilakukan oleh jamur dan beberapa jenis bakteri menghasilkan alkohol, sementara kebanyakan bakteri menghasilkan asam asetat. Fermentasi ini terjadi karena aktivitas enzim yang ada dalam bakteri atau jamur. Baik alkohol maupun asam asetat memiliki sifat 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).

Beberapa penelitian berhasil mengisolasi berbagai mikroorganisme dari *eco-enzyme* terdapat 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. Lalu selain itu jamur jamur yang ada pada *eco-enzym* adalah jamur yang dapat muncul pada *eco-enzyme* adalah jamur pitera, kapang, dan khamir (Gu et al., 2021).

1.) *Aspergillus sp.* adalah jamur yang termasuk dalam kelas *Ascomycetes*.

Jamur ini dapat ditemukan di berbagai iklim di seluruh dunia. Karakteristik pada jamur ini diantaranya yaitu Koloni berwarna kuning kehijauan dan menyebar, Berdinding kasar, *Vesikel* matang dengan *phialida* di seluruh permukaannya, Konidia ekinulat yang mencolok, Konidia bersifat gugur

dan bulat, berbentuk lonjong hingga elips, dan memiliki berbagai warna, Konidiofor tidak berwarna dan kasar, bagian atas agak bulat sampai kolumnar, Vesikel agak bulat, konidia kasar dengan bermacam warna (A Maulida 2014).

2.) *Fusarium sp*

*Fusarium sp* adalah jamur yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman, dan bukan komponen dari *eco-enzim*. *Eco enzim* mengandung mikroba, enzim, mineral, dan metabolit sekunder. Karakteristik *Fusarium* Jamur berseptata yang tidak berpigmen dan berfilamen koloni tumbuh cepat, berwarna pucat atau cerah, warna talus bervariasi dari keputihan hingga kuning, merah muda, merah atau ungu, Menghasilkan makrokonidia dan mikrokonidia dari phialida ramping, *Fusarium oxysporum* adalah jamur patogen yang menginfeksi akar dan menyebabkan penyakit layu pada beberapa spesies tanaman (B Asni 2023).

3.) *Penicillium sp*

*Penicillium sp* adalah salah satu jamur yang dapat ditemukan dalam *eco-enzim*. Karakteristik pada jamur ini diantaranya adalah Berwarna putih kecoklatan, Bertekstur permukaan kasar, Berbentuk bulat pada bagian, tepinya bergelombang, Pertumbuhannya lambat, Selnya berbentuk batang pipih dan cukup panjang, Memiliki 1 intisel dan ada yang 2 intisel (M Rijal 2021).

4.) *Pitera*

Jamur *pitera* pada *eco-enzyme* berwarna putih kecoklatan, bertekstur halus, dan bertepi bergelombang. Jamur ini biasanya muncul pada minggu kedua atau ketiga proses fermentasi. Kemunculan jamur *pitera* tidak selalu terjadi. Jamur *pitera* dan *Mama Enzyme* (ME) bukanlah patokan kualitas dan keberhasilan pembuatan *eco-enzyme*. Jamur *pitera* dapat digunakan sebagai masker untuk menghaluskan dan melembutkan kulit, karakteristik jamur *pitera* ini berwarna putih kecoklatan, bertekstur halus, bertepi bergelombang, ukurannya kecil, selnya oval dan mikroskopis (F Rosariawari 2022).

### 5.) Khamir

Jamur khamir yang terdapat pada *eco-enzyme* merupakan mikroorganisme uniseluler yang termasuk dalam golongan fungi. Jamur ini didapatkan dari proses fermentasi bahan organik. Karakteristik jamur khamir pada *eco-enzyme* diantaranya yaitu Khamir sering tumbuh pada media yang memiliki konsentrasi gula yang cukup tinggi. Khamir yang tidak melakukan perbanyakan sel kembali dinamakan kondisi stasioner. Kondisi stasioner akan berubah menjadi kematian yang dapat dipercepat jika masa fermentasi semakin panjang. Dan Pertumbuhan optimal khamir terjadi pada hari ke-21 (RA.Faikar 2024).

### 6.) Genus *Candida krusei*

*Candida krusei* dapat ditemukan pada *eco-enzyme* yang berasal dari limbah bunga layu. Jamur ini termasuk kedalam sejenis Ragi. Karakteristik pada jamur *Candida krusei* ini yaitu jamur *Candida*, Berbentuk ragi, tunas, oval, atau *pseudohifa*, Berwarna putih kekuningan, berbau ragi, koloni pada medium padat sedikit menonjol dari permukaan medium, permukaan koloni halus, licin, atau berlipat-lipat (P Dillaangraeni 2024).

## C. Limbah Bunga Layu

Sisa bunga layu yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari sering kali dibuang begitu saja di lingkungan tanpa pengolahan lebih lanjut. Semakin tinggi aktivitas harian, semakin besar pula jumlah sisa bunga layu yang terbentuk. Pengelolaan limbah dari aktivitas sehari-hari ini belum optimal, terutama karena rendahnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga lingkungan dan waktu pengolahan yang cukup lama. Bunga layu yang umumnya menjadi limbah organik memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *eco-enzyme*. Berbagai jenis bunga mengandung senyawa bioaktif yang dapat memberikan manfaat bagi pertumbuhan tanaman. Proses dekomposisi bunga layu oleh mikroorganisme menghasilkan berbagai senyawa yang berguna bagi tanah dan tanaman. Kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium dalam bunga layu dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi bagi tanaman. Pemanfaatan bunga layu sebagai bahan *eco-enzyme* juga membantu mengurangi timbulan sampah organik (Bunari et al., 2022.).

#### D. Tanaman Selada (*Lactuca sativa*)

Selada hijau (*Lactuca sativa*.) adalah sayuran daun dengan masa pertumbuhan singkat, hanya sekitar 30 hari, yang dapat tumbuh baik di dataran rendah maupun tinggi. Sayuran ini populer berkat berbagai manfaat kesehatannya (Jahro, 2018). Selada kaya akan serat, vitamin, antioksidan, kalium, zat besi, folat, karotenoid, vitamin C, dan vitamin E, yang menjadikannya mendukung kesehatan tubuh secara keseluruhan (Abdullah & Andres, 2021).



**Gambar 2.1 Selada (*Lactuca sativa*)**

Klasifikasi tanaman selada (*Lactuca sativa*) adalah sebagai berikut:

Kingdom: Plantae

Divisi: Magnoliophyta

Kelas: Magnoliopsida

Subkelas: Asteridae

Ordo: Asterales

Famili: Asteraceae

Genus: *Lactuca*

Spesies: *Lactuca sativa*

Selada tumbuh optimal pada tanah yang subur, kaya humus, dan bertekstur gembur, dengan pH tanah ideal antara 5 hingga 6,5. Ketersediaan nutrisi yang memadai merupakan faktor penting dalam meningkatkan hasil panen selada. Salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman selada adalah dengan menggunakan pupuk organik cair (POC). Suhu terbaik untuk pertumbuhan selada berkisar antara 15-25°C, dan waktu tanam yang ideal adalah di akhir musim hujan. Tanaman ini paling cocok ditanam pada ketinggian 500

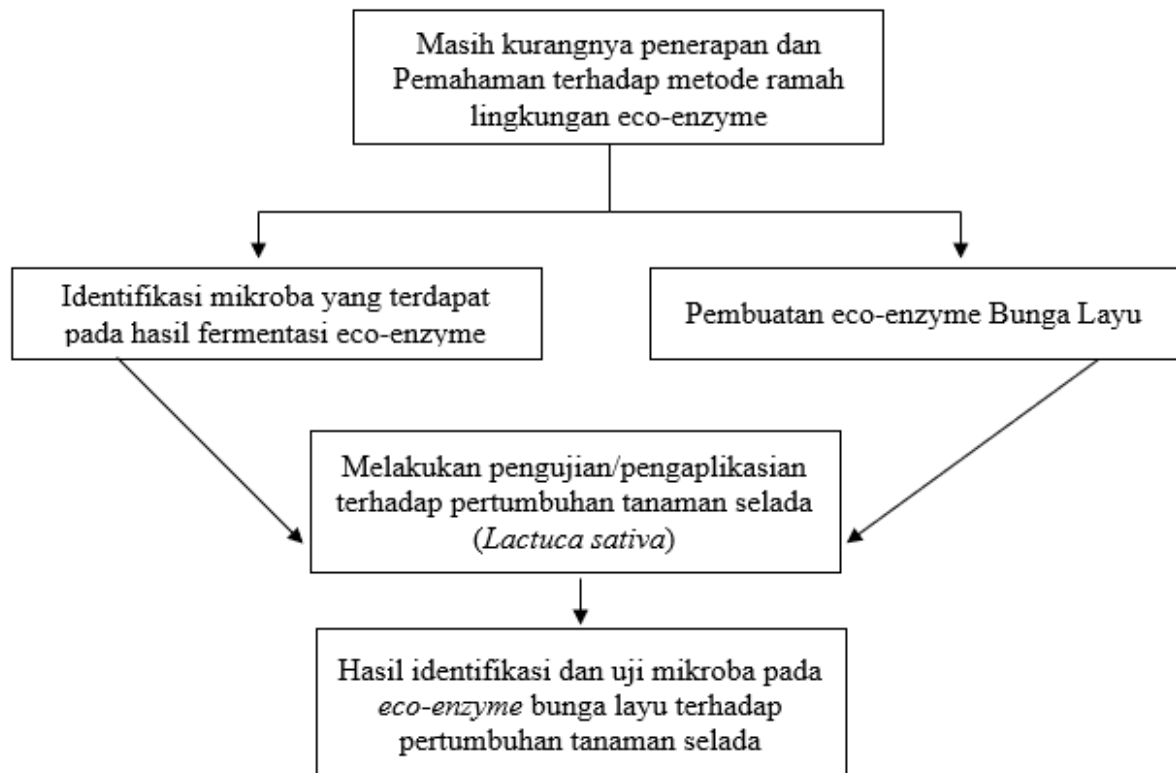
hingga 2.000 meter di atas permukaan laut. Untuk memastikan selada dapat tumbuh dengan baik di dataran rendah, penggunaan media tanam yang sesuai serta ketersediaan nutrisi yang memadai sangat penting (Leksono, 2021).

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

Menurut Ahmed et al. (2020), faktor iklim yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman meliputi suhu, kelembapan udara, cahaya, dan curah hujan. Berikut penjelasan bagaimana masing-masing faktor tersebut berperan dalam pertumbuhan jumlah daun, berat tanaman, dan tinggi tanaman. Suhu, sebagai faktor pertama, mempengaruhi perkembangan tanaman di mana setiap tanaman memiliki rentang suhu optimal untuk pertumbuhan yang baik. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat perkembangan tanaman. Suhu ideal merangsang pertumbuhan daun, memaksimalkan proses fotosintesis, dan mempercepat metabolisme tanaman sehingga meningkatkan produksi biomassa.

Kelembapan udara yang memadai juga penting karena mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman serta proses transpirasi. Kelembapan rendah dapat menyebabkan tanaman kehilangan air lebih cepat melalui transpirasi, yang menghambat pertumbuhan dan menurunkan bobot tanaman. Tingkat kelembapan yang cukup mendukung pertumbuhan daun dan mempercepat pertumbuhan tanaman. Cahaya berperan penting dalam proses fotosintesis, di mana tanaman memanfaatkan energi cahaya untuk menghasilkan nutrisi. Intensitas, durasi, dan spektrum cahaya yang diterima oleh tanaman berpengaruh pada pertumbuhan dan perkembangannya. Cahaya yang cukup merangsang pertumbuhan daun dan meningkatkan produksi biomassa (Ahmed et al., 2020).

## E. KERANGKA PEMIKIRAN



Gambar 2.2 Kerangka Pemikiran