

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN**

#### **A. Kajian Teori**

##### **1. Mikroba**

Mikroorganismen memiliki peran penting dalam berbagai aspek kehidupan dan dapat ditemukan di berbagai habitat. Mikroba dapat berasal dari lingkungan seperti air, tanah, udara, serta dari berbagai substrat seperti bahan pangan, tanaman, dan hewan (Fardiaz, 1992). Mikroorganismen ini mencakup bakteri, jamur, dan virus, di mana masing-masing memiliki morfologi serta struktur anatomi yang beragam (Waluyo, 2004).

Kualitas mikroba mengacu pada sifat dan karakteristik mikroorganismen yang dapat memengaruhi suatu lingkungan atau substansi tertentu. Mikroorganismen, termasuk bakteri, virus, dan fungi, memiliki peran penting dalam berbagai bidang, seperti pertanian, industri pangan, dan lingkungan. Faktor-faktor yang memengaruhi kualitas mikroba meliputi jenis, jumlah, serta aktivitas metaboliknya (Ismail et al., 2020).

Setiap jenis mikroba memiliki karakteristik yang unik dan dapat memberikan pengaruh berbeda terhadap lingkungan. Misalnya, bakteri berperan dalam siklus nutrisi tanah, sementara fungi berkontribusi dalam proses dekomposisi bahan organik (Agung, 2021).

Aktivitas metabolik mikroba berperan dalam berbagai proses kimia dalam suatu sistem. Misalnya, mikroorganismen yang berperan dalam dekomposisi dapat menguraikan senyawa kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana, sehingga memengaruhi kualitas tanah atau air (Ginting, 2017).

Kemampuan mikroorganismen untuk bereproduksi dapat memengaruhi jumlah keseluruhan mikroba dalam suatu lingkungan. Faktor-faktor seperti suhu, kelembaban, dan ketersediaan nutrisi berperan dalam menentukan pertumbuhan dan perkembangan populasi mikroba (Harjono, 2018).

## **2. Ekoenzim**

### **a. Pengertian Ekoenzim**

Ekoenzim adalah larutan organik kompleks yang dihasilkan melalui proses fermentasi limbah organik, gula, dan air. Cairan ekoenzim memiliki warna cokelat gelap dengan aroma asam atau segar yang kuat. Ekoenzim diperoleh dari fermentasi bahan tanaman dan tanah, serta memiliki beragam manfaat. Salah satunya adalah kemampuannya dalam menetralkan polutan di air, tanah, dan udara. Selain itu, ekoenzim berfungsi sebagai hormon alami bagi tumbuhan dan pohon, serta dapat digunakan sebagai herbisida dan pestisida alami (Mohanty, 2019).

Ekoenzim merupakan larutan organik kompleks yang terbentuk melalui proses fermentasi limbah organik, gula, dan air. Cairan ini memiliki warna cokelat gelap dengan aroma yang kuat, baik asam maupun segar. Ekoenzim dihasilkan dari fermentasi bahan tanaman dan tanah serta menawarkan berbagai manfaat. Salah satu fungsinya adalah membantu menetralkan polutan di lingkungan, termasuk air, tanah, dan udara. Selain itu, ekoenzim juga berperan sebagai hormon alami bagi tumbuhan dan pohon serta dapat dimanfaatkan sebagai herbisida dan pestisida alami (Mohanty, 2019).

Ekoenzim rimpang mengacu pada enzim yang dihasilkan oleh rimpang dari tanaman tertentu dan berperan dalam berbagai proses biokimia di dalam ekosistem. Rimpang, yang merupakan bagian tumbuhan yang tumbuh di bawah tanah dan berfungsi sebagai penyimpan nutrisi, dapat menghasilkan ekoenzim yang memengaruhi hubungan antara tanaman dan lingkungannya (Damaiyanti, 2023). Produksi ekoenzim oleh rimpang terjadi sebagai respons terhadap kondisi lingkungan tertentu. Proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti suhu, kelembaban, serta jenis mikroorganisme yang berinteraksi dengan rimpang (Putri, 2023).

### **b. Manfaat Ekoenzim**

Ekoenzim memiliki berbagai manfaat dalam berbagai bidang, termasuk pertanian, kesehatan, dan rumah tangga. Menurut Tim Ekoenzim Nusantara (2020), beberapa manfaat ekoenzim antara lain sebagai pembersih serbaguna yang dapat digunakan untuk membersihkan lantai, kaca, dan permukaan perabot berbahan

plastik. Dalam bidang pertanian, ekoenzim berperan dalam menyuburkan tanah dan tanaman, mengatasi hama, serta meningkatkan kualitas dan rasa buah serta sayuran yang dibudidayakan. Selain itu, ekoenzim juga dapat digunakan untuk mengusir berbagai jenis hama, seperti kecoa, semut, lalat, nyamuk, serta serangga atau hama lainnya. Manfaat lainnya adalah sebagai bahan disinfektan karena mengandung alkohol dan asam asetat. Kandungan asam asetat dalam ekoenzim juga berfungsi untuk menghancurkan organisme tertentu, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai insektisida dan pestisida alami (Nazim & Meera, 2017).

Dalam bidang pertanian, ekoenzim berperan dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan berfungsi sebagai pupuk alami karena mengandung enzim-enzim aktif seperti amilase, maltase, serta enzim pemecah protein. Enzim-enzim ini berperan dalam menguraikan pati yang tersimpan dalam endosperma menjadi glukosa, yang kemudian digunakan sebagai sumber energi bagi tanaman (Ginting et al., 2021). Selain itu, ekoenzim juga mengandung nitrogen dalam bentuk nitrat ( $\text{NO}_3$ ), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik cair. Nitrat merupakan unsur hara penting yang berkontribusi terhadap peningkatan ukuran daun serta kadar protein dalam tanaman (Damayanti et al., 2018). Nitrogen memiliki peran krusial dalam pembentukan klorofil, di mana peningkatan kadar klorofil dapat mempercepat laju fotosintesis, yang pada akhirnya mempercepat pertumbuhan tanaman. Penelitian Damayanti (2018) juga menyebutkan bahwa keberadaan  $\text{NO}_3$ -dapat memengaruhi tinggi tanaman karena berperan dalam mendukung pertumbuhan vegetatif. Pemberian nitrogen yang sesuai dapat merangsang pertumbuhan vegetatif, termasuk perkembangan cabang, batang, dan daun. Meskipun ekoenzim terbuat dari bahan organik dan tidak membahayakan tanaman, penggunaannya tetap perlu disesuaikan dengan dosis yang tepat agar hasil yang diperoleh optimal serta tidak menimbulkan dampak negatif pada pertumbuhan tanaman.

Penelitian yang dilakukan oleh Salsabila dan Winarsih (2023) menguji kandungan dalam ekoenzim dan menemukan bahwa ekoenzim mengandung unsur hara penting, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Setiap unsur hara ini memiliki peran masing-masing dalam pertumbuhan tanaman.

Nitrogen (N) berperan dalam pembentukan klorofil dan protein, yang berkontribusi terhadap pertumbuhan sel tanaman, termasuk meningkatkan ukuran daun dan kepadatannya serta mempercepat pertumbuhan. Kekurangan nitrogen dapat menyebabkan gejala seperti kerontokan daun. Semakin banyak daun yang dimiliki tanaman, semakin banyak stomata yang berperan dalam menyerap sinar matahari untuk fotosintesis, yang pada akhirnya memengaruhi berat tanaman (Fitriansah, 2018).

Fosfor (P) berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, termasuk tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah polong, serta pembentukan bintil akar (Pasaribu & Suprpto, 1993). Sementara itu, kalium (K) berfungsi sebagai aktivator dalam proses fotosintesis, membantu tanaman dalam menyerap dan mengolah energi matahari untuk pertumbuhan yang optimal (Budiana & Kunto, 2016).

### **c. Proses Pembuatan Ekoenzim**

Proses fermentasi dalam pembuatan ekoenzim berlangsung selama tiga bulan. Tahapan pembuatannya adalah sebagai berikut:

1. Cuci bersih limbah rimpang, lalu potong menjadi bagian kecil. Gunakan sebanyak 3 kg limbah rimpang.
2. Siapkan 10 liter air dan 1 kg gula. Untuk mempermudah proses pencampuran, gula sebaiknya dipotong kecil terlebih dahulu.
3. Campurkan limbah rimpang yang telah dipotong, air, dan gula ke dalam wadah fermentasi.
4. Tutup wadah hingga kedap udara, kemudian simpan di tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung selama tiga bulan.
5. Pada minggu pertama, buka tutup wadah untuk melepaskan gas yang terperangkap guna mencegah kemungkinan wadah meledak.
6. Setelah tiga bulan, ekoenzim siap untuk dipanen dan digunakan.

Untuk pembuatan ekoenzim, disarankan menggunakan gula merah sebagai sumber gula, sedangkan limbah rimpang yang digunakan sebaiknya tidak terlalu kering dan sudah mengalami pembusukan (Rohmah, 2020). Pemilihan bahan ini sangat penting karena dapat memengaruhi kualitas akhir dari ekoenzim yang dihasilkan (Samriti, 2019). Penelitian menunjukkan bahwa ekoenzim yang dibuat

dari bahan dengan kulit kering mengalami fermentasi lebih cepat, yang ditandai dengan terbentuknya banyak gas pada minggu pertama serta munculnya aroma asam dalam waktu singkat (Rohmah, 2020).

Selama bulan pertama fermentasi, ekoenzim menghasilkan alkohol, sehingga aromanya menyerupai alkohol. Pada bulan kedua, proses fermentasi berlanjut dengan menghasilkan asam cuka (Rohmah, 2020). Kemudian, pada bulan ketiga, terbentuk enzim yang dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi bagi tanaman maupun untuk keperluan lainnya.

Ekoenzim limbah rimpang merupakan cairan hasil fermentasi limbah sayuran yang melibatkan aktivitas mikroorganisme alami yang terdapat dalam limbah tersebut. Dalam pemilihan limbah rimpang sebagai bahan baku ekoenzim, disarankan untuk menggunakan limbah yang masih segar dan tidak membusuk. Hal ini bertujuan untuk mencegah munculnya larva lalat, yang dapat menjadi indikator kegagalan dalam proses pembuatan ekoenzim.

#### **d. Kriteria Ekoenzim yang Baik**

Keberhasilan pembuatan ekoenzim dapat diidentifikasi melalui beberapa indikator, seperti nilai pH, warna, dan aroma yang dihasilkan. Ekoenzim yang berkualitas baik memiliki tingkat keasaman (pH) di bawah 4.0 (Putra & Suyasa, 2022). Selain itu, ekoenzim yang baik memiliki aroma fermentasi yang khas, dengan bau manis yang kuat (Yanti & Awalina, 2022). Aroma asam yang dihasilkan berasal dari asam asetat dalam cairan ekoenzim, yang terbentuk melalui metabolisme mikroorganisme alami yang menghasilkan asam organik dan alkohol (Salsabila & Winarsih, 2023). Dari segi warna, ekoenzim yang baik tampak segar, sesuai dengan bahan yang digunakan, serta tidak memiliki bau busuk.

Penelitian yang dilakukan oleh Suprayogi et al. (2022) mengenai analisis produk ekoenzim dari kulit buah nanas dan jeruk Berastagi menunjukkan bahwa pH ekoenzim yang dihasilkan berkisar antara 3,4 hingga 3,7. Variasi warna ekoenzim bergantung pada durasi fermentasi. Pada fermentasi selama tiga bulan, ekoenzim memiliki warna coklat keruh dengan aroma khas fermentasi serta sedikit aroma dari kulit buah yang digunakan sebagai bahan baku.

### 3. Tanaman Selada Hijau (*Lactuca sativa* L.)

#### a. Klasifikasi Tanaman

Selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan salah satu jenis sayuran yang termasuk dalam famili Compositae (Paeru et al., 2015). Tanaman ini berasal dari Asia Barat dan kemudian menyebar ke berbagai wilayah Asia serta negara-negara beriklim sedang. Beberapa negara yang aktif membudidayakan selada antara lain Jepang, Thailand, Taiwan, Amerika Serikat, dan Indonesia. Selada umumnya dikonsumsi dalam keadaan mentah karena kandungan mineralnya yang cukup tinggi. Di Indonesia, permintaan terhadap sayuran, termasuk selada, terus meningkat seiring dengan kesadaran masyarakat akan pola makan sehat. Namun, meskipun memiliki kandungan gizi yang tinggi, budidaya selada di Indonesia masih terbatas (Winardjo & Rahmayanti, 2021).

Selada adalah sayuran yang banyak digemari karena warna, tekstur, dan aromanya yang memberikan kesegaran pada tampilan makanan. Tanaman ini termasuk jenis tanaman tahunan yang dapat dibudidayakan di berbagai kondisi lingkungan, baik di daerah lembap, beriklim dingin, maupun di dataran rendah dan tinggi. Adapun klasifikasi tanaman selada adalah sebagai berikut (Sutedja, 2014):

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Asterales
Famili	: Asteraceae
Genus	: <i>Lactuca</i>
Spesies	: <i>Lactuca sativa</i> L.



**Gambar 2.1** Selada hijau (sumber: dokumentasi pribadi)

Daun selada memiliki bentuk, ukuran dan warna yang beragam tergantung varietasnya. Tinggi tanaman selada daun berkisar antara 30-40 cm dan tinggi tanaman selada berkisar antara 20-30 cm. Selada memiliki sistem perakaran tunggang dan serabut. Akar serabut menempel pada batang dan tumbuh menyebar ke semua arah pada kedalaman 20-50 cm atau lebih (Sunarjono & Nurrohmah, 2018).

## **b. Morfologi Tanaman**

### **1) Daun**

Bentuk, ukuran, dan warna daun selada bervariasi tergantung pada jenis varietasnya. Tanaman selada daun umumnya memiliki tinggi sekitar 30-40 cm, sedangkan tinggi tanaman selada berkisar antara 20-30 cm. Selada memiliki sistem perakaran yang terdiri dari akar tunggang dan akar serabut. Akar serabut melekat pada batang dan tumbuh menyebar ke berbagai arah dengan kedalaman mencapai 20-50 cm atau lebih (Sunarjono & Nurrohmah, 2018).

### **2) Batang**

Batang selada tergolong sebagai batang dengan sistem pembuluh. Batangnya bersifat lunak, dan pada jenis selada yang membentuk krop, batangnya cenderung pendek serta berada di dalam tanah. Sementara itu, selada yang tidak membentuk krop memiliki batang yang lebih panjang, dengan diameter sekitar 2-3 cm, terutama pada jenis selada daun (Sutedja, 2014).

### **3) Akar**

Tanaman selada memiliki sistem perakaran yang terdiri dari akar tunggang dan akar serabut. Akar tunggangnya tumbuh lurus ke dalam tanah, sementara akar serabut berkembang menyebar pada kedalaman sekitar 20-50 cm dan melekat pada batang selada (Sutedja, 2014).

### **4) Bunga dan Buah**

Di daerah beriklim sedang, tanaman selada cenderung lebih mudah berbunga. Bunganya berwarna kuning, tersusun rapat, dan memiliki tangkai yang dapat tumbuh hingga mencapai ketinggian 90 cm (Rukmana, 1994). Buah selada berbentuk polong yang mengandung biji berukuran sangat kecil. Biji tersebut

berbentuk lonjong pipih, memiliki tekstur agak keras, berbulu, dan berwarna coklat (Sutedja, 2014).

### c. Manfaat dan Kandungan Gizi

Selada memiliki beragam manfaat, salah satunya adalah kandungan antioksidan yang berperan dalam mengikat radikal bebas. Selain itu, selada juga berfungsi sebagai zat pembangun tubuh karena kaya akan vitamin dan nutrisi yang bermanfaat bagi kesehatan (Hartono, 2007).

Menurut (Zulkarnain, 2018) selada mengandung berbagai komposisi senyawa dengan berikut:

*Tabel 2.1 Kandungan Gizi Selada*

Senyawa	Kadar Nutrisi
Energi	15,00 kkal
Protein	1,36 g
Lemak	0,15 g
Karbohidrat	2,79 g
Serat	1,30 g
Niasin	0,375 mg
Asam pantotenat	0,134 mg
Piridoksin	0,090 mg
Riboflavin	0,080 mg
Tiamin	0,070 mg
Kalsium	36 mg
Fosfor	29 mg
Besi	0.86 mg
Natrium	28 mg
Kalium	194 mg
Vitamin A	7.405,00 IU
Vitamin C	9,20 mg
Vitamin E	0,29 mg
Vitamin K	126,30 ug

Sumber: USDDA National Nutrient Data Base (Zulkarnain, 2018)

#### d. Syarat Tumbuh

Selada dapat tumbuh dengan baik di daerah dataran tinggi maupun dataran rendah. Namun, hasil budidaya selada lebih optimal jika ditanam di dataran tinggi dengan iklim yang lembap (Mas'ud, 2009). Hanya jenis selada daun dan selada batang yang masih mampu bertahan di dataran rendah, meskipun dalam kondisi udara yang panas dan terbuka (Haryanto et al., 2002). Umumnya, selada dibudidayakan pada daerah dengan ketinggian antara 5 hingga 2.200 meter di atas permukaan laut (mdpl). Kisaran suhu yang ideal untuk pertumbuhan selada adalah antara 15-25°C (Haryanto et al., 2002). Jika suhu mencapai 21-27°C, tanaman selada cenderung tidak membentuk krop, melainkan lebih cepat berbunga.

Selada membutuhkan kelembapan dan suhu udara yang sesuai, terutama pada tahap pembentukan krop. Kelembapan udara optimal untuk budidaya selada dalam sistem hidroponik berada pada kisaran 70-75% (Budiana, 2016). Jika kelembapan terlalu rendah disertai suhu yang tinggi, tanaman dapat mengalami kelainan yang disebut hangus pucuk, yaitu kondisi di mana ujung-ujung daun bagian dalam krop mengalami nekrosis. Kelembapan yang terlalu rendah juga dapat menyebabkan tanaman layu permanen hingga akhirnya mati (Budiana, 2016). Selain itu, suhu lingkungan yang tinggi dengan kelembapan rendah serta paparan sinar matahari yang intens dapat membuat rasa selada menjadi pahit dan memicu bolting, yaitu pembentukan tunas bunga sebelum waktunya (Zulkarnain, 2018). Jika suhu udara berada di luar kisaran ideal, tanaman dapat mengalami stres, yang menghambat pertumbuhan akibat melambatnya atau bahkan terhentinya proses kimiawi dalam tanaman (Budiana, 2016). Adapun kisaran pH yang ideal untuk pertumbuhan selada adalah antara 6,0 hingga 7,0 (Wati, 2020).

## B. Hasil Penelitian Terdahulu

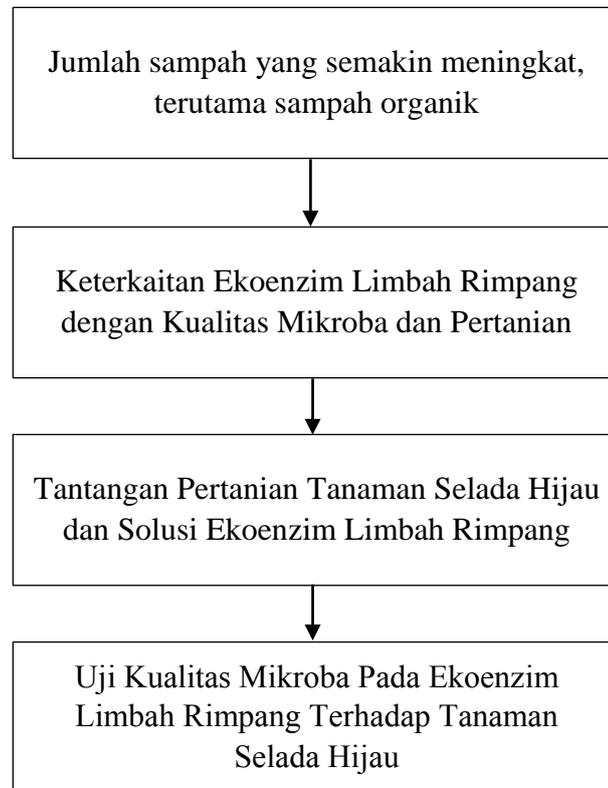
*Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu*

No.	Nama dan Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Priyantina Rukmini & Dewi Astuti Herawati (2023)	<i>Eco-Enzyme</i> Dari Fermentasi Sampah Organik (Sampah	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH dari ketujuh bioreaktor menunjukkan angka 4. Warna cairan eco-

No.	Nama dan Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		Buah Dan Rimpang)	enzyme dari ketujuh buah reaktor menunjukkan ada perubahan kenampakan warna cairan menjadi lebih coklat daripada awal fermentasi dan keruh. Cairan eco-enzyme dari rimpang berwarna coklat muda terang. Perubahan bau dari ketujuh cairan eco-enzyme dalam bioreaktor juga menunjukkan perubahan, yaitu semakin asam pada bulan kedua dan khas bahan organik asalnya. Selama fermentasi eco-enzyme disertai dengan tumbuhnya mikroba atau jamur.
2	Anggia Wulandari (2021)	Uji Potensi <i>Eco-Enzyme</i> Terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada Hijau ( <i>Lactuca sativa</i> L.) dengan Menggunakan Teknik Hidroponik.	Hasil penelitian ini memperlihatkan dengan menggunakan eco enzyme, berat tanaman, jumlah daun, dan lebar daun pada tanaman selada hijau. Selada hijau yang diberi perlakuan eco enzyme dan non eco enzyme Terdapat perbedaan hasil pertumbuhan selada hijau dengan menggunakan teknologi hidroponik, perbedaan tersebut dapat dilihat pada pertumbuhan selada hijau berdasarkan parameter yang ditentukan yaitu jumlah daun, lebar daun dan berat selada hijau.
3	Ronny Nangoi, Rena Papatungan, Tommy B. Ogie, Rafli I. Kawulusan, Rinny	<i>Utilization Of Household Organic Waste As An EcoEnzyme For The Growth And</i>	Pemberian konsentrasi eco enzyme yang berbeda terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada berpengaruh nyata terhadap

No.	Nama dan Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	Mamarimbing, Frangky J. Paat. (2022)	<i>Product Of Cultivate Culture (Lactuca sativa L.)</i>	tinggi tanaman, jumlah daun dan berat segar, dengan konsentrasi terbaik adalah 4,5% (45 ml). Eco Enzyme / 1 liter air
4	Ampia Enjelina Manurung (2022)	Pengaruh Konsentrasi <i>Eco Enzyme</i> dan Dosis Pupuk Kandang Ayam terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Selada ( <i>Lactuca Sativa L.</i> ).	Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi EE tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah daun pada umur 14, 21, dan 28 HSPT, tetapi memiliki dampak yang signifikan pada jumlah daun pada umur 35 HSPT, volume akar, bobot basah panen, bobot basah jual, dan produksi per hektar tanaman selada ( <i>Lactuca sativa L.</i> ).
5	Ririn Apriliyani (2023)	Efektivitas <i>Eco-Enzyme</i> Limbah Sayuran Pada Pertumbuhan Tanaman Selada Hijau ( <i>Lactuca Sativa L.</i> ) Secara Hidroponik	Pemberian eco-enzyme pada dosis 15 ml/L air meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan rata-rata 17,75 helai daun, tinggi tanaman 17,25 cm, dan berat total 38,75 gram. Meskipun efektif, hasil belum optimal.

### C. Kerangka Pemikiran



*Gambar 2.2 Kerangka Pemikiran*

### D. Asumsi dan Hipotesis Penelitian

#### 1. Asumsi Penelitian

Ekoenzim yang diperoleh melalui proses fermentasi limbah rimpang memiliki efek positif terhadap pertumbuhan tanaman selada hijau (Wulandari, 2021; Nangoi et al., 2022; Manurung, 2022; Apriliyani, 2023).

#### 2. Hipotesis Penelitian

$H_0$  : Tidak terdapat pengaruh hasil ekoenzim limbah rimpang terhadap pertumbuhan tanaman selada hijau.

$H_a$  : Terdapat pengaruh hasil ekoenzim limbah rimpang terhadap pertumbuhan tanaman selada hijau.