

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Organik

Limbah merupakan suatu zat atau bahan buangan yang dihasilkan dari proses kegiatan manusia. Limbah dapat berupa tumpukan barang bekas, sisa kotoran hewan, tanaman, atau sayuran (Wijaya & Syam, 2021). Berdasarkan data Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2024 menyebutkan timbunan sampah nasional mencapai angka 33,4 ton/tahun. Dari total timbunan sampah tersebut sebanyak 60,02% ton sampah dapat terkelola, sedangkan 39,98% ton sampah belum terkelola. Berdasarkan data, timbunan sampah tidak hanya berasal dari limbah anorganik yang sulit untuk diuraikan atau diolah kembali. Melainkan timbunan limbah organik turut menyumbang tingginya angka timbunan sampah. Timbunan sampah tersebut akan mengganggu keseimbangan lingkungan serta memiliki dampak negatif bagi kesehatan masyarakat (Wijaya & Syam, 2021).

Limbah organik merupakan limbah yang berasal dari aktivitas makhluk hidup, baik manusia, hewan, maupun tumbuhan. Limbah organik dibagi menjadi dua jenis yaitu, limbah organik kering dan limbah organik basah. Limbah organik kering merupakan jenis limbah organik yang memiliki kandungan air rendah seperti, daun kering, ranting atau kayu pohon kering. Limbah organik basah merupakan jenis limbah organik yang memiliki kandungan air cukup tinggi seperti, sisa makanan, sayuran, kotoran hewan, dan buah busuk (Nurdjannah, 2024). Upaya dalam mengatasi timbunan limbah organik dengan cara memanfaatkan limbah tersebut dengan mengolah limbah menjadi barang atau bahan yang memiliki nilai guna, salah satunya sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk (Fatihuddin & Listiana, 2022). Adapun beberapa jenis limbah organik yang dapat digunakan sebagai bahan dalam pembuatan pupuk organik di antaranya:

1. Limbah sayuran

Sayuran menjadi salah satu bahan pangan yang sangat dibutuhkan dan dikonsumsi oleh masyarakat. Sayuran merupakan sumber zat gizi yang kaya

akan vitamin, mineral, serat dan fitokimia (Siregar M. H., 2023). Banyaknya kandungan nutrisi dan senyawa lain pada sayuran yang bermanfaat bagi kesehatan tubuh mampu meningkatkan nilai konsumsi masyarakat (Sudirman *et al.*, 2022). Tingkat konsumsi sayuran masyarakat di Indonesia cukup tinggi yaitu 94,8% dengan rata-rata konsumsi sayuran sebesar 70 gram/hari. Semakin banyaknya tingkat konsumsi masyarakat, maka semakin banyak pula sampah maupun limbah yang dihasilkan (Fatihuddin & Listiana, 2022).

Limbah sayuran merupakan bahan yang berasal dari adanya seleksi kualitas sayuran pascapanen untuk memperbaiki tampilan sayuran yang akan dijual di pasaran. Limbah ini menjadi salah satu faktor penyumbang timbunan limbah organik (Fatihuddin & Listiana, 2022). Timbunan limbah sayuran yang dihasilkan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, seperti menimbulkan bau tidak sedap yang mengganggu kenyamanan masyarakat (Hanifa *et al.*, 2022). Secara fisik limbah sayuran dapat dengan mudah terurai dan mudah membusuk. Limbah tersebut mudah membusuk karena dalam limbah tersebut memiliki unsur hidrokarbon yang mudah diuraikan. Selain itu, limbah sayuran memiliki potensi sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik melalui proses aerob maupun anaerob dengan bantuan mikroorganisme pengurai yang ada (Wijaya & Syam, 2021).

2. Limbah tahu

Tahu merupakan makanan yang berasal dari olahan kacang kedelai. Tahu menjadi salah satu makanan yang mengandung protein nabati dengan memiliki struktur komposisi asam amino yang tinggi (Wahyudi *et al.*, 2022). Pengolahan tahu dilakukan melalui proses fermentasi secara konvensional dengan menambahkan asam cuka sebagai agensia koagulan. Pengolahan tahu dengan melalui proses fermentasi akan menghasilkan buangan atau sisa dapat berupa limbah cair maupun limbah padat. Limbah yang dihasilkan seperti ampas tahu yang merupakan kotoran hasil pembersihan kedelai, serta hasil pencucian tahu yang berupa limbah cair (Pagoray *et al.*, 2021).

Limbah tahu yang dihasilkan memiliki potensi mencemari lingkungan dengan menimbulkan bau tidak sedap, serta dapat mencemari perairan

(Handayani & Niam, 2018). Limbah ini mengandung bahan C-organik, yang dapat mempengaruhi kadar BOD dan COD. Selain itu, limbah tahu mengandung bahan organik serta gas yang memiliki potensi mencemari lingkungan bila melebihi standar baku mutu (Pagoray *et al.*, 2021). Pemanfaatan limbah tahu untuk mengurangi pencemaran yang ditimbulkan limbah ini dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik. Dengan kandungan bahan organik yang ada limbah ini dapat diolah sebagai pupuk untuk membantu menyuplai unsur hara tanaman, serta kandungan senyawa nitrogen yang akan diserap akar tanaman (Amalia *et al.*, 2022).

3. Limbah peternakan

Limbah peternakan merupakan limbah yang dihasilkan dari sisa kotoran hewan ternak dalam suatu usaha ternak, seperti pemeliharaan ternak, rumah potong hewan, dan sebagainya. Limbah yang dihasilkan dapat berbentuk padat maupun cair, seperti feses ternak, urine, serta sisa pakan ternak. Limbah ternak ini bila tidak terolah dengan baik akan menimbulkan pencemaran. Pencemaran yang ditimbulkan akibat gas metana yang menyebabkan adanya bau tidak sedap dan mengganggu kenyamanan lingkungan sekitar (Wijaya & Syam, 2021). Pencemaran dapat diminimalisir dengan pembuatan pupuk organik dari limbah peternakan seperti feses maupun urin hewan ternak. Pemanfaatan limbah ini dapat diolah menjadi pupuk kandang maupun sebagai campuran pembuatan pupuk organik lainnya. Pupuk kandang yang berasal dari kotoran maupun urine hewan mengandung unsur hara seperti nitrogen, fosfor, magnesium, kalium, dan natrium. Kandungan unsur hara ini bermanfaat bagi tanaman untuk membantu mengoptimalkan laju pertumbuhan tanaman dan memperbaiki struktur tanah (Susetya, 2021).

4. Limbah air cucian beras

Air cucian beras merupakan limbah yang berasal dari lingkungan rumah tangga maupun industri. Air cucian beras termasuk dalam limbah organik yang masih sering terbuang percuma oleh masyarakat. (Waridah *et al.*, 2014) limbah air cucian beras dihasilkan dari proses pencucian beras sebelum diolah menjadi nasi. Limbah air cucian beras memiliki beberapa kandungan nutrisi yang

bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman dan memperbaiki unsur hara tanah (Wijayanti *et al.*, 2019). Nutrisi yang terkandung diantaranya, nitrogen, fosfor, karbohidrat, kalium, magnesium, belerang, zat besi dan vitamin B1 (Hairudin *et al.*, 2018). Banyaknya sumber nutrisi yang terkandung didalamnya, air cucian beras dapat dijadikan sebagai salah satu bahan pembuatan pupuk organik.

Pembuatan pupuk organik dengan menggunakan limbah air cucian beras dilakukan melalui proses fermentasi, untuk memecah senyawa dalam air cucian beras menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga mudah diserap oleh tanaman (Wijayanti *et al.*, 2019). Pada proses fermentasi air cucian beras mengandung mikroorganisme yang berperan dalam membantu proses pembusukan. Mikroorganisme yang berperan dalam pembuatan pupuk organik membutuhkan karbohidrat sebagai sumber makanan dalam berkembangbiak dan bertahan hidup dalam proses fermentasi (Yahya *et al.*, 2024).

2.2 Pupuk Organik Cair

Pupuk merupakan suatu bahan yang ditambahkan pada tanah tanaman untuk melengkapi unsur hara dalam tanah. Menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 06/Permentan/SR.130/2/2011 pupuk merupakan bahan kimia maupun organik yang berperan dalam penyedia unsur hara untuk keperluan tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung. Pupuk sebagai bahan organik maupun kimia yang ditambahkan kedalam tanah guna memberikan unsur esensial tertentu untuk meningkatkan kesuburan tanah dan untuk membantu pertumbuhan tanaman secara normal (Kusumawati, 2021).

Material maupun bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan pupuk dapat berupa bahan organik maupun non-organik (mineral). Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan pupuk memiliki kandungan yang membantu pertumbuhan dan perkembangan tanaman, serta memiliki fungsi sebagai salah satu sumber zat unsur hara buatan yang dibutuhkan untuk mengatasi kekurangan nutrisi (Susetya, 2021). Kusumawati (2021) menjelaskan bahwa klasifikasi pupuk dapat dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya:

1. Berdasarkan bentuk fisiknya pupuk dibagi menjadi dua jenis yaitu pupuk padat dan pupuk cair. Pupuk padat merupakan pupuk dengan ciri fisik bentuk padat.

Pupuk padat ini memiliki berbagai bentuk seperti butiran, onggokan ataupun kristal. Pupuk dengan jenis ini biasanya diaplikasikan pada media tanam atau tanah. Pupuk cair merupakan pupuk dengan ciri fisik berbentuk cairan. Pupuk cair biasanya diaplikasikan dengan cara disemprotkan pada tanaman atau disiramkan pada tanah. Penggunaan pupuk cair biasanya dengan cara mengencerkannya terlebih dahulu dengan air.

2. Berdasarkan sumber pembuatannya pupuk dibagi menjadi dua jenis yaitu pupuk anorganik dan pupuk organik. Pupuk anorganik dapat disebut juga pupuk buatan atau kimia merupakan pupuk yang diperoleh melalui proses pengolahan yang dilakukan oleh manusia dari bahan mineral dan yang mengandung unsur hara tertentu. Pupuk ini digunakan untuk mengatasi kekurangan mineral dari alam yang dibutuhkan tanaman. Namun, pupuk ini memiliki pengaruh negatif bagi tanah yang menyebabkan sifat tanah asam. Pupuk organik merupakan pupuk yang berasal dari bahan yang tersedia dari alam berasal dari sisa-sisa material makhluk hidup, seperti pelapukan sisa manusia, tanaman, atau hewan. Pupuk ini dapat berbentuk padat atau cair. Sumber bahan pembuatan pupuk organik berasal dari limbah ternak, pertanian, industri, rumah tangga, maupun hasil sisa panen. Berdasarkan sumber bahan pembuatannya pupuk organik banyak mengandung senyawa organik yang dibutuhkan oleh tanaman untuk memenuhi nutrisinya (Susetya, 2021). Berdasarkan bahan baku pembuatannya pupuk organik memiliki beberapa jenis, diantaranya pupuk kompos, pupuk kandang, pupuk hijau, dan pupuk organik cair (Kusumawati, 2021).

Pupuk organik cair merupakan salah satu dari jenis pupuk organik. Pupuk organik cair merupakan suatu larutan yang berasal dari hasil pengolahan bahan-bahan organik yang berasal dari limbah maupun sisa sayuran, kotoran hewan, limbah rumah tangga yang terkandung unsur haranya lebih dari satu macam unsur (Haryanta *et al.*, 2021). Pupuk organik cair mengandung nitrogen dan unsur mineral lainnya yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman serta dapat memperbaiki kesuburan tanah. Pengolahan pupuk ini yang berasal dari bahan organik meminimalisir adanya kandungan bahan kimia berbahaya yang mudah terserap oleh tanaman yang mudah membahayakan kesehatan sehingga aman dikonsumsi oleh manusia (Kurniawan *et*

al., 2022). Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 pengolahan pupuk organik cair harus sesuai dengan syarat baku mutu yang telah ditetapkan untuk mengetahui kandungan unsur hara dalam pupuk organik cair pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Syarat Baku Mutu Pupuk Organik Cair

No.	Parameter	Satuan	Standar mutu
1.	C-organik	%(w/v)	Minimum 10
2.	Hara makro: N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	%(w/v)	2-6
3.	N-organik	%(w/v)	Minimum 0,5
4.	Hara mikro		
	Fe total	ppm	90-900
	Mn total	ppm	25-500
	Cu total	ppm	25-500
	Zn total	ppm	25-500
	B total	ppm	12-250
	Mo total	ppm	2-10
5.	pH	-	4-9
6.	<i>E.coli</i> <i>Salmonella sp</i>	CFU/mL atau MPN/mL	<1x10 ²
7.	Logam berat		
	As	ppm	Maksimum 5,0
	Hg	ppm	Maksimum 0,2
	Pb	ppm	Maksimum 5,0
	Cd	ppm	Maksimum 1,0
	Cr	ppm	Maksimum 40
	Ni	ppm	Maksimum 10
8.	Unsur/senyawa lain		
	Na	ppm	Maksimum 2.000
	Cl	ppm	

Sumber: Kementerian Pertanian Republik No., 2019

Berdasarkan bahan dasar pengolahannya, pupuk organik cair dibagi menjadi beberapa jenis diantaranya:

1. Pupuk Organik NASA (Natural Nusantara)

Pupuk NASA ini merupakan salah satu jenis pupuk organik yang terbuat dari ekstraksi bahan organik limbah ternak dan unggas, limbah tanaman, dan beberapa jenis tanaman tertentu (Lisdayani *et al.*, 2019). Pupuk ini digunakan untuk segala macam jenis tanaman, serta dapat digunakan untuk unggas/ternak,

dan perikanan. Pupuk NASA mengandung unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Fungsi utama pupuk ini sebagai pupuk organik cair yang memberikan unsur hara yang diperlukan tanaman untuk membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman (Susetya, 2021).

2. Pupuk Hijau

Pupuk hijau merupakan pupuk yang berasal dari bahan baku tanaman maupun sisa panen. Tanaman yang digunakan biasanya seperti tanaman kacang-kacangan, tanaman paku air, serta jerami sisa tanaman padi (Kusumawati, 2021). Bahan baku pupuk ini biasanya diaplikasikan langsung dengan cara membenamkan bahan baku waktu masih hijau dalam tanah, maupun dapat diaplikasikan dengan mencampurkan dengan bahan lainnya melalui proses fermentasi. Pengaplikasian pupuk hijau ini memiliki tujuan untuk menambah bahan organik dan unsur hara lain, terutama nitrogen serta meningkatkan produktivitas tanah dan ketahanan tanah terhadap erosi (Nugroho, 2017).

3. Pupuk Kandang Cair

Pupuk kandang cair merupakan pupuk yang berasal dari kotoran hewan yang bercampur dengan urine hewan maupun kotoran hewan yang dilarutkan dalam air dengan perbandingan tertentu. Pupuk kandang ini mengandung unsur hara mikro dan makro. Unsur hara yang terkandung seperti nitrogen, fosfor, kalium, magnesium, dan natrium. Kandungan nitrogen pada urine hewan ternak tiga kali lebih besar dibandingkan nitrogen pada kotoran padat (Nugroho, 2017). Kandungan unsur hara pada pupuk kandang dipengaruhi oleh makanan, jenis dan umur, alas kandang, dan fungsi hewan (Kusumawati, 2021).

4. *Effective Microorganism* 4 (EM4)

Pupuk EM merupakan pupuk organik yang dibuat melalui proses fermentasi menggunakan bakteri (mikroorganisme). Mikroorganisme yang terkandung dalam pupuk ini sebagian besar merupakan *Lactobacillus* sp. yang merupakan bakteri penghasil asam laktat serta sedikit mengandung bakteri fotosintetik *Streptomyces* sp. dan ragi. Pupuk EM ini diaplikasikan sebagai inokulan populasi dan keragaman mikroorganisme dalam tanah, serta dapat meningkatkan kualitas kesehatan pertumbuhan pada tanaman secara berkelanjutan. Selain

dapat diaplikasikan langsung, pupuk ini dapat digunakan sebagai campuran untuk mengolah sampah organik menjadi pupuk organik (Nugroho, 2017).

2.3 Fermentasi Sitem *Batch*

Fermentasi (Bahasa Latin “*fervere*”) adalah sebuah proses produksi energi yang terjadi dalam sel dengan keadaan anaerobik (tanpa oksigen) dan ada pula yang aerob. Fermentasi merupakan proses yang terjadi secara kimiawi pada suatu substrat organik dengan bantuan aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme (Kristiandi *et al.*, 2021). Pada awalnya istilah fermentasi digunakan untuk menunjukkan proses pengubahan glukosa menjadi alkohol yang berlangsung secara anaerob (Duda *et al.*, 2020). Proses fermentasi memanfaatkan kemampuan mikroba untuk menghasilkan metabolit primer dan metabolit sekunder dalam suatu lingkungan yang dikendalikan. Mikroorganisme yang digunakan dalam proses fermentasi pada umumnya menggunakan bakteri, ragi, dan jamur (Kristiandi *et al.*, 2021).

Produk fermentasi yang menggunakan mikroorganisme biasanya dimanfaatkan sebagai olahan minuman, makanan, dan juga sebagai pupuk. Dalam proses fermentasi memerlukan mikroba sebagai inokulum, tempat (wadah) untuk menjamin proses fermentasi berlangsung dengan optimal, serta substrat sebagai tempat tumbuh (medium) dan sumber nutrisi bagi mikroba (Duda *et al.*, 2020). Fermentasi dapat dibagi menjadi dua tipe berdasarkan kebutuhan oksigen, diantaranya:

1. Fermentasi aerobik merupakan fermentasi yang pada prosesnya memerlukan oksigen. Sumber energi yang diperlukan mikroorganisme untuk hidup diperoleh dari hasil metabolisme bahan pangan. Sumber energi yang paling banyak diperlukan oleh mikroorganisme adalah glukosa. Dengan adanya oksigen maka mikroorganisme dapat mencerna glukosa untuk menghasilkan air, karbondioksida dan sebagian energi lain untuk pertumbuhan mikroorganisme.
2. Fermentasi anaerobik merupakan fermentasi yang pada prosesnya tidak memerlukan oksigen. Pada fermentasi ini mikroorganisme mendapatkan energi dengan cara memecah sebagian bahan energi tanpa adanya oksigen menjadi karbondioksida, dan air, termasuk sejumlah asam laktat, asetat, etanol, asam

volatile, alkohol, dan ester. Pada fermentasi anaerob, zat-zat organik dikatabolisme tanpa kehadiran oksigen yang berarti tidak adanya akseptor elektron eksternal melainkan melalui keseimbangan reaksi oksidasi-reduksi internal (Duda *et al.*, 2020).

Jenis mikroorganisme dengan karakteristik tertentu digunakan untuk menghasilkan suatu produk fermentasi tertentu. Produk yang terbentuk karena proses fermentasi dapat berupa asam organik, gas, atau alkohol (Kristiandi *et al.*, 2021). Duda *et al.* (2020) menjelaskan bahwa fermentasi dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan produk yang dihasilkan, diantaranya:

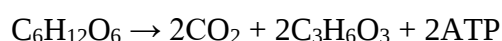
1. Fermentasi alkohol

Fermentasi alkohol merupakan suatu reaksi perubahan glukosa menjadi etanol (etil alkohol) dan karbondioksida. Fermentasi ini dilakukan dalam kondisi tanpa adanya oksigen (anaerob), mikroorganisme yang berperan pada fermentasi ini adalah *Saccharomyces cerevisiae* (ragi). Dengan mikroorganisme yang berperan fermentasi ini digunakan untuk pembuatan makanan dan minuman seperti tape, roti, bir atau minuman keras lainnya. Fermentasi ini memiliki mekanisme reaksi kimia sebagai berikut:



2. Fermentasi asam laktat

Fermentasi asam laktat merupakan fermentasi yang terjadi dengan adanya perubahan glukosa menjadi asam laktat. Fermentasi ini dilakukan dengan adanya peranan bakteri asam laktat serta dilakukan dalam kondisi anaerob (Kristiandi *et al.*, 2021). Bakteri asam laktat merupakan mikroba yang banyak digunakan dalam fermentasi bidang pangan. Selain itu, bakteri asam laktat memiliki potensi sebagai agen probiotik yang dapat digunakan sebagai kultur starter dalam proses fermentasi. Bakteri ini dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen serta dapat menurunkan pH lingkungan dengan mengekskresikan asam organik, alkohol dan CO₂ (Siagian *et al.*, 2024). Fermentasi asam laktat memiliki mekanisme reaksi kimia sebagai berikut:



3. Fermentasi asam cuka/ asam asetat

Fermentasi asam asetat/asam cuka merupakan fermentasi yang terjadi dalam kondisi aerob dan dilakukan oleh bakteri asam cuka (*Acetobacter aceti*) dengan bantuan substrat alkohol/etanol. Bakteri *Acetobacter aceti* termasuk dalam sekelompok bakteri Gram negatif yang tahan terhadap kondisi konsentrasi tinggi asam. Bakteri ini menghasilkan asam asetat dalam proses fermentasi. Selain itu, bakteri tersebut digunakan juga untuk memproduksi selulosa (Kristiandi *et al.*, 2021). Fermentasi asam asetat memiliki mekanisme reaksi kimia sebagai berikut:



Fermentasi diawali dengan pemecahan glukosa menjadi alkohol yang dibantu oleh mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*, kemudian *Acetobacter aceti* mengoksidasi alkohol menjadi asam asetat.

Fermentasi untuk menghasilkan suatu produk yang diinginkan dibutuhkan suatu sistem fermentasi yang sesuai. Dalam proses fermentasi penambahan inokulum dan oksigen dapat mempengaruhi hasil akhir. Berdasarkan hal tersebut, Dwivedi (2023) menjelaskan bahwa sistem proses fermentasi dibagi menjadi beberapa jenis diantaranya:

1. Fermentasi sistem *batch*

Fermentasi sistem *batch* merupakan suatu sistem fermentasi yang dilakukan secara tertutup. Fermentasi ini dilakukan dengan memasukan inokulum dan media secara bersamaan pada tahap awal proses. Fermentasi ini merupakan sistem fermentasi dengan menambahkan inokulum sebagai substrat dan mikroorganisme yang akan memecah nutrisi pada substrat dalam bioreaktor. Kelemahan dari bioreaktor ini adalah bahwa bahan metabolisme tertentu memiliki kecenderungan untuk terurai saat diaduk secara fisik (Dwivedi, 2023). Sel-sel mikroorganisme berkembang biak dan melalui beberapa tahap pertumbuhan selama inkubasi.

2. Fermentasi sistem *fed-batch*

Fermentasi *fed-batch* merupakan suatu sistem fermentasi tertutup maupun sistem modifikasi dari fermentasi *batch*. Sistem fermentasi ini dilakukan dengan

memasukan substrat dan nutrisi secara bersamaan. Perbedaan sistem fermentasi ini dengan sistem fermentasi *batch* yaitu substrat yang selalu pada konsentrasi tetap dalam setiap tahap fermentasi. Metode *fed-batch* mampu mengatasi dan mengendalikan variasi dalam pola perkembangan organisme.

3. Fermentasi sistem *continuous*

Fermentasi *continuous* merupakan sistem fermentasi dengan adanya penambahan media nutrisi baru secara terus-menerus ke bioreaktor. Akibatnya, volume media dan konsentrasi nutrisi dipertahankan pada tingkat idealnya. Fermentasi *continuous* paling efektif digunakan untuk fermentasi dengan kapasitas volume tinggi, serta dengan menggunakan sistem fermentasi ini dapat mengurangi biaya operasional. Fermentasi ini dilakukan secara berurutan dengan menggunakan dua atau lebih bioreaktor. Bioreaktor yang berbeda digunakan untuk tahap pertumbuhan dan tahap sintesis pada proses fermentasi. Metode ini paling cocok untuk fermentasi di mana aktivitas pertumbuhan dan tahap sintesis bakteri tidak terjadi secara bersamaan (Ezemba, 2022).

Berdasarkan proses fermentasi mikroorganisme sangat dibutuhkan untuk membantu mengubah bahan organik menjadi bentuk atau produk yang dibutuhkan (Duda *et al.*, 2020). Dalam hal ini mikroorganisme memiliki peran sebagai bioaktivator. Mikroorganisme tersebut dapat diperoleh dengan cara budidaya menggunakan bahan organik (MOL) maupun *Effective Microorganism 4* (EM4). Terdapat beberapa mikroorganisme yang terkandung dalam POC hasil fermentasi dengan memanfaatkan limbah organik seperti: *Lactobacillus*, *Bacillus* sp., *Azotobacter* (Alimuddin *et al.*, 2024). Mikroorganisme ini memiliki aktivitas yang dapat membantu proses fermentasi serta dapat memperbaiki dan menyediakan unsur hara sebagai pemacu pertumbuhan tanaman (Salmiyati *et al.*, 2021).

Lactobacillus sp. merupakan salah satu dari jenis bakteri asam laktat. Bakteri ini mampu beradaptasi pada lingkungan yang memiliki ketahanan terhadap pH asam dan oksigen yang rendah (Roni & Herawati, 2012). Penggunaan molase, air gula, maupun air nira yang berperan sebagai penyedia karbohidrat dapat memberikan pengaruh untuk aktivitas pertumbuhan bakteri ini (Sari *et al.*, 2024). Bakteri asam laktat ini dapat diamati secara mikroskopis maupun makroskopis, dengan pengamatan

mikroskopis bakteri kelompok ini termasuk dalam bakteri Gram positif, berbentuk *basil* (batang) dan tidak berspora. Bakteri ini memiliki peran dalam proses fermentasi sebagai dekomposer untuk mempercepat proses pembuatan pupuk organik cair (Usdar *et al.*, 2021).

Bacillus sp. merupakan bakteri Gram positif dan memiliki bentuk sel batang (*basil*). Bakteri ini memiliki habitat yang umumnya berada pada tanah dan air. *Bacillus* sp. mampu beradaptasi dan tahan terhadap lingkungan yang panas, asam, dan garam (Usdar *et al.*, 2021). Bakteri ini termasuk dalam salah satu dekomposer serta memiliki kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan memperbaiki unsur hara dalam tanah (Salmiyati *et al.*, 2021).

Staphylococcus sp. merupakan salah satu jenis bakteri yang termasuk dalam bakteri asam laktat (BAL). Berdasarkan identifikasi hasil fermentasi limbah kulit buah terdapat bakteri *staphylococcus* yang memiliki bentuk sel kokus (bulat) serta bergerombol. Bakteri ini termasuk dalam bakteri Gram positif, berdasarkan pengamatan secara mikroskopis (Hasanah & Wahid, 2025). *Staphylococcus* tumbuh pada lingkungan yang memiliki nilai pH yang berkisar 4-8, selain itu bakteri ini mampu bertahan dalam kondisi garam tinggi (Sinthalarosa *et al.*, 2023). Bakteri ini umumnya terdapat pada kulit, saluran pernafasan manusia maupun hewan. bakteri yang dianggap sebagai patogen ini dapat ditemukan juga pada lingkungan terbuka seperti air maupun tanah (Lestari *et al.*, 2018). *Staphylococcus* memiliki peran sebagai pengurai sampah organik, yang dapat mempermudah proses pembuatan pupuk organik (Fahrurrozi *et al.*, 2022).

2.4 Tanaman Sawi Pakcoy

Sawi pakcoy merupakan salah satu tanaman yang berasal dari China dan mulai dibudidayakan setelah abad ke-5 secara luas di China (Lisdayani *et al.*, 2019). Pusat persebaran tanaman sawi pakcoy pada daerah yang memiliki ketinggian 1000 mdpl (Arimurti & Nur'aini, 2023). Sawi pakcoy bukan salah satu jenis sayuran yang berasal dari Indosesia namun, karena Indonesia memiliki kondisi tanah, iklim, serta cuaca yang sesuai sehingga tanaman sawi pokcay dapat dikembangkan di Indonesia (Mandasari *et al.*, 2018). Tanaman sawi pakcoy ini dapat dibudidayakan pada daerah

dataran tinggi maupun dataran rendah dengan menggunakan media tanah maupun dengan sistem hidroponik (Siregar *et al.*, 2023).

Mudahnya budidaya sawi pakcoy mampu meningkatkan produksi sawi untuk memenuhi kebutuhan pangan. Menurut Badan Pusat Statistika Indonesia produksi sawi pakcoy di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 686.877 ton dan produksi sawi di provinsi jawa tengah sebanyak 108.218 ton (BPS, 2023). Sawi pakcoy ini merupakan salah satu jenis sayuran yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat dengan kandungan nutrisi yang baik. Sawi ini memiliki masa panen yang relatif cepat berkisar 30 hari dan mudah, sehingga meningkatnya jumlah produksi yang besar (Fatihuddin & Listiana, 2022).

Menurut Susanti & Arrokhman (2023), klasifikasi tanaman sawi pakcoy sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Rhoeadales
Famili	: Brassicaceae
Genus	: <i>Brassica</i>
Spesies	: <i>Brassica rapa</i> L.



Gambar 2.1 Sawi Pakcoy

Tanaman sawi ini sering dikenal dengan nama sawi sendok oleh masyarakat, karena memiliki bentuk menyerupai sendok. Sawi ini termasuk dalam tanaman herba,

dengan memiliki ciri sistem perakaran tunggang dengan cabang perakaran menyebar dalam tanah menyerupai akar serabut. Akar pada tanaman sawi ini berfungsi untuk menyerap kandungan unsur hara dan air dari tanah (Mandasari *et al.*, 2018).

Batang tanaman sawi pakcoy memiliki ukuran yang pendek dan cukup besar seperti memiliki daging. Ukuran batang tersebut yang dapat membedakan sawi pakcoy dengan jenis tanaman sawi lainnya yang memiliki batang yang kecil. Batang sawi ini termasuk batang semu dan beruas (Susanti & Arrokhman, 2023). Batang sawi pakcoy berwarna hijau muda, serta memiliki fungsi sebagai alat penopang daun dan sebagai alat pembentuk (Mandasari *et al.*, 2018).

Sawi pakcoy memiliki daun berbentuk bulat lonjong (oval), dan berwarna hijau muda. Permukaan daun sawi pakcoy halus, tidak berbulu, dan tidak berkerut (Saidi *et al.*, 2021). Sawi pakcoy memiliki struktur tulang daun menyirip dan bentuk daun hampir sama dengan sawi hijau, namun daun sawi pakcoy lebih tebal dibanding sawi hijau (Susanti & Arrokhman, 2023).

Sawi pakcoy yang mudah dibudidayakan dan banyak dikonsumsi oleh masyarakat, memiliki banyak manfaat dan kandungan gizi yang dibutuhkan oleh tubuh. Sawi pakcoy banyak mengandung protein, vitamin A, kalsium, vitamin C, kalori, serat, dan karbohidrat (Lisdayani *et al.*, 2019). Kandungan vitamin dan zat besi tersebut sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kesehatan tubuh (Saidi *et al.*, 2021). Manfaat sawi pakcoy bagi kesehatan tubuh diantaranya memperbaiki dan memperlancar sistem pencernaan, memperbaiki fungsi ginjal, menghilangkan rasa gatal di tenggorokan (Lisdayani *et al.*, 2019).

2.5 Air Nira

Tanaman kelapa memiliki nama latin *Cocos nucifera* L. Merupakan tanaman tahunan yang memiliki beragam manfaat. Tanaman kelapa merupakan tanaman multiguna, karena semua bagian tanaman kelapa memiliki manfaat dan nilai ekonomi tersendiri. Semua bagian tanaman kelapa mulai dari akar, batang, daun, pelepah, mayang, dan buah dapat dimanfaatkan menjadi olahan produk pangan maupun nonpangan. Pada tahun 2022 tanaman kelapa merupakan tanaman perkebunan dengan luas area mencapai sekitar 3,34 juta ha (Bahrun *et al.*, 2024).

Menurut (Mardiatmoko & Ariyanti, 2018) tanaman kelapa dalam tata nama tumbuhan diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisio : Spermatophyta
Class : Monocotyledonae
Ordo : Palmales
Familia : Palmae
Genus : *Cocos*
Species : *Cocos nucifera* L.

Tanaman kelapa memiliki bagian-bagian tubuh tanaman yang kompleks seperti akar, batang, daun, bunga, dan buah. Akar tanaman kelapa merupakan jenis akar serabut yang menyerupai kerucut terbalik. Dengan akar primer tumbuh mendatar pada permukaan tanah dan sebagian tumbuh kedalam tanah sampai 3-5 meter. Perakaran tanaman kelapa memiliki akar primer, akar sekunder, dan akar tersier yang berfungsi untuk menyerap unsur hara dan air dalam tanah. Batang tanaman kelapa mempunyai satu titik tumbuh, sehingga tumbuh batangnya mengarah keatas dan tidak memiliki percabangan (Riono *et al.*, 2022).

Daun tanaman kelapa berbentuk menyirip dengan tulang daun sejajar. Struktur daun kelapa terdiri atas tangkai (pelepah) daun, tulang daun, dan helai daun. Pertumbuhan daun kelapa tersusun melingkar membentuk spiral (Riono *et al.*, 2022). Tanaman kelapa memiliki bunga yang sering disebut dengan manggar. Bunga tanaman kelapa ini tergolong bunga serumah (*monoecious*), yang berarti memiliki alat kelamin jantan dan betina terdapat pada satu bunga. Bunga tanaman kelapa tumbuh dari bagian ketiak daun dan tertutup seludang (*spadix*). Dari bunga kelapa atau manggar yang masih tertutup ini dapat menghasilkan nira yang dapat diolah menjadi bahan pangan (Mardiatmoko & Ariyanti, 2018).

Nira merupakan cairan yang keluar dari bunga kelapa atau manggar yang masih kuncup yang yang diperoleh dengan cara disadap (Iskandar & Darusalam, 2020). Penyadapan nira kelapa dilakukan pada tanaman kelapa yang berumur 3-4 tahun dan sudah tumbuh bunga kelapa atau manggar. Setelah disadap nira kelapa dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan gula merah atau gula semut. Pada kondisi

segar nira memiliki rasa yang manis, tidak berwarna, memiliki bau yang khas, serta memiliki pH netral (Bahrun *et al.*, 2024).

Nira kelapa segar mengandung kadar air 85,62%, gula pereduksi 0,04%, sukrosa 13,64%, asam amino 0,17% dan vitamin C 0,03%. Komponen senyawa yang terdapat dalam nira kelapa dapat dimanfaatkan sebagai substrat fermentasi (Iskandar & Darusalam, 2020). Dalam keadaan segar nira dapat menjadi habitat bagi mikroorganisme yang menyebabkan perubahan sifat pada nira kelapa. Nira kelapa mudah mengalami fermentasi karena dalam nira kelapa terkandung mikroorganisme yang bersifat aktif yang dapat memecah sukrosa menjadi asam asetat maupun etanol (Puspita *et al.*, 2020).

Mikroorganisme yang dapat tumbuh pada nira kelapa dapat berupa *Acetobacter xylinum*. Bakteri ini merupakan bakteri jenis aerobik yang dimana bakteri ini membutuhkan oksigen dalam proses fermentasi. Dalam proses pertumbuhan *Acetobacter*, oksigen berperan dalam proses pertumbuhan dan aktivitasnya, bila kekurangan oksigen maka akan menghambat pertumbuhan bakteri ini (Ningsih *et al.*, 2021). Selain bakteri, dalam air nira ditemukan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*. Mikroorganisme dalam air nira ini berasal dari manggar maupun dari udara bebas pada saat proses penyadapan yang terbuka. Wadah yang digunakan untuk menampung air nira pada proses penyadapan dapat menyebabkan indikasi tumbuhnya *Saccharomyces cerevisiae* karena kontaminasi (Nasution *et al.*, 2025). *Saccharomyces cerevisiae* dapat ditemukan tidak hanya pada air nira kelapa melainkan pada buah-buahan dan dialam bebas terutama pada tanah (Puspita *et al.*, 2020). *Saccharomyces cerevisiae* yang terdapat dalam air nira dalam pengolahan pupuk organik cair memiliki peran membantu proses dekomposisi bahan organik berupa limbah sayuran. *Saccharomyces cerevisiae* menghasilkan senyawa yang dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan tanaman seperti asam amino, enzim, dan vitamin (Pratiwi, 2024). Mikroorganisme ini memiliki kemampuan dalam memecah glukosa menjadi senyawa sederhana melalui pertumbuhan sel serta dapat menghasilkan kadar etanol (Anggraini & Yuniningsih, 2020).

2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No.	Nama (Tahun)	Judul	Metode penelitian dan hasil penelitian	Persamaan penelitian	Perbedaan penelitian
1	Fatihuddin & Listiana, (2022)	Respon Pertumbuhan Tanaman Sawi Pakcoy (<i>Brassica rapa</i> L.) Terhadap Pemberian Pupuk Organik Cair Dari Limbah Sayur-Sayuran	Menggunakan metode eksperimen. Hasil dari penelitian menunjukkan adanya perbedaan tinggi tanaman sawi	Penelitian yang dilakukan sama-sama diaplikasikan pada tanaman sawi pakcoy dan limbah sayur yang digunakan tidak spesifik	Menggunakan pupuk kandang sebagai campuran pembuatan POC, saat ini rencana penelitian ini akan menggunakan air nira kelapa sebagai campuran bahan pembuatan pupuk organik cair
2	Hanifa et al. (2022)	Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair Dari Limbah Air Cucian Beras Dan Sayuran Sawi Terhadap Pertumbuhan Tanaman Tomat (<i>Solanum lycoersicum</i> L.)	Metode penelitian menggunakan RAL dengan perlakuan konsentrasi yang berbeda. POC ini memiliki pengaruh terhadap perubahan pertumbuhan tanaman tomat optimal pada konsentrasi terkecil.	Penelitian ini menggunakan air cucian beras sebagai bahan campuran dalam pembuatan POC	Menggunakan tambahan EM4 sebagai bahan tambahan dalam pembuatan POC, serta pengaplikasiannya pada tanaman tomat. Limbah sayuran yang digunakan dalam penelitian ini spesifik yaitu sawi. Pada penelitian ini penggunaan EM4 sebagai bioaktivator tidak dilakukan, namun penelitian ini akan menggunakan air nira kelapa sebagai bioaktivator

No.	Nama (Tahun)	Judul	Metode penelitian dan hasil penelitian	Persamaan penelitian	Perbedaan penelitian
					dalam bahan pembuatan pupuk
3	Lisdayani <i>et al.</i> (2019)	Respons Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Pakcoy (<i>Brassica rapa</i> L.) Terhadap Penggunaan Pupuk Organik Cair NASA	Metode penelitian menggunakan RAK dengan perlakuan konsentrasi dan penggunaan dosis pupuk yang berbeda. Penggunaan POC ini memberikan pengaruh terhadap berat tanaman pakcoy.	Menggunakan benih sawi pakcoy sebagai bahan uji pemberian jenis pupuk organik yang berbeda.	Menggunakan limbah ternak sebagai bahan dasar pembuatan POC dan variasi konsentrasi yang berbeda. Pada rencana penelitian saat ini akan menggunakan limbah organik berupa sayuran dan air cucian beras.
4	Setyawati <i>et al.</i> (2020)	Respons Pertumbuhan Tanaman Sawi Pakcoy (<i>Brassica rapa</i> L.) Terhadap Pemberian Air Kelapa Tua (<i>Cocos</i> <i>nucifera</i>)	Penelitian ini menggunakan analisis metode Analisis Sidik Ragam (ANSIRA) dengan variasi pemberian dosis air kelapa pada tanaman sawi pakcoy. Penelitian dengan variasi dosis yang berbeda ini menunjukkan pengaruh tidak nyata terhadap pertumbuhan tanaman sawi pakcoy 45 HST.	Penelitian ini menggunakan tanaman sawi pakcoy sebagai media aplikasi pupuk.	Memanfaatkan air kelapa sebagai pupuk organik cair yang langsung diaplikasikan tanpa dilakukan proses fermentasi. Pada rencana penelitian ini akan menggunakan air nira kelapa dan air cucian beras sebagai bahan pembuatan pupuk organik melalui proses fermentasi.
5.	Lukman (2022)	Pengaruh Penggunaan Pupuk Organik Cair Nira Aren	Penelitian ini menggunakan metode RAK dengan faktor	Penelitian ini menggunakan air nira sebagai POC. Dengan	Pengolahan POC ini memanfaatkan air nira aren serta menggunakan

No.	Nama (Tahun)	Judul	Metode penelitian dan hasil penelitian	Persamaan penelitian	Perbedaan penelitian
		[<i>Arenga Pinnata</i> (Wurmb) Merr] Terhadap Pertumbuhan Bibit Tanaman Cengkeh (<i>Syzygium aromaticum</i> . L)	tunggal dengan variasi pemberian dosis POC pada tanaman cengkeh. Penelitian dengan variasi dosis yang berbeda ini menunjukkan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman cengkeh 42 HST. Serta POC nira aren mengandung unsur hara NPK dan hormon IAA, Giberelin.	kandungan senyawa pada air nira yang hampir sama dengan nira kelapa	pupuk kandang sebagai campuran pada tanah. Pada rencana penelitian saat ini akan menggunakan air nira kelapa serta tanpa menggunakan bahan tambahan pupuk kandang.
6.	Suanda <i>et al.</i> (2025)	Identifikasi Morfologi dan Populasi Mikroorganisme Pada <i>Eco Enzyme</i> Barbahan Sayur dan Buah Dengan Perlakuan Berbeda	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan perlakuan <i>eco enzyme</i> yang berbeda. Dengan menumbuhkan mikroorganisme pada media agar dengan teknik mengisolasi cairan <i>eco enzyme</i> dengan mengamati karakteristik morfologi secara makroskopis. Hasil dari penelitian ini menunjukkan morfologi mikroorganisme	Mengidentifikasi karakteristik morfologi mikroorganisme pada <i>eco enzyme</i> berbahan dasar limbah sayur dan buah	Penelitian ini tidak dilakukan identifikasi secara mikroskopis, serta hasil dari <i>eco enzyme</i> ini belum teraplikasikan

No.	Nama (Tahun)	Judul	Metode penelitian dan hasil penelitian	Persamaan penelitian	Perbedaan penelitian
			pada <i>eco enzyme</i> dengan perlakuan yang berbeda menunjukkan morfologi yang berbeda dan jumlah mikroba yang berbeda.		

2.7 Hipotesis Penelitian

H0 = Tidak ada pengaruh pemberian pupuk organik cair dengan penambahan air nira dan air cucian beras terhadap pertumbuhan tanaman sawi pokcay (*Brassica rapa* L).

H1 = Terdapat pengaruh pemberian pupuk organik cair dengan penambahan air nira dan air cucian beras terhadap pertumbuhan tanaman sawi pokcay (*Brassica rapa* L).