

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi dan SNI Pupuk Organik Cair

Tanaman atau komoditas pertanian, membutuhkan pupuk untuk memenuhi kebutuhan hara dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Pupuk organik merupakan pupuk yang berasal dari hasil akhir atau penguraian sisa tanaman dan hewan (Purba dkk., 2021). Peraturan Menteri Pertanian No 1 Tahun 2019, menyatakan bahwa pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran binatang, limbah organik lainnya yang sudah diproses, dengan bentuk padat atau cair yang mengandung bahan mineral atau mikroba sebagai pendukung bahan organik atau kandungan hara tanah serta dapat memperbaiki sifat-sifat tanah secara biologi, kimia dan fisik (Warintan dkk., 2021). Pupuk organik berasal dari aktivitas mikrobiologi dalam merombak bahan organik serta bersifat *slow release* (lambat tersedia), tetapi dapat tersedia lebih lama di dalam tanah dibandingkan pupuk anorganik (Prasetyo dan Evizal, 2021).

Pupuk organik berperan dalam memperbaiki struktur tanah karena bahan organik mampu mengikat partikel tanah menjadi agregat. Pupuk organik dapat meningkatkan daya serap dan daya simpan air, sehingga tanah menjadi lebih subur (Fitrah dan Amir, 2015). Pemberian pupuk organik dapat meningkatkan aktivitas mikroba tanah, menekan keberadaan penyakit tanaman dan penyerapan unsur hara untuk meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman (Prasetyo dan Evizal, 2021). Pupuk organik dapat dihasilkan dari

limbah-limbah pertanian dengan metode fermentasi dengan perombakan bahan organik yang dibantu oleh aktivitas mikroorganisme dapat senyawa kompleks menjadi sederhana menghasilkan pupuk organik dengan bentuk cair ataupun padat (Warintan dkk., 2021).

Pupuk organik cair (POC) adalah larutan hasil fermentasi bahan-bahan organik, pemberian POC dalam konsentrasi dan waktu yang tepat berkelanjutan mendukung hasil pertumbuhan yang optimal, dibandingkan dengan pemberian pupuk organik cair dengan konsentrasi yang tinggi, namun dengan rentang waktu lama (Wirayuda dan Koesriharti, 2020). Pupuk organik cair menyediakan hara makro dan mikro, tidak merusak struktur tanah walaupun sering digunakan, bersifat higrokofisitas (mudah larut) sehingga bisa langsung digunakan, dan tidak membutuhkan interval waktu yang lama untuk diserap oleh tanaman (Wirayuda dan Koesriharti, 2020). Kelebihan pupuk organik cair jika dibandingkan dengan pupuk organik padat yaitu dapat mengatasi defisiensi hara dengan cepat, menyediakan hara tanaman dengan waktu relatif singkat, mampu langsung diserap oleh tanaman (Warintan dkk., 2021).

Pupuk organik cair yang diaplikasikan dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik dengan hara makro dan mikro esensial N, P, K, S, Ca, Mg, B, Mo, Cu, Fe, Mn (Prasetyo dan Evizal, 2021). Pupuk organik digunakan bukan untuk menggantikan fungsi pupuk anorganik secara keseluruhan, tetapi sebagai pelengkap untuk memenuhi kebutuhan hara bagi tanaman, agar kondisi dan kesuburan tanah dapat diperbaiki namun tetap memperhatikan baku mutu hara

yang telah ditetapkan (Mumita dan Taher, 2021). Pembuatan pupuk organik cair wajib memenuhi kriteria baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Pertanian Nomor (2019) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. 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>Escherichia coli</i>	cfu/ml	< 1 x 10 ²
	<i>Salmonella sp</i>	atau MPN/ml	cfu/ml < 1 x 10 ²
		atau MPN/ml	
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 ***	ppm	Maksimum 2000
		ppm	Maksimum 2000

(Sumber : Menteri Pertanian Republik Indonesia, 2019).

Pupuk Organik Cair mengandung unsur hara makro yaitu N (nitrogen), P (fosfor), dan K (kalium). Unsur nitrogen berperan dalam fase pertumbuhan dan perkembangan vegetatif pada tumbuhan bagian daun, yaitu mendukung pembentukan klorofil (Kurniawati dkk., 2015). Nitrogen merupakan unsur

hara utama bagi tumbuhan yang diperlukan untuk pembentukan atau pertumbuhan bagian-bagian tanaman seperti daun, batang, dan akar tetapi jika jumlahnya terlalu banyak dapat menghambat pembungaan dan pembuahan pada tanaman. Fungsi N untuk tanaman sayuran yaitu sebagai penyusun protein, untuk pertumbuhan pucuk tanaman (Faizin dkk., 2015).

Unsur fosfor (P) berperan sebagai unsur yang mendukung pembentukan bunga, buah dan biji, merangsang pertumbuhan akar menjadi memanjang dan tumbuh kuat sehingga tanaman akan tahan kekeringan. Unsur P mampu merangsang pertumbuhan tinggi tanaman dari hasil metabolisme dan respirasi tanaman. Fosfat yang terpenuhi akan membentuk protein dan asam amino dan protein sehingga menghasilkan sel baru (Faizin dkk., 2015).

Unsur kalium (K) membantu proses metabolisme seperti fotosintesis dan respirasi saat fase pertumbuhan (Wirayuda dan Koesriharti, 2020). Kalium juga menjadi aktivator enzim serta pembentukan karbohidrat, protein, dan gula yang mempengaruhi penguatan jaringan tanaman serta meningkatkan kemampuan tanaman bertahan dari penyakit (Zakiyah dkk., 2018). Unsur kalium dapat mendukung proses translokasi asimilat dari bagian daun hingga organ penyimpanan, membantu proses pembukaan dan penutupan stomata saat sel penjaga menyerap air yang dipengaruhi ion K^+ (Apriliani dkk., 2022).

B. Deskripsi dan Kandungan Keong Mas (*Pomacea canaliculata*)

Keong mas (*Pomacea canaliculata*) adalah siput air pendatang dari Amerika Selatan, pada tahun 1980 mulai masuk ke Asia dan awalnya dijadikan sebagai hewan hias dalam akuarium. Keong mas mulai menyebar di Indonesia

pada 1987 awalnya dilakukan pengembangbiakan keong mas untuk komoditas ekspor. Klasifikasi keong mas menurut Wagiman dan Bunga (2022) dapat dilihat sebagai berikut :

Kerajaan	: Animalia
Divisi	: Mollusca
Kelas	: Gastropoda
Sub Kelas	: Prosobranchia
Ordo	: Mesogastropoda
Famili	: Ampullariidae
Genus	: Pomacea
Jenis	: <i>Pomacea canaliculata</i>

Penyebaran keong mas berlangsung hingga Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Kalimantan, dan Sulawesi. Keong mas mulai dianggap sebagai hama, pada tahun 1996 melalui data kerusakan tanaman padi di 16 kabupaten, dan hingga tahun 2007 tercatat luas kerusakan sawah akibat keong mas seluas 13.00 ha- 22.000 ha (Wagiman dan Bunga, 2022). Keong mas telah dikategorikan sebagai spesies invasif yang penyebarannya tidak dapat dikendalikan (Lowe dkk., 2000).

Siklus hidup keong mas melewati fase telur, nimfa, juvenil dan imago, masa telur ditandai dengan ciri berwarna merah jambu yang akan memudar seiring dengan umur telur. Telur yang menetas menjadi nimfa, ditandai dengan ciri nimfa transparan dengan panjang cangkang 2-3 mm (Gammara dkk., 2013). Fase juvenil masuk pada umur 10 hari dengan panjang cangkang 10 mm dan akan bertambah hingga fase imago sekitar 50 hari (Wagiman dan Bunga, 2022). Keong mas betina dapat menghasilkan 15-20 kelompok telur, satu kelompok telur berjumlah 50-500 butir dengan waktu 10-15 hari. Penyebaran keong mas relatif cepat, didukung saat proses penetasan telur yang terbawa

aliran air atau menempel pada tumbuhan air terbawa menyebar ke daerah persawahan dan perairan tawar seperti sungai, rawa, danau (Bunga dkk., 2018). Keong mas mampu beradaptasi di berbagai tipe habitat, sehingga dengan jumlah telur mencapai ± 8.700 butir per musim reproduksi dan kemampuannya untuk bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang kering (Sulfianti dkk., 2019).

Keong mas merupakan hama tanaman padi mulai dari pesemaian sampai tanaman dipindahkan ke sawah. Serangan keong mas paling berat terjadi pada saat anakan tanaman berumur 1-7 hari setelah pindah tanam sampai tanaman berumur kurang lebih 30 hari, sehingga mengurangi anakan tanaman (Lonta dkk., 2020). Keong mas aktif melakukan aktivitas memakan benih pada siang pukul 10.00- 13.00 dan malam hari pukul 19.00- 22.00. Semakin besar ukuran keong mas maka semakin besar daya makannya. Fase juvenil keong mas dapat memakan 31,67% dan saat fase imago meningkat hingga 97,38% dari bibit yang disediakan.

Keong mas dikategorikan sebagai hewan polifagia, yaitu salah satu pemakan tumbuhan air serta bahan yang berasal dari hewan. Nimfa keong mas akan memakan ganggang, sedangkan juvenil dan imago akan memakan tanaman kangkung, eceng gondok, dan padi muda (Bunga dkk., 2018). Keong mas termasuk hewan dengan fleksibilitas pakan, karena dapat memakan daun segar dan daun yang telah membusuk yang terdapat nutrisi dan fenolatnya rendah, hal ini berpengaruh terhadap kemampuan bertahan hidup keong mas dalam berbagai kondisi dan habitat (Wagiman dan Bunga, 2022). Penelitian

mengenai persebaran jenis- jenis keong mas telah dilakukan oleh Isnaningsih dan Marwoto (2011), menyatakan hasil studi morfologi cangkang keong mas *Pomacea* spp. menunjukkan terdapat empat jenis keong mas yang telah tersebar di Indonesia, jenis *Pomacea canaliculata*, *Pomacea insularum*, *Pomacea scalaris*, dan *Pomacea paludosa*. Hasil perbandingan menyatakan, bahwa jenis *Pomacea canaliculata* mampu beradaptasi dalam terhadap berbagai tipe perairan atau darat dibandingkan ketiga jenis lainnya, sehingga jenis ini telah menyebar paling luas di negara Indonesia.

Keong mas yang dikategorikan hama, namun memiliki beberapa kandungan, salah satunya bagian daging dan cangkang keong mas mengandung unsur hara makro yaitu protein 12,2 mg, fosfor (P) 61 mg, unsur kalium (K) 17 mg, dan unsur lain yaitu C, Mn, Cu, dan Zn (Kurniawati dan Tunada, 2019). Keong mas mengandung unsur kalsium sebesar 40% yang berperan dalam proses perkembangan bagian akar, daun, dan proses pembungaan. Unsur fosfor mendukung proses perkecambahan, perkembangan tumbuhan dan mempercepat pematangan buah, serta asam amino triptopan sebagai pekusor pembentukan *indole acetic acid* (IAA) tanaman (Andriani, 2018). Kandungan fosfor pada keong mas berbentuk fosfat organik, tanaman tidak dapat memanfaatkan fosfat organik secara langsung, sehingga diperlukan proses mineralisasi agar tanaman dapat menyerap fosfor. Proses fermentasi pupuk organik akan mengalami proses mineralisasi menjadi fosfat anorganik yang dipengaruhi mikroba pelarut fosfat pada EM4 yang digunakan dalam proses fermentasi (Andriani, 2018).

Alternatif penekanan keong mas yaitu dapat dimanfaatkan sebagai produk pupuk organik cair, hal ini didukung ketersediaan bahan baku keong mas yang melimpah karena dapat berkembang biak sangat cepat. MOL keong mas memiliki kandungan mikroba pelarut fosfat, protein, genus bakteri *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Staphylococcus*, dan *Pseudomonas*. Dosis POC keong mas jika semakin tinggi maka pertumbuhan tanaman semakin meningkat (Siregar dkk., 2017). Pupuk organik keong mas mampu menyuplai unsur hara bagi tanaman, mengembalikan dan meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan produksi tanaman, kandungan unsur hara cepat diserap (Sulfianti dkk., 2019).

C. Deskripsi dan Kandungan Kubis (*Brassica oleracea*)

Kubis atau kol (*Brassica oleracea* L.) merupakan tanaman sayuran berbatang lunak. Sayur kubis dapat dipanen berkisar dari 90-150 hari dan dapat tumbuh di dataran tinggi atau di dataran rendah dengan curah hujan rata-rata 850-900 mm (Luhukay dkk., 2018). Klasifikasi kubis menurut Simpson (2006) dapat dilihat sebagai berikut :

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Capparales
Famili	: Brassicaceae
Genus	: Brassica
Jenis	: <i>Brassica oleracea</i>

Kubis berdaun bulat, oval, sampai lonjong, membentuk roset akar yang besar dan tebal dengan warna daun putih, hijau, dan merah keunguan (Agustina, 2016). Jenis kubis yang umum di Indonesia yaitu kubis, kubis

bunga, brokoli, kubis tunas, kubis rabi, dan kale (Luhukay dkk., 2018).

Kandungan dari 100 gram kubis dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Kubis Mentah

Komposisi Kandungan Gizi	Nilai Gizi	
Energi	103 kJ (25 kcal)	
Karbohidrat	5,8 g	-
Gula	3,2 g	-
Diet serat	2,5 g	-
Lemak	0,1 g	-
Protein	1,28 mg	-
Thiamine (Vitamin B1)	0,061 mg	5%
Riboflavin (Vitamin B2)	0,040 mg	3%
Niacin (Vitamin B3)	0,234 mg	2%
Asam Pantotenat (Vitamin B5)	0,212 mg	4%
Vitamin B6	0,124 mg	10%
Folat (Vitamin B9)	53 mg	13%
Vitamin C	36,6 mg	61%
Kalsium	40 mg	4%
Besi	0,47 mg	4%
Magnesium	12 mg	4%
Fosfor	26 mg	4%
Kalium	170 mg	4%
Seng	0,18 mg	2%

(Sumber : *United State Department of Agriculture Nutrient Database*, 2015).

Kubis merupakan salah satu produk hortikultura yang mudah rusak. Tanaman kubis yang sudah dipanen, masih melakukan proses metabolisme yaitu respirasi dan terus melakukan transpirasi pematangan, penuaan sehingga akan mengalami layu (Takaendengan dkk., 2015). Data Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jenderal Hortikultura menyatakan bahwa produksi sayuran kubis di Indonesia selama tahun 2015 – 2019 berada dalam kisaran 1,443,232 – 1,413,059 ton (Badan Pusat Statistik, 2019). Peningkatan produksi kubis akan mempengaruhi peningkatan limbah sayur pasar yang akan menimbulkan masalah bagi lingkungan apabila pengelohaannya tidak maksimal (Andi dan Sariubang, 2015). Limbah kubis sudah mencapai sekitar 1,2-2,0 ton dari 50 ton

yang masuk ke gudang dan dibiarkan begitu saja, sehingga diperlukan pengolahan limbah dari bahan organik (Harahap dkk., 2020). Penumpukan limbah sayur kubis dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Limbah Kubis di Pasar Giwangan

Limbah sayur merupakan limbah organik dari bagian sayuran maupun buah yang tidak terpakai, salah satu limbah yang mendominasi yaitu limbah kubis-kubisan seperti sayur sawi putih, kubis dan daun kubis bunga dengan kadar air $>90\%$. Penumpukan limbah pasar dapat menyebabkan pencemaran udara yaitu bau gas NH_3 , H_2S , CH_3S , $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$, asam-asam alifatik, air tanah. Pencemaran air dan pencemaran tanah diakibatkan oleh air lindi yang jika tidak ditangani menjadi sumber berjangkitnya penyakit disentri, kolera, paru-paru, dan penyakit kulit (Wirawan dkk., 2021). Karakteristik fisik, limbah kubis mudah busuk karena berkadar air tinggi, namun secara kimiawi mengandung protein, serta vitamin dan mineral relatif tinggi, sehingga dapat digunakan menjadi bahan pembuatan pupuk organik cair (Haki dkk., 2021).

D. Deskripsi Mikroorganisme Lokal (MOL)

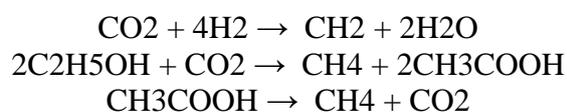
Mikroorganisme lokal (MOL) adalah MOL merupakan larutan hasil fermentasi yang dibuat dari hasil produksi berbagai bahan alami yang mampu menjadi media hidup mikroorganisme dan mempercepat penguraian bahan organik (Permana dkk., 2020). MOL berperan sebagai penambah nutrisi bagi tumbuhan yang terbuat dari bahan karbohidrat, glukosa, karbohidrat dan sumber mikroorganisme serta sisa hasil perkebunan, sisa limbah rumah tangga, limbah sisa bahan organik, dan sisa hasil pertanian. Proses pembuatan MOL berhasil ditandai dengan ciri bau yang dihasilkan beraroma alkohol atau tapai, bila bau yang dihasilkan beraroma busuk maka MOL dianggap tidak berhasil. Faktor yang mempengaruhi proses keberhasilan pembuatan MOL yaitu saat fermentasi media yang digunakan seperti bak fermentasi atau ember yang kurang rapat, suhu yang ketika menutup botol serta suhu tempat penyimpanannya tidak sesuai (Ekawandani dan Halimah, 2021).

Fermentasi adalah proses pemecahan senyawa organik oleh mikroorganisme menjadi senyawa sederhana. Proses fermentasi berlangsung dengan prinsip kandungan limbah organik akan diurai oleh mikroba dengan proses pemecahan karbohidrat dan asam amino. Faktor yang berpengaruh dalam proses fermentasi adalah pemilihan substrat sebagai bahan baku fermentasi yang mengandung nutrisi bagi mikroba sehingga dapat menghasilkan produk fermentasi. Pemilihan mikroorganisme disesuaikan dengan jenis substrat dan tujuan hasil berupa produk fermentasi yang

diharapkan. Sumber mikroba dapat diperoleh dari bahan tambahan EM4 dan MOL (Erita dan Sukriman, 2021).

Fermentasi anaerobik dilakukan dengan mikroorganisme yang tumbuh dalam kondisi tanpa oksigen. Proses fermentasi pupuk organik dengan anaerob terjadi melalui beberapa tahap, yaitu tahap hidrolisis, tahap asidogenesis, tahap asetogenesis, dan tahap methanogenesis. Tahap hidrolisis, bakteri mampu mengubah substrat organik menjadi cairan monomer atau polimer yaitu protein, karbohidrat dan lemak akan diubah menjadi asam amino, asam lemak dan monosakarida. Tahap asidogenesis ditunjukkan saat bakteri mampu mengubah produk hasil reaksi hidrolisis menjadi asam berikatan pendek (volatil, keton, alkohol, hidrogen dan karbondioksida). Produk yang dihasilkan adalah asam propanoat ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$), asam asetat (CH_3COOH), asam butirrat ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$), asam formiat (HCOOH), asam laktat ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{-OH}$) dan methanol (CH_3OH) (Aditya dan Qoidani, 2017).

Tahap asetogenesis dapat mengolah sisa produk asidogenesis (asam butirrat, asam propanoat dan alkohol) menjadi hidrogen, karbondioksida dan asam asetat. Tahap metanogenesis sebagai tahap akhir menunjukkan mikroorganisme akan mengubah hidrogen dan asam asetat oleh pembentuk asam menjadi gas metana dan karbondioksida. Proses ini dapat dilihat dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Aditya dan Qoidani, 2017) :



Fermentasi menggunakan mikroba dengan proses spesifik, suhu yang diperlukan relatif rendah jika dibandingkan dengan proses kimiawi dan tidak menggunakan katalisator logam bersifat polutan (Erita dan Sukirman, 2021). Mikroorganisme akan tumbuh dan bekerja dengan optimal saat kondisinya sesuai. Proses fermentasi berlangsung dalam pH 3-4, dengan kadar garam dan kadar gula tinggi, terdapat kandungan air sekitar 30-40%, terdapat mikroorganisme yang mendukung proses fermentasi, dan dengan suhu lingkungan 30-40 °C (Nur dkk., 2016). Suhu 23°C – 45°C termasuk kedalam keadaan mesofilik, mikroorganisme pengurai mampu berkembang serta aktivitas mikroorganisme didominasi fungi dan protobakteri. Peningkatan suhu dapat terjadi selama proses fermentasi, hal ini terjadi akibat aktivitas bakteri saat mendekomposisi bahan organik (Setyawati dkk., 2021).

1. *Effective microorganisms* (EM4)

EM 4 merupakan bahan yang dapat meningkatkan dan mempercepat proses pembuatan pupuk organik. Hasil akhir optimal dengan pemberian EM4 yang mengandung mikroorganisme pengurai materi organik, salah satunya mikroorganisme fermentasi bakteri fotosintetik, *Lactobacillus*, *Actinomycetes*, *Streptomyces*, ragi yang dapat mempercepat proses fermentasi pembuatan POC (Wahono dkk., 2015). Mikroorganisme dalam EM4 akan meningkatkan kualitas pupuk organik dan hasil akhir kandungan unsur hara dalam pupuk dipengaruhi waktu yang dibutuhkan bakteri dalam mendegradasi bahan organik (Nur dkk., 2016).

EM4 mendukung proses dekomposisi bahan organik, yang membutuhkan waktu 3 bulan menjadi hanya 7 sampai dengan 14 hari. Kemampuan EM4 memproses mineralisasi saat fermentasi dipengaruhi mikroba pelarut fosfat. Fosfat terlarut secara biologi oleh mikroba pelarut fosfat dengan memproduksi enzim fosfatase, enzim yang dihasilkan akan memutus ikatan fosfat dari senyawa organik pengikatnya sehingga menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan tumbuhan menjadi fosfat anorganik. Tanaman tidak dapat menggunakan fosfor organik secara langsung, sehingga proses mineralisasi dapat menjadi solusi untuk menyederhanakan bentuk agar mampu diserap tanaman (Rosmarkam dan Yuwono, 2002).

2. Molase

Molase atau tetes tebu merupakan bahan penting dalam proses fermentasi sebagai sumber karbon dan nitrogen bagi mikroba yang digunakan. Fermentasi akan memecah senyawa organik menjadi senyawa sederhana yang melibatkan mikroorganisme untuk menyeimbangkan karbon (C) dan Nitrogen (N). Molase berperan sebagai aditif penyuburan mikroorganisme, karena molase mengandung nutrisi bagi bakteri *Sacharomyces cereviceae*. Bakteri *Sacharomyces cereviceae* yang ternutrisi akan menguraikan material organik yang akan diolah menjadi pupuk organik cair agar terfermentasi maksimal (Wijaya, 2008). Larutan molase ditambahkan dengan air cucian beras dapat memberi nutrisi bagi mikroorganisme untuk tumbuh, hal ini dipengaruhi kandungan unsur non

logam yaitu sulfur dan fosfor, karbon, nitrogen yang terdapat dalam cucian air beras (Maranditya dkk., 2021).

3. Air Cucian Beras

Air cucian beras mengandung nutrisi tertinggi yang berasal dari proses pencucian pertama, ditandai dengan ciri air berwarna keruh. Air berwarna keruh disebabkan lapisan kulit ari beras ikut terkikis, air beras mengandung 80% vitamin B1, 70% vitamin B3, 60% zat besi, 90% vitamin B6, 50% mangan (Mn), 50% fosfor, Kalium 0,02%, dan Nitrogen 0,015% (Lalla, 2018). Air cucian beras dapat dioptimalkan setelah diproses fermentasi dengan bakteri genus *Lactobacillus* yang dapat mengurai bahan organik pada air beras, hasil penguraian menjadi nutrisi bagi tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa air beras yang melalui proses fermentasi bakteri *Lactobacillus* menunjukkan hasil positif bagi seluruh parameter pengamatan produksi dan pertumbuhan tanaman sawi. Spesies dari genus *Lactobacillus* memiliki kemampuan dalam pembusukan materi, karena produksi asam laktatnya menyebabkan lingkungan bersifat asam sehingga tidak mendukung pertumbuhan bakteri merugikan (Abror, 2018).

4. Air Kelapa

Kelapa tua (*Cocos nucifera* L.) merupakan pohon yang dapat tumbuh dengan subur di bagian negara tropis dan subtropis. Kelapa tua memiliki air dengan volume maksimal saat berumur 6-8 bulan, setelah itu volume air kelapa akan berkurang yang akan diganti oleh pembentukan

kernel yang menebal dan mengeras (Prasetyo dkk., 2021). Air kelapa tua kurang dimanfaatkan dalam penggunaannya, rata-rata para pedagang atau penggilingan hanya mengambil bagian daging kelapa tua, lalu air kelapa akan dibuang (Safitri dkk., 2021).

Pemanfaatan air kelapa tua dapat menjadi bahan penambah dalam pembuatan MOL, karena mengandung nutrisi juga mengandung hormon pertumbuhan. Air kelapa mengandung unsur N yang cenderung rendah 0,018% dan unsur K 0,12%. Kandungan hormon tumbuh dalam air kelapa yaitu hormon IAA sebesar 0,0039%, hormon sitokinin sebesar 0,0017%, dan hormon kinetin sebesar 0,0053% (Rosniawaty dkk., 2022). Air kelapa memiliki kandungan gula sebesar 1,7% hingga 2,6% (Alfarizi dkk., 2021).

5. Tulang Ayam

Tulang ayam merupakan sisa makanan yang tidak dimanfaatkan, tingginya tingkat konsumsi ayam oleh masyarakat akan mempengaruhi peningkatan limbah tulang ayam yang dihasilkan. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan hewan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, populasi ayam pedaging di Indonesia selama tahun 2007 hingga 2011 yaitu sekitar 892 juta hingga 1 milyar ekor. Limbah tulang tidak dapat terurai dengan baik, sehingga diperlukan alternatif pemanfaatan untuk menekan penumpukan (Gustian, 2019).

Komposisi tulang ayam yaitu tersusun atas 22% matrik organik dan mengandung 9% air. Tulang ayam merupakan limbah yang memiliki kandungan anorganik relatif tinggi yaitu sebesar 69% yang dapat

dimanfaatkan sebagai bahan sumber fosfor dan kalsium. Limbah tulang ayam juga mengandung kolagen yang tidak dapat larut, sehingga dibutuhkan proses dekolagenasi oleh alkali atau larutan basa kuat agar mampu mengurai mineral yang diikat oleh kolagen agar diperoleh kandungan mineral yang tinggi (Nasution dan Permata, 2016).

E. Unsur Hara Nitrogen Fosfor dan Kalium

1. Nitrogen (N)

Penguraian Nitrogen organik (protein) terjadi dengan dua proses amonifikasi dan nitrifikasi. Amonifikasi merupakan tahap saat N organik diubah menjadi amonium saat proses proteolisis dan aminifikasi. Proteolisis merupakan pelepasan amino dari bahan organik. Amonifikasi merupakan saat terjadinya reduksi N amono menjadi NH₃. Reaksi penguraian Nitrogen dapat dilihat sebagai berikut (Aditya dan Qoidani, 2017) :



Analisis kandungan unsur nitrogen dalam pupuk organik cair penting dilakukan agar mengetahui penetapan nitrogen pada protein. Struktur protein mengandung unsur nitrogen, sehingga berbeda dengan karbohidrat dan lemak, penentuan kandungan protein kasar dapat dilakukan dengan unsur nitrogen (Ispitasari dan Haryanti, 2022). Protein kasar adalah senyawa yang mengandung unsur nitrogen yang dapat dilakukan dengan metode Kjeldahl yang bertujuan untuk mengetahui

jumlah nitrogen total hasil perkalian analisis kadar nitrogen dengan faktor konversi 6,25 (Sylvia dkk., 2021). Prinsipnya yaitu dengan memecah (destruksi) bahan organik pada sampel menggunakan asam sulfat serta mempercepat reaksi menggunakan katalis (Ispitasri dan Haryanti, 2022).

Faktor yang mempengaruhi yaitu hasil nitrogen dalam pupuk dengan bentuk NH_3 dapat menguap ke udara akibat terjadinya metabolisme sel, terjadinya denitrifikasi menyebabkan pupuk kehilangan N dalam bentuk gas. Denitrifikasi dapat terjadi saat fermentasi dilakukan dalam keadaan anaerob yang tidak menyediakan oksigen. Kandungan mikroorganisme dalam pupuk juga akan mempengaruhi penurunan kadar nitrogen, karena mikroorganisme akan menggunakan bahan organik sebagai nutrisi untuk melakukan metabolisme (Hanafi dkk., 2023).

2. Fosfor (P)

Penguraian fosfor atau mineralisasi akan menguraikan P organik yaitu asam nukleat, fosfolipid, dan inositol fosfat menjadi H_2PO_4^- atau HPO_4^{2-} sebagai P terlarut yang dapat digunakan tumbuhan (Aditya dan Qoidani, 2017). Uji kandungan fosfor dilakukan dengan mendestruksi agar terjadi oksidasi senyawa organik dalam bahan yang digunakan sebagai POC. Campuran larutan amonium molibdovanadat ditambahkan berfungsi sebagai pembentuk kompleks berwarna dan uji kadar fosfor dilanjutkan dengan spektrofotometer UV-Vis (Syafri dkk., 2017).

Kadar fosfor pupuk organik cair dipengaruhi waktu fermentasi, semakin lama proses fermentasi akan mempengaruhi kadar fosfor.

Penurunan dapat disebabkan saat fermentasi berlangsung akan terjadi proses pembalikan yang menyebabkan pupuk kehilangan unsur hara fosfor. Faktor lainnya yaitu penambahan jumlah volume EM4, semakin tinggi volume EM4 maka dapat meningkatkan kadar fosfor, hal ini dipengaruhi oleh kandungan pelarut fosfat di dalam produk EM4 yang meningkatkan pelarutan fosfat dalam bahan organik (Widyabuningsih dkk., 2021). Bakteri pelarut fosfat dapat memanfaatkan ATP yang terbentuk pada awal proses fermentasi untuk proses pelarutan fosfat sebagai berikut Susilo (2021) :



3. Kalium (K)

Kandungan kalium akan dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme, ketika melakukan degradasi dapat memutus rantai karbon dalam bahan organik menjadi lebih sederhana sehingga terjadi peningkatan unsur kalium dalam pupuk (Wicaksono dan Rachmawati, 2022). Bakteri dapat menggunakan ion K^+ ketika bermetabolisme sehingga dapat meningkatkan kadar kalium (Widyabudiningsih dkk., 2021).

Kalium digunakan oleh mikroorganisme pada bahan substrat sebagai katalisator yang akan meningkatkan kecepatan reaksi kimia, dengan kehadiran bakteri. Penurunan kadar kalium dipengaruhi oleh aktivitas dekomposisi mikroorganisme dalam mengurai bahan organik

menggunakan kalium sebagai katalisator, karena mikroba selain merombak kalium juga menggunakan kalium untuk aktivitas metabolisme. Proses dekomposisi menyebabkan penurunan kadar kalium, namun merupakan proses alamiah untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Sebagian kalium dari bahan organik yang sudah digunakan sehingga tidak lagi tersedia dalam bentuk yang digunakan oleh tanaman (Syafri dkk., 2017).

F. Karakterisasi Bakteri

Isolasi bakteri merupakan pemisahan satu jenis bakteri dari mikroorganisme yang ditumbuhkan dalam media, tujuannya agar bakteri tidak bercampur dengan bakteri lain sehingga dapat diketahui biakan murni. Isolasi bakteri dilakukan untuk mengamati bentuk mikroba yang mengalami pertumbuhan. Teknik inokulasi digunakan dalam isolasi bakteri dengan cara melakukan pemindahan kultur tertentu yang berasal dari media lama ke media baru secara aseptis agar tidak terjadi kontaminasi mikroba yang tidak diinginkan. Prinsip isolasi yaitu pemisahan dengan menumbuhkan mikroorganisme pada media agar, dengan melakukan pengenceran (Jufri, 2020). Pengenceran merupakan tahap pertama yang dilakukan saat mengisolasi bakteri, pengenceran bertingkat dibuat 10^{-1} sampai 10^{-5} bertujuan untuk mengurangi dan memisahkan jumlah mikroorganisme dalam sampel (Azzahra dkk., 2021).

Pertumbuhan bakteri pada medium menunjukkan bahwa bakteri memperoleh nutrisi. Bakteri membutuhkan sumber nutrisi yaitu dari karbon

organik, sumber karbon anorganik nitrogen organik berbentuk protein, asam amino, unsur logam kalium, natrium, magnesium, air sebagai kebutuhan untuk bermetabolisme (Jufri, 2020). Penanaman kultur bakteri dilakukan menggunakan beberapa teknik, yaitu *spread plate*, *streak plate*, dan *pour plate*. Teknik *spread plate* disebut juga metode cawan sebar dilakukan untuk mengetahui perkiraan jumlah bakteri dalam satuan sel dengan cara menuang kultur bakteri di atas media agar yang telah memadat. Kultur yang sudah dituang lalu diratakan menggunakan *trigalski*. Kekurangan metode ini adalah saat meratakan kemungkinan terjadi kontaminasi sangat besar (Damayanti dkk., 2020).

Teknik *streak plate* (cawan gores) dilakukan untuk memperoleh koloni yang sudah terpisah dari koloni yang lain dengan membagi cawan petri menjadi 3-4 bagian (Arini, 2016). Kelebihan teknik *streak plate* adalah hasil koloni bakteri yang diperoleh adalah koloni tunggal, jika terjadi kontaminan dapat dengan mudah diamati dan dibedakan, dan goresan dalam media dapat dibuat dengan pola tertentu sehingga koloni dapat dihitung secara akurat (Dahlia dkk., 2017). Metode *pour plate* merupakan metode tuang yang dilakukan dengan menumbuhkan kultur pada media agar yang belum memadat bertujuan agar sel tersebar merata pada bagian permukaan dalam media agar. Kekurangan metode *pour plate* adalah beberapa sel dapat tumbuh menempel berdekatan sehingga hanya dapat dihitung menjadi satu koloni yang akan mempengaruhi hasil perhitungan. Perhitungan jumlah koloni bakteri secara

akurat dapat dilakukan jika bakteri tumbuh pada medium padat, membentuk koloni kompak, tidak menjalar (Damayanti dkk., 2020).

Hasil biakan murni dalam medium agar akan menghasilkan koloni murni yang akan diamati bentuk, warna, tepi dan permukaan koloni. Pengecatan Gram bertujuan mengetahui Gram bakteri berdasarkan permeabilitas dan dinding sel. Prinsipnya yaitu bakteri Gram positif tidak mengalami dekolerasi tetap mempertahankan warna dasar kristal violet (Pukhrambam, 2019). Bakteri Gram positif tersusun atas lapisan peptidoglikan yang tebal sehingga memiliki kemampuan menahan kristal violet (Dahlia dkk., 2017). Bakteri Gram negatif selama proses pengecatan akan berubah menjadi merah, terjadi karena lapisan peptidoglikan tipis, sehingga menggugurkan kristal violet sesudah pemberian alkohol dan menyerap warna dari *fuschin* (Pukhrambam, 2019).

Uji motilitas merupakan uji untuk menentukan pergerakan bakteri. Uji dilakukan dengan menusuk biakan ke dalam medium agar tegak. Pengamatan hasil dilakukan setelah masa inkubasi 37°C selama 24 jam, lalu diamati jenis pertumbuhan koloni jika menyebar disekitar tusukan dan berwarna keruh membuktikan bahwa bakteri bergerak (Damayanti dkk., 2020).

Katalase adalah enzim dalam proses katalisis penguraian hidrogen peroksida (H₂O₂) diubah O₂ dan air. Proses aerob akan membentuk hidrogen peroksida, yang mendukung fase pertumbuhan sehingga akan menguraikan zat toksik. Bakteri anaerob tidak obligat tidak memerlukan enzim, sehingga tidak memiliki kemampuan memproses enzim. Hasil positif uji katalase ditandai dengan terdapat gelembung oksigen dari hasil pemecahan H₂O₂ oleh enzim

katalase (Helgesen dkk., 2017). Hasil negatif uji katalase akan ditandai tidak terbentuk gelembung, dan merupakan bakteri Gram positif. Salah satu jenis bakteri yang tidak menghasilkan enzim katalase yaitu bakteri asam laktat (BAL) (Damayanti dkk., 2020).

Uji biokimia fermentasi karbohidrat bertujuan untuk mengidentifikasi bakteri yang dapat memfermentasi karbohidrat, hasil positif ditandai dengan terjadi perubahan warna ungu menjadi kuning dan terdapat pembentukan gelembung gas dalam tabung durham. Kemampuan bakteri untuk memfermentasi glukosa menunjukkan bahwa bakteri dapat membentuk asam dari fermentasi serta gelembung gas dipengaruhi adanya reaksi fermentasi karbohidrat (Panjaitan dkk., 2020). Uji reduksi nitrat dilakukan untuk mengetahui kecepatan bakteri melakukan denitrifikasi dalam mereduksi nitrat. Denitrifikasi merupakan proses perubahan nitrat menjadi nitrogen (N_2), proses ini berpengaruh pada siklus N sebagai reaksi mikrobial tanah dan limbah cair. Hasil positif bakteri denitrifikasi ditandai ciri medium hasil uji berwarna merah atau merah muda (Agustiyani dkk., 2018).

Uji indol merupakan uji untuk mengetahui kemampuan bakteri memecah triptofan asam amino menjadi senyawa Indol. Triptofan merupakan asam amino yang dapat mengalami proses hidrolisis oleh triptofanase untuk menghasilkan produk indol, amonia dan asam piruvat. Hasil positif ditandai terbentuk lapisan merah muda-merah yang disebabkan penambahan aldehida yang membentuk lapisan berwarna (Rifai, 2021). Hasil negatif menunjukkan bahwa bakteri tidak melakukan produksi enzim triptofanase sehingga lapisan

cincin berwarna merah muda pada permukaan biakan tidak terbentuk (Damayanti dkk., 2020).

G. Karakteristik Kapang Khamir

Kapang merupakan golongan fungi multiseluler yang memiliki filamen, dapat dengan mudah diamati karena memiliki hifa berserabut seperti kapas. Pertumbuhan kapang pada masa awal berwarna putih dan akan membentuk spora dengan berbagai warna sesuai dengan jenis kapang (Fardiaz, 1989). Kapang mampu tumbuh dalam kondisi substrat yang mengandung pektin, pati, protein, pada lingkungan dengan pH optimum 5-7. Kapang dapat hidup dalam limbah mempunyai pH dan kadar air rendah (Dewi dkk., 2014).

Khamir merupakan fungi bersel tunggal tanpa memiliki filamen, yang dapat tumbuh dan berkembang lebih cepat dibandingkan kapang (Fardiaz, 1989). Khamir dapat tumbuh karena memperoleh nutrisi seperti gula (Dion dan Purwantisari, 2020). Pertumbuhan khamir dipengaruhi kondisi nutrisi dan lingkungan dan nutrisi seperti terdapat gula sederhana, nitrogen, karbohidrat, dan oksigen. Khamir tumbuh dengan baik pada lingkungan dengan pH 4-5 (Dewi dkk., 2014).

Identifikasi kapang khamir dilakukan menggunakan media PDA (*Potato Dextrose Agar*) yang mendukung pertumbuhan jamur dengan pH yang rendah 4,5 hingga 5,6. Sampel yang akan diuji, diencerkan terlebih dahulu dengan seri bertingkat 10^{-1} hingga 10^{-3} . Metode isolasi yang digunakan yaitu metode *Pour Plate*, dengan penambahan medium PDA ke dalam petri yang sudah diisi oleh sampel pengenceran (Harvianto dkk., 2022).

H. Hipotesis

1. Konsentrasi terbaik pembuatan pupuk organik cair yang dibuat dari kombinasi keong mas dan limbah kubis yaitu sebesar 50% : 50%.
2. Pupuk organik cair yang dibuat dari kombinasi keong mas dan limbah kubis berpotensi memiliki jumlah koloni dan mikroorganisme yang dapat tumbuh, sesuai dengan SNI kandungan mikroorganisme dalam pupuk organik cair.

