

TESIS

**KARAKTERISASI *ECO-ENZYME* DARI LIMBAH SAYURAN DAN
APLIKASINYA DALAM MEREDUKSI GAS AMONIA PADA LIMBAH
FESES AYAM RAS PETELUR**

**CHARACTERIZATION OF *ECO-ENZYME* FROM VEGETABLE WASTE
AND ITS APPLICATION IN REDUCING AMMONIA GAS IN
LAYER HENS FECES**

OLEH :

**MUHAMMAD ARDAS DARUSLAM
I012222003**



**PROGRAM STUDI MAGISTER
ILMU DAN TEKNOLOGI PETERNAKAN
FAKULTAS PETERNAKAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TESIS

**KARAKTERISASI *ECO-ENZYME* DARI LIMBAH SAYURAN DAN
APLIKASINYA DALAM MEREDUKSI GAS AMONIA PADA LIMBAH
FESES AYAM RAS PETELUR**

Disusun dan Diajukan Oleh

**Muhammad Ardas Daruslam
I012222003**



**PROGRAM STUDI MAGISTER
ILMU DAN TEKNOLOGI PETERNAKAN
FAKULTAS PETERNAKAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TESIS

**KARAKTERISASI *ECO-ENZYME* DARI LIMBAH SAYURAN DAN
APLIKASINYA DALAM MEREDUKSI GAS AMONIA PADA LIMBAH
FESES AYAM RAS PETELUR**

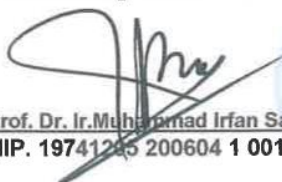
Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD ARDAS DARUSLAM
NIM. 1012222003

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Ilmu dan
Teknologi Peternakan Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 15 Juli 2024

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Muhammad Irfan Said, S.Pt., M.P., IPM., ASEAN Eng
NIP. 19741225 200604 1 001

Pembimbing Anggota



Dr. Ir. Nancy Lahay, MP.
NIP. 19591207 198703 2 001

**Ketua Program Studi
Ilmu dan Teknologi Peternakan**



Prof. Dr. Ir. Ambo Ako, M. Sc., IPU.
NIP. 19641231 198903 1 026

**Dekan Fakultas Peternakan
Universitas Hasanuddin**



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Ardas Daruslam
Nomor Induk Mahasiswa : I012222003
Program studi : Ilmu dan Teknologi Peternakan
Jenjang : Magister

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

KARAKTERISASI *ECO-ENZYME* DARI LIMBAH SAYURAN DAN APLIKASINYA DALAM MEREDUKSI GAS AMONIA PADA LIMBAH FESES AYAM RAS PETELUR

Adalah karya tulisan ini saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain. Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 22 Juli 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Ardas Daruslam

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadiran ALLAH SWT, karena atas berkah dan rahmat-NYA, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Dalam Tesis ini, Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada segenap pihak yang telah banyak memberikan bantuan dan motivasi dalam penyelesaian Tesis ini, terutama kepada:

1. Kedua Orang Tua tercinta, Ayahanda **H. Manrampasi SP** dan Ibunda tercinta **Hj. Mariana SP** yang selalu mendoakan dan memberikan dorongan selama pendidikan di Universitas Hasanuddin.
2. **Dr. Syahdar Baba, S.Pt., M.si**, selaku Dekan Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin.
3. **Prof. Dr. Ir. Ambo Ako, M.Sc**, selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu dan Teknologi Peternakan Universitas Hasanuddin.
4. **Prof. Dr. Ir. Muhammad Irfan Said, S.Pt., M.P, IPM., ASEAN Eng**, sebagai pembimbing utama dan **Dr. Ir. Nancy Lahay, MP**, selaku pembimbing anggota yang telah banyak meluangkan waktunya untuk mendidik, membimbing, mengarahkan dan memberikan nasihat serta motivasi selama penyusunan Tesis ini
5. Teman-teman ITP 2022-II yang membantu dan memberi semangat serta semua pihak yang turut andil dalam penyusunan Tesis ini dan tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, penulis ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa keberadaan Tesis ini masih banyak kekurangan. Hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan Penulis. Untuk

itu Penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Tesis ini. Mudah-mudahan Tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua terutama bagi penulisnya.

Makassar, 22 Juli 2024



Penulis

ABSTRAK

MUHAMMAD ARDAS DARUSLAM. I012222003. Karakterisasi Eco-Enzyme dari Limbah Sayuran dan Aplikasinya dalam Mereduksi Gas Amonia pada Limbah Feses Ayam Ras Petelur. Dibimbing oleh : **Muhammad Irfan Said dan Nancy Lahay.**

Gas amonia merupakan salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik *eco-enzyme* (Ec-En) yang dihasilkan dari 2 jenis limbah sayuran yang berbeda dan mengkaji rasio Ec-En yang optimal sebagai pereduski gas amonia pada feses unggas (ayam ras petelur). 2 jenis objek penelitian yang dievaluasi adalah limbah sayuran Kangkung (Ka) dan Bayam (Ba) serta kombinasi keduanya (Ka+Ba). Rancangan penelitian menggunakan RAL faktorial yang terdiri dari pengenceran Ec-En, yaitu: P0 = tanpa Ec-En (kontrol); P1 = 100% Ec-En + 0% air (v/v), P2 = 90% Ec-En + 10% air (v/v) dan P3 = 80% Ec-En + 20% air (v/v). Waktu inkubasi yaitu : T0 = 0 menit; T1 = 15 menit dan T2 = 30 menit. Hasil penelitian tahap pertama menunjukkan bahwa perbedaan jenis limbah sayuran menghasilkan karakteristik yang berbeda. Ec-En Ba dan Ka beserta kombinasinya (Ka+Ba) menunjukkan pH (<4), aktivitas enzim protease (0,3835-0,4259 U/mL) dan total Bakteri Asam Laktat (BAL) (5,5-6,00 log CFU/mL). Hasil penelitian tahap kedua menunjukkan P1T1 menunjukkan hasil amonia terendah (9,77 ppm) dibandingkan dengan P2T1 (19,37 ppm), dan P3T1 (21,70 ppm). Hasil penelitian disimpulkan bahwa perlakuan P1T1 (100% Ec-En + 0% air (v/v), waktu fermentasi 15 menit) adalah menghasilkan gas amonia yang terendah (9,77 ppm).

Kata Kunci: Amonia, *eco-enzyme*, feses ayam petelur, limbah sayuran

ABSTRACT

MUHAMMAD ARDAS DARUSLAM. I012222003. Characterization of Eco-Enzyme from Vegetable Waste and Its Application in Reducing Ammonia Gas in Layer Hens Feces. Supervised by: **Muhammad Irfan Said** and **Nancy Lahay**.

Ammonia gas is one of the contributors to greenhouse gas emissions (GHE). This research aims to evaluate the characteristics of eco-enzyme (Ec-En) produced from 2 different types of vegetable waste and examine the optimal ratio of Ec-En as a reducer of ammonia gas in poultry feces (layer hens). Two types of research objects were evaluated, namely: vegetable waste, Kale (Ka) and Spinach (Ba) and their combination (Ka+Ba). The research design used factorial RAL consisting of Ec-En dilution namely: P0 = without Ec-En (control); P1 = 100% of Ec-En + 0% water (v/v), P2 = 90% of Ec-En + 10% water (v/v) and P3 = 80% of Ec-En + 20% water (v/v). Incubation time namely: T0 = 0 minutes; T1 = 15 minutes and T2 = 30 minutes. The results of the first stage of research show that different types of vegetable waste produce different characteristics. Ec-En Ba dan Ka and their combination (Ka+Ba) showed pH (<4), protease enzyme activity (0.3835-0.4259 U/mL) and total Lactate Acid Bacteria (LAB) (5.5-6.00 log CFU/mL). The results of the second phase of research showed that P1T1 showed the lowest ammonia yield (9,77 ppm) compared to P2T1 (19,37 ppm), and P3T1 (21,70 ppm). The research results concluded that P1T1 treatment (100% Ec-En + 0% air (v/v), fermentation time 15 minutes) is to produce the lowest ammonia gas (9,77 ppm).

Keywords: Ammonia, eco-enzyme, layer hens feces, vegetable waste.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGAJUAN TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Kegunaan Penelitian	4
BAB II TINJUAN PUSTAKA	5
A. Ayam Ras Petelur	5
B. Amonia	7
C. <i>Eco-enzyme</i>	7
D. Limbah Organik	11
E. Kerangka Pikir	18
F. Hipotesis	19
BAB III METODE PENELITIAN	20
A. Waktu dan Tempat Penelitian	20
B. Materi Penelitian	20
C. Prosedur Pelaksanaan	21
D. Prosedur Penelitian	22
E. Tahapan Penelitian	26
F. Analisis Data	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28

A. Tahap Pertama.....	28
B. Tahap Kedua.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
PEMBAHASAN UMUM	47
DAFTAR PUSTKA	49
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan Kangkung Darat (<i>Ipomoea reptans Poir</i>).....	15
Tabel 2. Kandungan Bayam Hijau (<i>Amaranthus hybridus L.</i>).....	17

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perbandingan Bahan Dasar Pembuatan Ec-En	9
Gambar 2. Kangkung Darat (<i>Ipomoea reptans Poir</i>)	14
Gambar 3. Bayam Hijau (<i>Amaranthus hybridus L.</i>)	16
Gambar 4. Kerangka Pikir.....	18
Gambar 5. Desain Proses Penerapan Ec-En.....	25
Gambar 6. Tahapan Penelitian	26
Gambar 7 Perbandingan nilai pH Ec-En	28
Gambar 8. Perbandingan aktivitas enzim protease Ec-En	30
Gambar 9. Perbandingan jumlah Bakteri Asam Laktat (BAL) Ec-En	32
Gambar 10. Perubahan produksi gas amonia (ppm)	35
Gambar 11. Perubahan kinetika suhu (°C).....	40
Gambar 12. Perubahan kinetika kelembaban (%)	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tata Letak Desain Penelitian	62
Lampiran 2. Hasil Uji Lab pH Ec-En.....	63
Lampiran 3. Hasil Uji Lab Aktivitas Enzyme Protease Ec-En	64
Lampiran 4. Hasil Uji Lab Total BAL Ec-En.....	65
Lampiran 5. Perhitungan Gas Amonia (ppm).....	66
Lampiran 6 Perhitungan Suhu (°C).....	67
Lampiran 7. Perhitungan Kelembaban (%).....	68
Lampiran 8. Hasil Analiis Perhitungan SPSS Gas Amonia (ppm).....	69
Lampiran 9. Hasil Analiis Perhitungan SPSS Suhu°C.....	73
Lampiran 10 Hasil Analiis Perhitungan SPSS Kelembaban (%).....	75
Lampiran 11 Dokumentasi Produksi Ec-En.....	77
Lampiran 12 Dokumentasi Pengaplikasian Ec-En pada Feses.....	79
Lampiran 13 Riwayat Hidup Penulis.....	80

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

United states Environmental protection agency (EPA), melaporkan bahwa penyumbang emisi Gas Rumah Kaca (GRK) global berdasarkan aktivitas ekonomi yaitu, transportasi 15%, produksi listrik dan panas 34%, bidang industri dan energi 24%, bangunan 6%, bidang pertanian, peternakan, kehutanan, dan penggunaan lahan lainnya 22% dari emisi GRK global tahun 2019. *Indonesia First Biennial Update Report* (1st BUR), melaporkan bahwa total emisi GRK dari semua sektor mengalami peningkatan sekitar 3,6% /tahun, salah satunya dari sektor peternakan.

Gas Amonia, merupakan gas yang berbahaya pada konsentrasi tinggi dengan waktu kontak yang lama. Amonia merupakan penyumbang Emisi Rumah Kaca (GRK) (Kang *et al.*, 2016). Pencemaran gas amonia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya industri peternakan khususnya unggas (Kementerian Pertanian, 2014). Peningkatan polusi ini berdampak besar terhadap kesehatan manusia sehingga perlu dilakukan upaya untuk menguranginya. Data menunjukkan terjadi peningkatan populasi unggas khususnya ayam ras petelur. Pada tahun 2020, jumlah populasi sebanyak 345,181 juta ekor, meningkat menjadi 368,190 juta ekor pada tahun 2021 (BPS, 2022) menghasilkan limbah feses sebesar 0,06-0,15 kg/ekor/hari. Setiap 100 g feses akan menghasilkan gas amonia sebesar 0,54 ppm. Jika

ditotal, potensi produksi gas amonia mencapai 298,557 miliar ppm/hari. Jika proses penanganannya tidak tepat tentu dapat menimbulkan ancaman bagi lingkungan.

Gas amonia dikenal sebagai polutan yang sangat berbahaya pada tingkat konsentrasi yang tinggi. Selain pada ternak, gas amonia juga dapat menyebabkan keracunan pada tanaman (Luesink and Michels, 2018). Dampak amonia juga ternyata sangat merugikan kesehatan manusia. Dampak amonia terhadap kesehatan manusia telah banyak dipelajari oleh (Justiani, 2021) serta terhadap lingkungan (Wang *et al.*, 2019). Beberapa penelitian terbaru telah dikembangkan untuk mengurangi emisi termasuk penggunaan teknologi pemurnian udara yang canggih dan strategi pengelolaan limbah yang lebih efisien.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi tersebut tidak efisien dan berdampak negatif terhadap lingkungan, solusi yang ditawarkan adalah menggunakan teknologi enzim dengan penerapan *eco-enzyme* (Ec-En). *Eco-enzyme* merupakan enzim alami berbentuk cairan yang dihasilkan dari bahan alami (tumbuhan) melalui proses fermentasi. Proses ini bisa memakan waktu tiga bulan. Enzim ini dihasilkan dari beberapa bahan seperti: gula, sampah organik, dan air, dengan perbandingan (1:3:10) (Nazim dan Meera, 2015). *Eco-enzyme* bertindak sebagai agen remediasi yang efektif dengan memanfaatkan enzim dan mikroorganisme aktif yang dihasilkan selama proses fermentasi untuk mendegradasi polutan berbahaya. Enzim ini kaya mikroorganisme seperti bakteri asam laktat

(*Lactobacillus* dan *Leuconostoc*) dan sejenis ragi (*Pichia* dan *Candida*) (Tong, 2011 dan Win 2011).

Beberapa bahan alami telah dikembangkan untuk menjadi sumber bahan baku produksi *eco-enzyme*. Salah satunya adalah limbah tanaman sayuran khususnya kangkung darat (Ka) dan bayam hijau (Ba). Utami *et al.*, (2020) dan Sihite (2024) melaporkan bahwa kangkung dan bayam memiliki kandungan protein, vitamin A dan C, mineral, dan flavonoid yang tinggi sehingga berpotensi dijadikan bahan bakunya.

Hal ini menunjukkan pentingnya peran limbah sayuran sebagai sumber enzim. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik *eco-enzyme* yang dihasilkan dari 2 jenis limbah sayuran kangkung dan bayam dan mengkaji sifat-sifatnya. Rasio optimal *eco-enzyme* dapat diaplikasikan pada feses ayam ras petelur sebagai pereduksi gas amonia.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi hasil karakterisasi Ec-En yang diproduksi dari limbah sayuran yang berbeda.
2. Mengevaluasi rasio pengenceran Ec-En yang optimal dari limbah feses ayam ras petelur.

D. Kegunaan Penelitian

Adapun kegunaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber informasi bagi masyarakat dan pembaca terkait hasil karakterisasi Ec-En yang diproduksi dari limbah sayuran yang berbeda.
2. Sumber informasi bagi masyarakat dan pembaca terkait rasio pengenceran Ec-En yang optimal dari limbah feses ayam ras petelur.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Ayam Ras Petelur

Ayam petelur adalah ayam betina dewasa yang dipelihara khusus untuk diambil telurnya. Asal mula unggas ayam adalah berasal dari ayam hutan dan itik liar (Zulfikar, 2013). Ayam petelur adalah ayam yang diternakan untuk menghasilkan telur dalam jumlah banyak dan merupakan produk akhir dari ayam ras dan tidak harus disilangkan balik (Sudaryani dan Santosa, 2000). Klasifikasi ayam (*Gallus gallus*) berdasarkan Rasyaf (2003) diklasifikasikan sebagai Kingdom *Animalia* dan Spesies *Gallus gallus*. Untuk informasi lebih lanjut Scanes *et al.*, (2004), menjelaskan klasifikasi ayam sebagai berikut:

Filum : Chordata
Subfilum : vertebrata
Kelas : Aves
Superordo : Carinatae
Ordo : Galliformes
Famili : Phasianidae
Genus : Gallus
Spesies : *Gallus gallus*

Komoditas yang dihasilkan oleh ayam petelur kaya akan nutrisi penting yang dibutuhkan oleh tubuh, seperti protein, vitamin A, D, E dan B, fosfor dan zinc serta harganya relatif murah, sehingga menjadikan

komoditas telur ayam ini sangat diminati oleh masyarakat (Kurniawan dkk., 2013). Ayam petelur unggul yang ada di Indonesia antara lain *Isa Brown* (Zulfikar, 2013).

Ayam ras petelur strain *Isa Brown* ialah jenis ayam hibrida unggulan hasil persilangan dari ayam jenis *Rhode Island Red* dan *White Leghorns* (Ardana, 2009). Strain *Isa Brown* merupakan tipe ayam petelur medium, memiliki bobot tubuh di antara ayam petelur ringan dan ayam broiler yaitu 2,015 gram. Ayam ini merupakan ayam tipe dwiguna karena menghasilkan daging dan telur yang banyak. Selain itu, ayam *Isa Brown* memiliki bulu berwarna cokelat sehingga disebut ayam petelur cokelat (Zulfikar, 2013).

Ayam petelur membutuhkan pakan yang mengandung protein yang tinggi untuk menghasilkan kualitas telur yang baik. Asam amino yang terkandung dalam pakan memiliki peran penting dalam produksi telur (Fristantiet dkk., 2016). Pakan komersil mengandung berbagai asam amino dalam jumlah yang cukup sehingga mampu mengoptimalkan produksi telur yang dihasilkan (Purwanto dkk., 2020).

Produksi amonia (NH_3) sangat erat kaitannya dengan efisiensi penyerapan zat makanan khususnya protein dan asam amino. Protein yang tidak terserap dari saluran pencernaan akan dikonversi menjadi urine acid yang kemudian diekskresikan bersama feses. Tingginya jumlah bakteri *ulicolitik* dibandingkan bakteri *anaerobic* dalam urine menyebabkan proses dekomposisi dalam urine acid berlangsung sangat cepat yang menghasilkan amonia (NH_3) (Hendalia, 2012).

B. Amonia

Amonia merupakan hasil dekomposisi nitrogen oleh mikroba patogen dalam ekskreta termasuk asam urat, asam amino, peptida, dan protein yang tidak terserap (Widodo dkk., 2009). Senyawa ini beracun dan dapat memicu eutrofikasi jika terakumulasi dalam jumlah besar. Limbah ini umum ditemukan dalam feses dan urine.

Kadar amonia yang tinggi dalam kandang ayam, yang berpotensi mencapai 25 ppm, dikaitkan dengan penurunan kesehatan dan produktivitas ayam, serta meningkatnya angka kematian (Renata dkk., 2018). Amonia terbentuk dari pakan tinggi protein yang tidak tercerna, memicu reaksi kimia yang menghasilkan lebih banyak amonia, yang juga membahayakan pekerja kandang (Yusrizal dkk., 2012).

Pengendalian amonia sangat penting. Konsentrasi yang direkomendasikan di dalam kandang adalah maksimal 25 ppm, sesuai dengan ambang batas aman untuk manusia selama 8-10 jam (Ritz *et al.*, 2004). Kondisi ini dapat diperburuk oleh akumulasi ekskreta di area terbuka, yang merupakan sumber utama pencemaran amonia (Bittman and Mikkelsen, 2009).

C. Eco-Enzyme

Eco-enzyme adalah produk hasil fermentasi kulit buah dan sayur, molase, dan air (Hemalatha and Visantini, 2020). Inovasi ini ditemukan oleh Dr. Rosukon Poompanvong yang berasal dari Negara Thailand berdasarkan hasil penelitiannya mengenai pengelolaan sampah makanan

menjadi enzim ramah lingkungan (Chelliah and Palani, 2015). *Eco-enzyme* dalam bahasa Indonesia disebut juga dengan Eko-enzim yang merupakan larutan organik kompleks yang terbuat dari bahan dasar limbah organik yang difermentasi dengan gula dan air (Rochyani dkk., 2020). *Eco-enzyme* dapat disebut sebagai produk fermentasi yang diperoleh dari limbah dapur (limbah sayur dan buah), seperti sayuran atau kulit buah dan ampasnya.

Menurut Win (2011), enzim pada larutan *eco-enzyme* berasal dari aktivitas mikroorganisme aktif yang terdapat pada molase dan secara alami terdapat pada kulit buah yang digunakan dan diproduksi selama proses fermentasi. *Eco-enzyme* memiliki ciri fisik berwarna kuning kecokelatan tua dan aroma segar karena hasil fermentasi lengkap yang ditandai dengan ciri khas aroma kuat, segar dan asam (Mahdia dkk., 2022). Menurut Arun dan Sivashanmugam (2015), penelitian dan produksi *eco-enzyme* memiliki peran yang sangat penting terutama dalam bidang lingkungan, pembuatan produk ini hanya membutuhkan air, gula sebagai sumber karbon, serta limbah organik sayur dan buah (Win, 2011) takaran pembuatan *eco-enzyme* dapat dilihat pada Gambar 1. Selama proses fermentasi *eco-enzyme*, akan dihasilkan ozon dan oksigen yang setara dengan dihasilkan oleh 10 pohon. Cairan *eco-enzyme* merupakan produk yang sangat fungsional, mudah digunakan, dan mudah untuk diproduksi. Selama bulan pertama fermentasi, alkohol dilepaskan, itulah sebabnya larutan *eco-enzyme* berbau alkohol.



Gambar 1. Perbandingan Bahan Dasar Pembuatan *eco-enzyme*

Setelah fermentasi, hasil fermentasi *eco-enzyme* memiliki aktivitas mikroba yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan mikroba patogen (Arifin *et al.*, 2009). *Eco-enzyme* mampu memproduksi enzim-enzim tertentu yang dapat mencegah bakteri patogen. Menurut Galintin *et al.*, (2021) *eco-enzyme* mengandung enzim protease, lipase dan amilase. Kandungan tersebut menjadikan *eco-enzyme* banyak digunakan untuk mengolah limbah organik seperti feses unggas yang mengandung karbohidrat, lipid, dan protein (Soleha *et.,al* 2023).

Amilase merupakan enzim yang mampu mengkatalis proses hidrolisis pati berupa karbohidrat untuk menghasilkan molekul lebih sederhana seperti glukosa, maltosa, dan maltotriosa (Lestari *et al.*, 2013). Amilase dapat ditemui pada berbagai makhluk hidup seperti manusia, mikroorganisme dan jamur. Salah satu jenis mikroorganisme yang menghasilkan aktivitas enzim amilase adalah bakteri asam laktat (Setiarto dkk., 2015).

Bakteri asam laktat dalam menghasilkan aktivitas enzim amilase didukung oleh kondisi lingkungan meliputi pH, suhu, substrat dan waktu

inkubasi (Hattingh *et al.*, 2015). Amilase aktif bekerja pada pH <4 (asam), dengan suhu 40 - 50°C (Ramadhan dan Wikandari 2021), dan kelembaban 50-70%. Lipase berperan menghidrolisis lipid (lemak) menjadi asam lemak dan gliserol. Enzim ini juga dapat ditemui pada berbagai makhluk hidup seperti manusia, mikroorganisme dan jamur. Salah satu jenis mikroorganisme penghasil lipase adalah bakteri asam laktat. Lipase berasal dari mikroorganisme aktif bekerja pada pH pada 5,5 – 8 dengan suhu 30°C-51°C (Lestari *et al.*, 2016) dan kelembaban 60 hingga 80% (Nema *et al.*, 2019).

Protease merupakan enzim yang menghidrolisis protein menjadi asam amino dan peptida sederhana. Enzim ini digunakan untuk mengolah berbagai bentuk limbah, termasuk limbah padat, cair, yang berbahaya. Selain itu, protease juga membantu degradasi limbah dengan mengubah molekul kecil limbah menjadi bentuk sederhana yang dapat dimanfaatkan oleh organisme lain untuk aktivitas metabolisme, sehingga membantu menurunkan kebutuhan oksigen biologis. Enzim protease berperan sebagai molekul protein pada Ec-En (Anonymous, 2024; Rasit *et al.*, 2019). Lebih lanjut Husain *et al.*, (2008) : Rasit *et al.*, (2019) mengatakan bahwa enzim protease bekerja dengan mengubah substrat menjadi senyawa yang tidak larut menjadi zat yang lebih mudah larut dan terurai. Hal ini telah dibuktikan dengan studi Parmar *et al.*, (2001) enzim protease mempunyai peran yang signifikan dalam mengurangi jumlah padatan lumpur pada budidaya.

Fermentasi adalah proses terjadinya penguraian senyawa-senyawa organik untuk menghasilkan energi serta terjadi perubahan substrat menjadi produk baru yang dilakukan bakteri asam laktat (Madigan *et al.*, 2011), dalam proses fermentasi glukosa dirombak untuk menghasilkan asam piruvat. Asam piruvat dalam kondisi anaerob akan mengalami penguraian oleh piruvat dekarboksilase menjadi *asetaldehid*, selanjutnya *asetaldehid* diubah oleh alkohol *dehydrogenase* menjadi etanol dan karbondioksida, dimana bakteri *Acetobacter* akan merubah alkohol menjadi *asetaldehid* dan air, yang selanjutnya *asetaldehid* akan diubah menjadi asam asetat (Madigan, 2002 dalam Atmanegara, dkk., 2015).

Dalam proses fermentasi BAL menghasilkan bakteriosin. Bakteriosin merupakan protein yang dihasilkan oleh bakteri asam laktat yang dapat menekan pertumbuhan berbagai patogen. Asam laktat dapat terbentuk melalui proses fermentasi yang berlangsung dengan adanya aktivitas bakteri asam laktat yaitu *Lactobacillus* yang berlangsung secara spontan dan terjadi secara alamiah dengan memperhatikan kondisi lingkungannya yaitu anaerobik (Perdana dkk., 2021). BAL merupakan kelompok bakteri yang diketahui mampu bertahan terhadap anti mikroba yang dihasilkan oleh mikroba lain khususnya bakteri patogen.

D. Limbah Organik

Limbah organik merupakan limbah yang dapat diuraikan secara sempurna melalui proses biologi baik aerob maupun anaerob. Limbah organik yang dapat diurai melalui proses biologi mudah membusuk, seperti

sisanya, sayuran, potongan kayu, daun-daun kering, dan sebagainya. Limbah organik dapat mengalami pelapukan (dekomposisi) dan terurai menjadi bahan kecil dan berbau (Latifah, 2011).

Limbah organik umumnya berasal dari zat-zat atau benda-benda dari hasil kegiatan manusia seperti daun kering, sisa makanan (sayur-sayuran dan buah-buahan) yang sudah tidak dapat digunakan lagi. Menurut Purwendro dan Nurhidayat (2006), sumber limbah dapat berasal dari kegiatan domestik, pasar, perkantoran, restoran, industri atau kegiatan manusia lainnya.

Kurangnya pengolahan limbah menjadi masalah yang sering terjadi diseluruh wilayah Indonesia. Masalah tersebut disebabkan oleh berbagai faktor, seperti tidak adanya penanganan limbah dengan baik (terutama limbah rumah tangga), keterbatasan lahan TPA, minimnya kesadaran masyarakat untuk mengelola sampah, serta keterbatasan kapabilitas pemerintah daerah dalam hal pendanaan (Krisnani dkk., 2017).

Sayur merupakan salah satu hasil pertanian, biomassa sayuran begitu melimpah. Produksi sayur (primer) di dunia ditaksir oleh (*Food and Agriculture Organization (FAO) of The United Nations*, 2013) sebanyak 1.106.133.866 ton per tahun. FAO (Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jendral Hortikultura, 2013) memperkirakan produksi sayur di Indonesia mencapai 10.507.836 ton per tahun. Banyaknya produksi sayur di Indonesia menjadikan potensi produksi limbah jika tidak diolah.

Beragam teknologi telah diterapkan untuk mengolah limbah sayuran, akan tetapi, umumnya masyarakat masih menggunakan teknik tradisional yang kurang ramah lingkungan yaitu menumpuknya di TPA. Menurut Junaidi dkk., (2021), salah satu teknik pengolahan limbah organik yang akhir-akhir ini banyak diaplikasikan masyarakat karena mudah, tidak memerlukan lahan yang luas, dan wadah dengan spesifikasi tertentu yaitu teknik pembuatan Ec-En. Namun kesadaran masyarakat terhadap pemanfaatan limbah tersebut masih rendah, padahal baik kulit buah maupun limbah sayur memiliki potensi untuk dimanfaatkan menjadi produk-produk yang berguna untuk mengatasi permasalahan di lingkungan, salah satu contohnya yaitu sebagai bahan dasar pembuatan cairan *eco-enzyme* (Maula dkk., 2020).

1. Kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*)

Kangkung banyak dijumpai di Asia dan berasal dari India dan meluas ke negara-negara Asia, salah satunya adalah Indonesia. Dapat dilihat pada Gambar 2. Kangkung merupakan tanaman yang kaya akan nutrisi esensial yang meliputi vitamin, mineral, dan antioksidan, yang menjadikannya pilihan yang baik untuk pembuatan *eco-enzyme*. Khususnya, kangkung darat memiliki kandungan vitamin A yang tinggi, yang dikenal dengan aktivitas antioksidannya (Dedi, dkk., 2017).



Gambar 2. Kangkung darat (Ka) (*Ipomoea reptans Poir*)
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Klasifikasi tanaman kangkung darat menurut (Helminawati, 2011),

yaitu:

Regnum : Plantae

Divisio : Magnoliophyt

Classis : Magnoliopsida

Ordo : Solanales

Familia : Convolvulaceae

Genus : Ipomoea

Spesies : *Ipomoea reptans Poir* (Sentosa, 2008).

Kangkung darat juga kaya akan mineral seperti zat besi, magnesium, dan kalsium, yang penting dalam mendukung kegiatan enzimatik mikroba selama pembuatan *eco-enzyme*. Kehadiran mineral ini meningkatkan keefektifan fermentasi, yang esensial untuk produksi *eco-enzyme* yang stabil dan efisien. Walaupun air umumnya tidak dianggap sebagai komponen nutrisi, tetapi penting sebagai medium terjadinya reaksi biokimia dalam proses sintesis komponen sel dan energi bagi BAL (Ray dan Bhunia, 2014). Serat dalam kangkung darat memainkan peran kunci dalam proses fermentasi, memberikan media yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme. Kandungan air yang cukup juga penting dalam mendukung

reaksi biokimia yang terjadi selama fermentasi. Air digunakan oleh mikroba sebagai medium transportasi nutrisi ke dalam sel, membuang metabolit ke luar sel, tempat berlangsungnya reaksi enzimatik, medium sintesis komponen seluler, dan berperan membantu proses biokimia seperti hidrolisis polimer menjadi monomer. *Eco-enzyme* yang dihasilkan dari fermentasi kangkung darat memberikan potensi aplikasi yang luas, termasuk sebagai agen pembersih yang ramah lingkungan.

Kangkung memiliki kandungan nutrisi yang sangat tinggi. Kandungan gizi dalam 100 gram kangkung dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan kangkung (*Ipomoea reptans Poir*) per 100 gram.

Komponen	Komposisi
Kalori	36 Kal
Energi	29 Kal
Protein	3 g
Lemak	0,3 g
Karbohidrat	5,4 g
Serat	1 g
Kalsium	73 mg
Vitamin A	6,300 iu
Vitamin C	80 mg
Vitamin B1	0,06 mg
Fosfor	50 mg
Besi	2,5 mg
Air	89,7 g

Sumber: (Wildan, 2017).

2. Bayam Hijau (*Amaranthus hybridus L*)

Bayam hijau (*Amaranthus hybridus L*) termasuk sayuran yang sangat kaya nutrisi, diketahui mengandung vitamin C, mineral, antioksidan dan kalsium yang tinggi (Sharma dan Agarwal, 2014). Vitamin C dalam bayam

hijau berperan penting sebagai antioksidan dalam proses fermentasi, membantu mengurangi oksidasi dan meningkatkan stabilitas enzim yang dihasilkan. Dapat dilihat pada Gambar 3. Wahyuni, (2018) mengatakan protein yang terkandung dalam bayam hijau sebesar 3,5 g lebih besar dibandingkan bayam merah yakni sebesar 2,2 g yang berpotensi sebagai sumber nitrogen yang esensial untuk mikroorganisme terutama BAL yang terlibat dalam pembuatan *eco-enzyme*.



Gambar 3. Bayam Hijau (*Amaranthus hybridus L.*)
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Klasifikasi Bayam (*Amaranthus hybridus L.*) menurut (Saparinto, 2013):

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Caryophyllales
Famili : Amaranthaceae
Genus : Amaranthus
Spesies : *Amaranthus hybridus L.*

Tingginya kandungan protein bayam menjadi faktor penting yang meningkatkan aktivitas enzim protease pada *eco-enzyme*, disisi lain bayam juga mengandung flavonoid yang tinggi (Nana et al., 2012). Flavonoid memiliki sifat antioksidan yang kuat, yang membantu melindungi sel dan

enzim dari kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh radikal bebas (Prochazkova *et al.*, 2011).

Kandungan gizi dalam 100 gram bayam dapat dilihat pada Tabel 2.

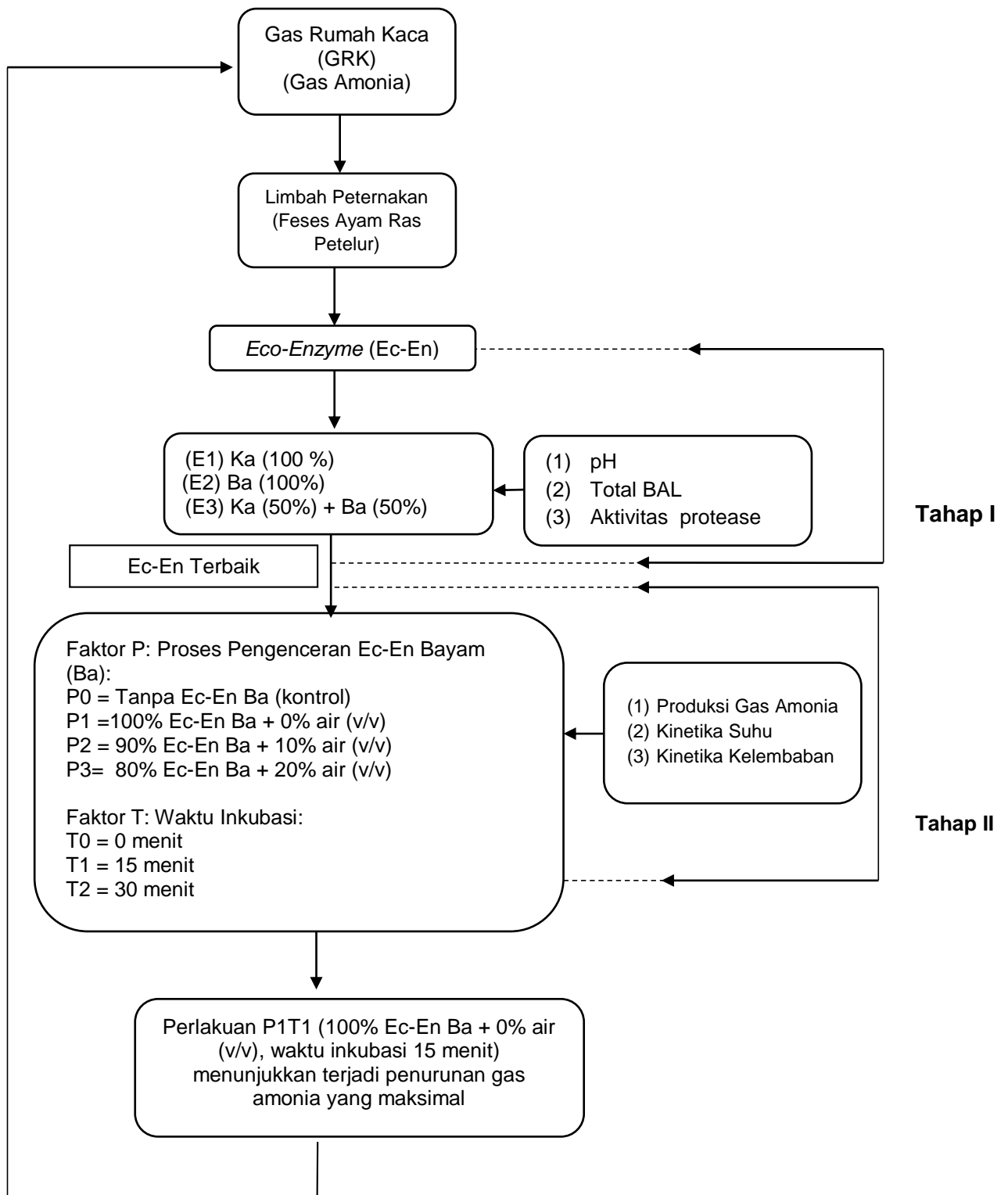
Tabel 2. Kandungan Bayam (*Amaranthus hybridus L.*)

Komponen	Komposisi
Kalori	36 Kal
Energi	92 Kal
Protein	3,5 g
Lemak	0,5 g
Karbohidrat	6,5 g
Serat	2,7 g
Kalsium	267 mg
Potasium	259 mg
Vitamin A	6,090 mg
Vitamin C	80 mg

Sumber: Santoso dkk., (2018)

Hal ini penting karena proses fermentasi dan degradasi amonia dapat menghasilkan radikal bebas yang merusak struktur seluler dan fungsi enzim. Selain itu, flavonoid juga berperan sebagai anti bakteri. Antibakteri merupakan zat yang berfungsi membunuh atau menekan pertumbuhan dan reproduksi bakteri patogen. Wu *et al.*, (2013) melaporkan bahwa flavonoid dapat menghambat bakteri patogen seperti *Escherichia coli* penghasil bau busuk. Flavonoid juga dapat mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroba yang berperan dalam proses bioremediasi amonia. Hal ini sejalan dengan studi Xiang *et al.*, (2022) flavonoid dapat bertindak sebagai substrat pertumbuhan mikroba menguntungkan fermentasi. Hal ini menjadikan bayam sebagai bahan yang sangat berguna dalam pengembangan produk *eco-enzyme* yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

E. Kerangka Pikir



Gambar 4. Skema Kerangka Pikir Penelitian

F. Hipotesis

1. Ec-En yang diproduksi dari limbah sayuran yang berbeda menghasilkan karakteristik yang berbeda.
2. Perbedaan penerapan rasio Ec-En menghasilkan kemampuan mereduksi gas amonia yang berbeda.