

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI UREOLITIK ASAL KOLAM  
AERASI PADA PROSES INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
(IPAL) DI PT. JUANG JAYA ABDI ALAM LAMPUNG SELATAN**

**(SKRIPSI)**

**Oleh**

**MEIDA CLARA ENINA  
NPM 2117021077**



**PROGRAM STUDI S-1 BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2025**

## ABSTRAK

### ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI UREOLITIK ASAL KOLAM AERASI PADA PROSES INSTALASI PENGOLAHAN AIR (IPAL) DI PT. JUANG JAYA ABDI ALAM LAMPUNG SELATAN

Oleh

MEIDA CLARA ENINA

Pencemaran lingkungan akibat limbah peternakan sapi di PT. Juang Jaya Abdi Alam, Lampung Selatan menjadi salah satu masalah yang membutuhkan penanganan segera. Limbah cair peternakan sapi mengandung konsentrasi urea tinggi yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Salah satu komponen dalam limbah cair peternakan adalah urea, urea yang terkandung dalam urine sapi merupakan salah satu senyawa organik nitrogen yang dominan dalam limbah peternakan. Kandungan urea yang tinggi dalam limbah dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi dan peningkatan kadar amonia. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri ureolitik dari kolam aerasi pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. Juang Jaya Abdi Alam, Lampung Selatan yang dilakukan pada bulan Desember 2024-Februari 2025 di Laboratorium Mikrobiologi PT. Juang Jaya Abdi Alam Lampung Selatan. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif yang meliputi pengambilan sampel air limbah, isolasi bakteri, uji aktivitas enzim urease, serta karakterisasi morfologi, mikroskopis dan fisiologi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa didapati 6 isolat bakteri ureolitik dengan kemampuan menghidrolisis urea dengan baik. Keenam isolat berbentuk irregular, circular dengan elevasi flat dan umbonate. Warna koloni putih dan krem dengan tepi undulate, lobaic dan entire. Keenam isolat memiliki bentuk sel *bacil*, *coccus* dan *coccobacil* serta keenam isolat memiliki sifat Gram positif; isolat CLR9.3, CLR9.4, dan CLR15.4 memiliki spora; mampu memfermentasikan laktosa kecuali CLR9.3 dan CLR9.4, mampu memfermentasikan sukrosa, mampu memfermentasikan maltosa, mampu memfermentasikan manitol kecuali CLR9.3, mampu memfermentasikan glukosa; menghasilkan enzim katalase, bersifat motil kecuali CLR9.1 dan CLR9.3.

**Kata kunci :** *IPAL, Bakteri Ureolitik, Enzim Urease*

## **ABSTRACT**

### **ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF UREOLYTIC BACTERIA FROM AERATION PONDS IN THE WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) PROCESS AT PT. JUANG JAYA ABDI ALAM SOUTH LAMPUNG**

**By**

**MEIDA CLARA ENINA**

Environmental pollution due to cattle farm waste at PT. Juang Jaya Abdi Alam, South Lampung is one of the problems that requires immediate handling. Cattle farm liquid waste contains high urea concentrations which can cause environmental pollution if not properly processed. One of the components in livestock liquid waste is urea, urea contained in cow urine is one of the dominant organic nitrogen compounds in livestock waste. High urea content in waste can cause eutrophication and increased ammonia levels. This study aims to isolate and identify ureolytic bacteria from the aeration pond at the *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) of PT. Juang Jaya Abdi Alam, South Lampung which was conducted in December 2024-February 2025 at the Microbiology Laboratory of PT. Juang Jaya Abdi Alam, South Lampung. This study uses a qualitative descriptive method which includes wastewater sampling, bacterial isolation, urease enzyme activity testing, and morphological, microscopic and physiological characterization. The results showed that 6 isolates of ureolytic bacteria were found with good urea hydrolysis ability. The six isolates were irregular, circular with flat and umbonate elevation. The colony color was white and cream with undulate, lobate and entire edges. The six isolates had *bacil*, *coccus* and *coccobacil* cell shapes and the six isolates had Gram-positive properties; isolates CLR9.3, CLR9.4, and CLR15.4 had spores; able to ferment lactose except CLR9.3 and CLR9.4, able to ferment sucrose, able to ferment maltose, able to ferment mannitol except CLR9.3, able to ferment glucose; produced catalase enzyme, were motile except CLR9.1 and CLR9.3.

**Keywords :** *Wastewater Treatment Plant, Ureolytic Bacteria, Urease Enzyme*

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI UREOLITIK ASAL KOLAM  
AERASI PADA PROSES INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
(IPAL) DI PT. JUANG JAYA ABDI ALAM LAMPUNG SELATAN**

Oleh

**MEIDA CLARA ENINA**

**(SKRIPSI)**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**PROGRAM STUDI S-1 BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2025**

Judul Skripsi : **Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Ureolitik Asal Kolam Aerasi pada Proses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di PT. Juang Jaya Abdi Alam Lampung Selatan**

Nama Mahasiswa : **Meida Clara Enina**

Nomor Induk Mahasiswa : 2117021077

Program Studi : Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**MENYETUJUI**

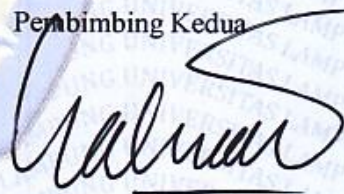
**1. Komisi Pembimbing**

Pembimbing Utama

Pembimbing Kedua



**Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si**  
NIP. 197808192008012018



**Ir. Salman Farisi, M.Si**  
NIP. 196104181987031001

**2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA**



**Dr. Jani Mastur, M.Si**  
NIP. 198301312008121001

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si.**

Anggota : **Ir. Salman Farisi, M.Si.**

Penguji Utama : **Prof. Dr. Sumardi, M.Si.**

### 2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 Juli 2025**

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Meida Clara Enina  
NPM : 2117021077  
Jurusan : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya berjudul

**“ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI UREOLITIK ASAL  
KOLAM AERASI PADA PROSES INSTALASI PENGOLAHAN AIR  
LIMBAH (IPAL) DI PT. JUANG JAYA ABDI ALAM LAMPUNG  
SELATAN”**

Bahwa keseluruhan dari karya ilmiah ini baik data, hasil analisis, dan kajian ilmiah adalah **benar** hasil karya orisinil yang saya susun berdasarkan riset ilmiah melalui arahan komisi pembimbing dan pembahas. Karya ilmiah ini disusun dengan berpedoman pada norma serta etika akademik dan penulisan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat pernyataan yang tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 16 Juli 2025  
Yang Menyatakan,



**Meida Clara Enina**  
NPM. 2117021077

## RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Meida Clara Enina, dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 15 Maret 2002. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Sawiri dan Ibu Nurbianti dengan 2 saudara kandung. Penulis mulai menempuh pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Al-Qur'an Nurul Falah pada tahun 2007-2008, dilanjutkan ke jenjang Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Gedong Air pada tahun 2008-2014. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Perintis 1 Bandar Lampung pada tahun 2014-2017 dan menempuh jenjang yang lebih tinggi di Sekolah Menengah Atas (SMA) Perintis 2 Bandar Lampung pada tahun 2017-2020. Setelah lulus, pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN).

Selama berkuliah di dunia perkuliahan, penulis telah berpartisipasi aktif dalam organisasi kemahasiswaan dan menjadi salah satu anggota Bidang Ekspedisi di Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) FMIPA Universitas Lampung Periode 2021. Penulis juga berperan aktif sebagai asisten Laboratorium Botani selama dua tahun perkuliahan pada tahun 2022-2024 dan menjadi asisten Praktik Keterampilan Dasar Laboratorium pada tahun 2022, serta asisten Praktikum Bioteknologi pada tahun 2025. Pada bulan Januari-Februari 2024, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Laboratorium Mikrobiologi Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Bandar Lampung dengan melakukan analisis parameter mikrobiologi dari beragam sampel industri. Kegiatan tersebut menghasilkan karya ilmiah berupa laporan kerja praktik yang

berjudul **“Uji Cemarkan Bakteri *Coliform* Pada Air Bersih Menggunakan Metode Membran Filter di Laboratorium Mikrobiologi Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Bandar Lampung”**. Pada tahun yang sama , penulis melaksanakan kegiatan Magang Mandiri (MBKM) di PT. Juang Jaya Abdi Alam Lampung Selatan selama 1 semester serta melaksanakan salah satu Tri Dharma Perguruan Tinggi, yakni Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sumber Jaya, Kecamatan Waway Karya, Kabupaten Lampung Timur pada Bulan Juni-Agustus tahun 2024. Selain aktif secara akademik dan berorganisasi, penulis memiliki pengalaman dan capaian seperti kompetisi. Kompetisi prestisius yang pernah diraih penulis adalah menjadi penerima hibah pendanaan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) pada tahun 2022 oleh Kemenristekdikbud dengan bidang kewirausahaan.

## **PERSEMBAHAN**

*Alhamdulillahirabbilalamin. Segala puji dan syukur kepada Allah Swt. atas segala rahmat dan karunianya yang telah memberikan segala kenikmatan, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Saya dengan segenap hati dan penuh rasa syukur mempersembahkan karya ini kepada:*

*Kedua orangtua yang sangat saya cintai dan sangat saya banggakan, Bapak Sawiri dan Ibu Nurbianti. Sesungguhnya ini adalah salah satu bentuk keberhasilan kedua orangtua saya. Dengan segala kesederhanaan, doa-doa, keringat, dan air mata senantiasa memperjuangkan masa depan saya hingga mengantarkan putrinya ini meraih gelar Sarjana Sains (S.Si.);*

*Kakak yang telah menjadi panutan dan turut mendukung perjalanan saya untuk berkuliah, Riski Fibrina, S.Sos. Adik yang saya sayangi, Fathur Albariansyah yang telah menjadi motivasi bagi saya untuk membenahi diri dan menjadi seorang yang sukses agar kelak dapat menjadi sosok teladan terbaik;*

*Bapak dan Ibu dosen pembimbing yang telah membimbing dengan tulus dan ikhlas hingga saya berhasil mencapai gelar Sarjana Sains. Serta Bapak dan Kakak sekalian yang berada di PT. Juang Jaya Abdi Alam Lampung Selatan yang membantu dalam kelancaran pengumpulan data skripsi.*

*Orang-orang yang telah hadir dan memberikan saya pelajaran kehidupan;*

*Almamater tercinta, Universitas Lampung.*

## MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya Dia mendapat (pahala) dari (kebijakan) yang dikerjakannya dan mendapat (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya"

(Q.S Al-Baqarah:286)

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan"

(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

"Hatiku tenang mengetahui apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu"

(Umar bin Khattab)

*"god have perfect timing, never early, never late. It takes a little patience and it takes a lot of faith, but it's a worth the wait"*

## SANWACANA

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Segala puji hanya bagi Allah Swt. Tuhan semesta alam yang Maha pemurah, karena atas limpahan rahmat dan ridho-Nya. Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Ureolitik Asal Kolam Aerasi Pada Proses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di PT. Juang Jaya Abdi Alam Lampung Selatan” dengan baik dan tepat pada waktunya.

Skripsi ini menjadi saksi bisu perjuangan penulis dalam proses menuntut ilmu sekaligus penerapannya secara langsung melalui penelitian dan penulisan karya ilmiah. Dengan terselesaikannya skripsi ini, penulis mengucapkan terimakasih yang begitu tulus kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Jani Master, M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung serta selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk menjalankan dan menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih untuk segala arahan dan bimbingan dengan sabar dan tulus, memberikan masukan yang baik, serta bantuan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis selama menjalankan dan menyelesaikan skripsi;
4. Bapak Ir. Salman Farisi, M.Si., selaku dosen pembimbing II atas kesediaannya untuk meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam proses penyusunan skripsi. Terima Kasih untuk bantuan, dukungan, dan ilmu yang bermanfaat yang diberikan kepada penulis.

5. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M.Si., selaku Dosen Penguji sekaligus Kepala Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Universitas Lampung atas izin penelitian yang telah diberikan yang selalu meluangkan waktu dan memberikan saran dan kritik serta ilmu pengetahuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
6. Ibu Dr. Eti Ernawati, M.P., selaku dosen pembimbing akademik atas nasihat dan bimbingannya selama perkuliahan;
7. Seluruh Dosen Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung, yang telah memberikan banyak ilmu bermanfaat selama penulis menjalankan masa perkuliahan hingga mengantarkan penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi.
8. Ibu Oni Mastuti, S.Si., selaku Laboran Laboratorium Mikrobiologi yang telah banyak membantu dan memberikan kesempatan belajar bagi penulis untuk menjadi asisten dan menyelesaikan penelitian di Laboratorium Mikrobiologi.
9. Ibu Dhiny Suntya Putri, S.P., selaku Laboran Laboratorium Botani yang telah banyak membantu dan memberikan kesempatan belajar bagi penulis untuk menjadi asisten, tempat berkeluh kesah, yang memiliki peran seperti kakak dan dukungannya kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
10. Bapak Fajar Aditya Yulianto selaku supervisor *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) yang telah membimbing dan memberikan arahan kepada penulis;
11. Bapak Abimanyu Pramudya Putra, S.Pi., selaku staff *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) di Laboratorium WWTP yang telah membimbing dan memberikan ilmunya kepada penulis;
12. Mendiang almarhum Kak Rachmat Nugraha Indra, S.Si., selaku staff Laboratorium Mikrobiologi yang telah membimbing dan memberikan ilmunya dengan sabar dan teliti kepada penulis pada proses awal hingga menjelang akhir pelaksanaan penelitian;
13. Seluruh Civitas Academica Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung yang telah banyak membantu penulis baik dalam hal administrasi maupun selama perkuliahan berlangsung.
14. Bapak Sawiri dan Ibu Nurbianti, dua sosok paling hebat dalam hidup penulis yang tidak pernah berhenti berjuang. Terima kasih untuk tidak pernah menyerah dalam memperjuangkan kehidupan yang tidak mudah ini. Terima

kasih yang tak terhingga untuk setiap doa dan tetesan air mata perjuangan, terima kasih untuk cinta dan kasih sayang, terima kasih untuk selalu menjadi tauladan dan motivasi bagi penulis dari kecil hingga detik dimana penulis dapat meraih gelar yang diperjuangkan.

15. Kakak dan adik penulis, Mbak Riski Fibrina, S.Sos dan Adik Fathur Albariansyah yang selalu memberikan motivasi, inspirasi, kasih sayang, doa dan perjuangan luar biasa serta menjadi alasan bagi penulis untuk tidak lelah berjuang;
16. Thorif Adnan Nafis, S.T., dia yang penulis temui pada masa itu yang tidak pernah berhenti percaya. Terima kasih untuk setiap dukungan dan doa yang selalu diberikan, terima kasih sudah bersedia meluangkan waktu untuk mendengarkan dan kebersamai penulis, baik sebelum maupun selama proses penelitian yang penulis jalani hingga akhirnya penulis dapat menyusun skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
17. Sahabat-sahabat “Gossip Gals” Nuraisyah Fatihasari, Afifah Mutiara Ratri, Natia Sari, Yasmin Fadia, dan Azetya Ayu Prasasti yang penulis temui pada masa perkuliahan. Terima kasih sudah menjadi salah satu cerita manis dan berarti yang penulis rasakan selama menjadi mahasiswa, terima kasih untuk setiap kebaikan dan kepedulian, terima kasih sudah hadir dan kebersamai setiap proses yang penulis jalani, serta terima kasih untuk setiap tawa yang tercipta.
18. Sahabat-sahabatku Keisha Azzahra Tetadrian, S.Ked., Dita Noviyanda Saerulloh, S.Ked., Audina Tazkia, S.Kom., dan Asni Putri Tasya Wijaya, S.H., yang telah banyak memberikan warna bagi penulis, terima kasih untuk selalu mendukung, memberi banyak cerita, dan bersedia menjadi bagian dalam perjalanan penulis.
19. Teman seperjuangan, Shifa Nur Auliyah, serta teman-teman peneliti Laboratorium Mikrobiologi yang telah banyak memberikan kesan baik dan membantu penulis selama proses belajar hingga pelaksanaan penelitian.
20. Seluruh teman-teman Jurusan Biologi angkatan 2021 yang selalu membagikan cerita dan pengalamannya sehingga menjadi motivasi tersendiri bagi penulis untuk selalu belajar dan mengejar ketertinggalan;

21. Kakak-kakak tingkat yang telah menjadi tempat bertanya, dan adik-adik tingkat yang telah mendoakan kesuksesan serta kelancaran dalam melaksanakan proses pengerjaan skripsi;
22. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu atas bantuan yang telah diberikan, sehingga perjalanan penulisan skripsi ini diberikan kelancaran;
23. Terimakasih untuk diri yang telah mencapai titik ini, mampu berjalan sendirian untuk menghadapi banyak hal, berjuang sejauh ini hingga melampaui zona nyaman, berani melawan ketakutan, berani mengambil keputusan, berani mengambil langkah yang tepat, teguh atas pendirian, selalu memiliki keyakinan serta pemikiran positif atas masa depan, dan ridho akan apa yang sudah ditakdirkan

Semoga Allah Swt. membalas setiap kebaikan dan kepedulian yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari skripsi yang disusun ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf dan sangat terbuka akan kritik serta saran dan masukan membangun. Semoga skripsi yang telah disusun ini dapat memberikan manfaat dan membantu tambahan informasi kedepannya.

Bandar Lampung, 16 Juli 2025  
Penulis,

Meida Clara Enina

## DAFTAR ISI

|                                                   | Halaman     |
|---------------------------------------------------|-------------|
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                         | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                         | <b>viii</b> |
| <br>                                              |             |
| <b>I. PENDAHULUAN.....</b>                        | <b>1</b>    |
| 1.1. Latar Belakang .....                         | 1           |
| 1.2. Tujuan Penelitian.....                       | 3           |
| 1.3. Manfaat Penelitian.....                      | 3           |
| 1.4. Kerangka Teoritis .....                      | 3           |
| 1.5. Hipotesis Penelitian .....                   | 5           |
| <br>                                              |             |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                  | <b>6</b>    |
| 2.1. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).....  | 6           |
| 2.2. Limbah Cair.....                             | 8           |
| 2.2.1. Baku Mutu Air Limbah.....                  | 9           |
| 2.3. Bakteri Ureolitik.....                       | 12          |
| 2.4. Mekanisme Enzim pada Bakteri Ureolitik ..... | 13          |
| 2.5. Siklus Biogeokimia .....                     | 15          |
| <br>                                              |             |
| <b>III. METODE PENELITIAN .....</b>               | <b>17</b>   |
| 3.1. Waktu dan Tempat .....                       | 17          |
| 3.2. Alat dan Bahan .....                         | 17          |
| 3.3. Metode Penelitian.....                       | 18          |
| 3.4. Prosedur Kerja.....                          | 19          |
| 3.4.1. Pengambilan Sampel.....                    | 19          |
| 3.4.2. Homogenisasi Sampel Air Limbah .....       | 23          |
| 3.4.3. Isolasi Bakteri Ureolitik .....            | 24          |
| 3.4.4. Uji Kemampuan Urease .....                 | 24          |
| 3.4.5. Pemurnian Isolat Bakteri Ureolitik .....   | 25          |
| 3.4.6. Identifikasi Karakter Makroskopis.....     | 25          |
| 3.4.7. Identifikasi Karakter Mikroskopis .....    | 27          |

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.8. Identifikasi Karakter Fisiologis.....           | 28        |
| 3.5. Analisis Data .....                               | 29        |
| 3.6. Diagram Alir Penelitian.....                      | 30        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                   | <b>31</b> |
| 4.1. Pengujian Parameter Lingkungan .....              | 31        |
| 4.2. Isolasi dan Purifikasi Bakteri Ureolitik .....    | 34        |
| 4.3. Uji Kualitatif Aktivitas Enzim Urease .....       | 35        |
| 4.4. Identifikasi Karakteristik Bakteri Ureolitik..... | 37        |
| 4.5. Identifikasi Genus Isolat Bakteri Ureolitik.....  | 46        |
| <b>V. KESIMPULAN.....</b>                              | <b>50</b> |
| 5.1. Simpulan.....                                     | 50        |
| 5.2. Saran.....                                        | 50        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                             | <b>51</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                   | <b>57</b> |

## DAFTAR TABEL

| <b>Tabel</b>                                                  | <b>Halaman</b> |
|---------------------------------------------------------------|----------------|
| 1. Parameter Wajib untuk Parameter Fisik yang Harus .....     | 10             |
| 2. Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan.....   | 10             |
| 3. Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan.....     | 11             |
| 4. Pengujian Parameter Lingkungan .....                       | 23             |
| 5. Parameter Lingkungan Sampel Air Limbah Aerasi .....        | 31             |
| 6. Hasil Pengamatan Uji Aktivitas Enzim Urease .....          | 36             |
| 7. Morfologi Makroskopik Isolat Bakteri Ureolitik.....        | 38             |
| 8. Hasil Pengamatan Mikroskopik Isolat Bakteri Ureolitik..... | 39             |
| 9. Karakterisasi Fisiologi Bakteri Ureolitik Terbaik.....     | 43             |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                                            | Halaman |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Siklus Nitrogen .....                                                          | 20      |
| 2. Lokasi Pengambilan Sampel Air Limbah .....                                     | 20      |
| 3. Titik Pengambilan Sampel Air Limbah pada Kolam Aerasi .....                    | 20      |
| 4. Hasil Pengujian Positif dan Negatif Urease .....                               | 25      |
| 5. Bentuk Morfologi dari Atas .....                                               | 26      |
| 6. Bentuk Morfologi dari Tepi .....                                               | 26      |
| 7. Bentuk Morfologi dari Bentuk Penonjolannya .....                               | 26      |
| 8. Diagram Alir Penelitian .....                                                  | 30      |
| 9. Hasil Pengamatan Isolat pada Uji Aktivitas Enzim Urease .....                  | 35      |
| 10. Morfologi Makroskopik Isolat(a. CLR9.4; b). CLR12.2 .....                     | 38      |
| 11. Hasil Pengamatan Bentuk Sel dan Sifat Gram 6 Isolat Bakteri .....             | 40      |
| 12. Hasil Pengamatan Isolat Bakteri Ureolitik Membentuk Spora (positif) .....     | 42      |
| 13. Fermentasi Karbohidrat Isolat Bakteri Ureolitik.....                          | 58      |
| 14. Hasil Uji Katalase Isolat Bakteri Ureolitik .....                             | 58      |
| 15. Hasil Uji Motilitas Isolat Bakteri Ureolitik.....                             | 59      |
| 16. Buku <i>Identifikasi Bergeys's Manual of Determinative Bacteriology</i> ..... | 59      |
| 17. Hasil Identifikasi Bakteri Genus <i>Bacillus</i> .....                        | 61      |
| 18. Hasil Identifikasi Bakteri Genus <i>Staphylococcus</i> .....                  | 63      |
| 19. Hasil Identifikasi Bakteri Genus <i>Micrococcus</i> .....                     | 64      |
| 20. Hasil Identifikasi Bakteri Genus <i>Planococcus</i> .....                     | 66      |
| 21. Hasil Identifikasi Bakteri Genus <i>Paenibacillus</i> .....                   | 68      |

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Daging sapi adalah salah satu produk hewani utama yang dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia (Heatubun dan Matatula, 2023). Hal tersebut menghasilkan sejumlah besar perusahaan peternakan sapi di Indonesia. Banyak usaha peternakan sapi menyebabkan pencemaran lingkungan karena limbah peternakan sapi yang besar. Hal ini sejalan dengan fakta bahwa banyak usaha peternakan sapi gagal mengelola limbahnya dengan baik sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan (Thohiroh dkk., 2021). Oleh karena itu, kegiatan peternakan perlu memperhatikan daya dukung dan kualitas lingkungan. Usaha peternakan sapi dengan skala usaha lebih dari 20 ekor sangat berpotensi menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Pencemaran ini terjadi jika pengelolaan limbah belum dilakukan dengan baik (Panjaitan dkk., 2024).

Menurut Sari (2020), mengemukakan bahwa sebanyak 56,67 % peternak sapi membuang limbah kotoran ternak ke badan sungai tanpa pengelolaan, sehingga terjadi pencemaran lingkungan berupa bau menyengat, air sungai menjadi keruh dan kotor. Pencemaran ini disebabkan oleh aktivitas peternakan, terutama berasal dari limbah yang dikeluarkan oleh ternak yaitu feses, urine, sisa pakan, dan air sisa pembersihan ternak kandang dan alat-alat (Saidi dkk., 2022). Menurut Firmansyah (2021), pencemaran dari faktor biologi, kimia, dan fisika jika sudah melebihi baku mutu, maka akan berdampak negatif bagi manusia dan biota perairan jika digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu upaya untuk memecahkan masalah ini

adalah melakukan pengujian mikrobiologi dengan menggunakan uji enzim urease yang diproduksi oleh beberapa jenis bakteri ureolitik yang terdapat pada air limbah IPAL di PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan yang dapat menyebabkan eutrofikasi pada perairan.

Baku mutu air limbah bagi kegiatan peternakan diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Sebuah perusahaan harus mempunyai infrastruktur pengolahan air limbah yang dikenal sebagai *Wastewater Treatment Plant* (WWTP). Metode ini dirancang untuk mengurangi jumlah bahan pencemar dalam air limbah, termasuk mikroba patogen, senyawa organik, padatan tersuspensi, dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di alam (Maulidian *et al.*, 2023). Berbagai mikroorganisme, termasuk bakteri ureolitik, sering terlibat dalam proses ini untuk menghancurkan zat berbahaya. Bakteri ureolitik memiliki aktivitas enzim urease dan merupakan kelompok Gram positif (Ningsih dkk., 2018). Urease mengkatalisis hidrolisis urea menjadi ammonia dan karbonat, yang mengakibatkan peningkatan pH dan pembentukan kristal kalsium karbonat di lingkungan (Novanti dan Zulaika, 2019). Karbonat yang terbentuk kemudian dapat berikatan dengan ion seperti  $\text{Fe}^{3+}$  sebagai agen bioremediasi (Ningsih dkk., 2018).

Kolam aerasi dalam WWTP menjadi tempat ideal bagi pertumbuhan bakteri, termasuk bakteri ureolitik, karena kondisi lingkungan yang mendukung, seperti keberadaan oksigen dan nutrisi. Menurut Heryadi dkk.(2024), oksigen ditambahkan secara terkontrol ke dalam limbah cair kolam aerasi untuk membantu mikroorganisme aerasi menguraikan bahan organik dalam limbah cair sehingga identifikasi dan karakterisasi bakteri ureolitik pada kolam aerasi saat proses pengolahan sangat diperlukan untuk memahami potensi mikroorganisme tersebut dalam menguraikan urea, yang merupakan salah satu komponen dalam limbah cair. Berdasarkan pemaparan di atas, maka dilakukanlah penelitian ini untuk

mengisolasi dan melakukan karakterisasi bakteri ureolitik dari kolam aerasi di PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri ureolitik dalam memproduksi enzim urease pada kolam aerasi asal PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan.
2. Untuk mengetahui karakteristik morfologi, mikroskopis, dan fisiologi bakteri ureolitik dari sampel air limbah pada kolam aerasi asal PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan.
3. Untuk mengetahui genus isolat bakteri ureolitik dari sampel air limbah pada kolam aerasi asal PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan.

## **1.3. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai isolat bakteri ureolitik yang terdapat di kolam aerasi pada IPAL PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan, sehingga dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.
2. Memberikan informasi mengenai populasi bakteri ureolitik yang terdapat di kolam aerasi pada IPAL PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan.
3. Memberikan informasi mengenai genus bakteri ureolitik yang terdapat di kolam aerasi pada IPAL PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan

## **1.4. Kerangka Teoritis**

Limbah cair (*liquid waste*) peternakan sapi merupakan air hasil dari aktivitas peternakan sapi yang digunakan untuk membersihkan sapi,

membersihkan kandang dan urine sapi. Pencemaran air yang disebabkan oleh limbah cair peternakan sering terjadi karena limbah cair langsung dibuang ke saluran drainase/sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu. Selain pencemaran air, bau yang dihasilkan dari limbah peternakan sapi juga sangat buruk dan dapat mengganggu kenyamanan masyarakat.

Air limbah peternakan jika mencemari perairan dapat menjadi media pertumbuhan dan perkembangan mikroba sehingga menyebabkan terjadinya pemanfaatan oksigen terlarut di dalam air. Salah satu upaya untuk permasalahan ini ialah PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan melakukan pengolahan limbah cair menggunakan IPAL sebagai penampung air limbah untuk diolah lebih lanjut, serta dilakukannya pengujian secara mikrobiologi menggunakan uji enzim urease yang dapat dihasilkan oleh beberapa jenis bakteri ureolitik untuk mengetahui estimasi kadar amonia yang dapat menyebabkan eutrofikasi pada perairan.

Oleh karena itu, mengisolasi dan mengkultur bakteri ureolitik dapat mengembangkan *bioreactor* untuk mengolah limbah secara efisien dan mengetahui potensi pembentukan , sehingga dapat mengambil langkah-langkah pencegahan pencemaran lingkungan, seperti menyesuaikan pH limbah yang optimal, menambahkan bahan kimia untuk menghambat aktivitas enzim urease dan memilih metode pengolahan limbah yang tepat. Konsentrasi pencemar dalam air limbah peternakan ini harus disesuaikan sehingga memenuhi baku mutunya agar tidak mencemari lingkungan.

### **1.5. Hipotesis Penelitian**

Hipotesis dari penelitian ini yaitu :

1. Memperoleh isolat bakteri ureolitik bakteri ureolitik yang terdapat pada kolam aerasi di IPAL PT. Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan memiliki karakteristik morfologi, mikroskopis, dan fisiologi beragam.
2. Isolat bakteri ureolitik yang diperoleh dari kolam aerasi PT Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan memiliki kemampuan dalam memproduksi enzim urease.
3. Isolat bakteri ureolitik yang diperoleh dari kolam aerasi PT Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan genus yang beragam.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)**

Teknik pengolahan air limbah sangat penting untuk menjaga kelestarian lingkungan. Berbagai metode telah dicoba untuk menyisahkan bahan polutan dari air limbah (Soleman dkk., 2022). Berdasarkan UU RI No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, setiap industri maupun instansi atau badan usaha harus bertanggung jawab terhadap pengelolaan limbah yang dihasilkan. Salah satu pengelolaan yang efektif yaitu membangun *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) yang sesuai dengan beban pencemar dan karakteristik air limbah (Romadhonah dan Arif, 2020).

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah fasilitas yang menjadi tempat pembuangan akhir dan pengolahan limbah biologi dan kimia dalam limbah sehingga limbah dapat digunakan kembali atau dibuang ke lingkungan, dengan memperhatikan baku mutu limbah yang telah ditetapkan pemerintah. Pengolahan limbah sebelum memasuki lingkungan sangat penting untuk menghindari pencemaran lingkungan yang berbahaya bagi kesehatan manusia (Willy, 2023). Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dibangun untuk menghilangkan limbah biologis dan kimiawi dari air, sehingga air dapat digunakan kembali untuk berbagai tujuan. Tujuan utama pengolahan air limbah adalah untuk mengurai bahan pencemar yang ada di dalam air, terutama bahan organik, padatan tersuspensi, bakteri patogen, dan senyawa organik yang mikroorganisme di alam tidak dapat mengurai.

Untuk mengolah air yang mengandung senyawa organik, teknologi pengolahan air limbah secara biologis biasanya digunakan; ini dapat dilakukan pada kondisi aerobik, anaerobik, atau keduanya. Proses aerobik biasanya digunakan untuk limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar, sedangkan proses anaerobik digunakan untuk limbah dengan beban BOD yang sangat tinggi (Wulandari, 2014).

Menurut Wulandari (2014), pengolahan air limbah secara *aerobic* secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga, yakni :

1. Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan yang menggunakan aktifitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air. Contoh proses ini termasuk proses lumpur aktif standar atau konvensional, proses pengairan langkah demi langkah, stabilisasi kontak, dan lainnya..
2. Proses biologis dengan biakan melekat: proses pengolahan air limbah di mana mikroorganisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme melekat pada permukaan media tersebut. Beberapa contoh teknologi pengolahan air dengan sistem ini termasuk *biofilter* atau *trickling filter*, kontraktor biologi berputar (RBC), dan lainnya.
3. Kolam atau lagoon mengolah air limbah secara biologis dengan menampung air limbah di dalam kolam yang luas untuk waktu yang lama sehingga mikroorganisme dan zat polutan terurai.

PT. Juang Jaya Abdi Alam telah menunjukkan kepatuhan terhadap standar Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan baku mutu yang ditetapkan oleh regulasi lingkungan. Sistem pengolahan air limbah yang diterapkan berhasil menghasilkan kualitas air yang memenuhi parameter yang diatur, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi dan perubahan regulasi yang mungkin terjadi, perlu dilakukan peninjauan ulang terhadap proses dan teknologi yang digunakan. Evaluasi berkala ini akan memastikan bahwa PT. Juang Jaya Abdi Alam tetap berada di jalur

yang tepat dalam pengelolaan air limbah dan dapat meningkatkan efisiensi serta efektivitas sistem pengolahannya di masa mendatang.

## **2.2. Limbah Cair**

Limbah cair atau air limbah merupakan air buangan dari suatu kegiatan atau usaha yang dilakukan oleh manusia yang mengandung berbagai polutan yang berbahaya jika dibuang langsung ke lingkungan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Pasal 1 Ayat 14 Air limbah merupakan sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan berupa cairan (Pemerintah Republik Indonesia, 2001).

Terdapat 2 jenis limbah cair, yaitu air limbah industri dan air limbah rumah tangga. Air limbah industri merupakan air limbah yang berasal dari kegiatan proses pada industri, sedangkan air limbah rumah tangga merupakan air limbah yang tidak berasal dari kegiatan industri namun berasal dari kegiatan dan aktivitas rumah tangga, hotel, rumah sakit. Limbah cair membutuhkan pengelolaan yang baik dan benar sebelum dibuang ke lingkungan sehingga tidak menimbulkan kerusakan lingkungan yang berpengaruh terhadap kesehatan manusia (Willy, 2023). Limbah cair mengandung berbagai jenis polutan serta sifat kimia, dan fisik yang berdampak bagi lingkungan, manusia serta biota perairan yang ada. Sifat kimia,biologi,serta fisik dari air limbah dipengaruhi oleh bahan baku yang dipakai pada aktivitas yang dilakukan (Efendi, 2003).

Pada air limbah terdiri beberapa zat padat yang secara umum digolongkan menjadi padatan tersuspensi dan terlarut. Padatan yang tersuspensi dapat memiliki sifat organik maupun inorganik tergantung pada sumber air limbahnya. Terdapat juga padatan yang terendap karena memiliki diameter dan berat yang besar sehingga dapat mengendap dengan sendirinya dalam beberapa waktu. Air limbah yang keruh dikarenakan terdapat partikel koloid yang berupa sisa-sisa bahan, tanah, protein, kwartz, dan ganggang sehingga dapat mempengaruhi warna air yang dapat diakibatkan oleh ion-

ion mangan dan logam besi yang terdapat secara alamiah. Bau yang timbul dari air limbah diakibatkan oleh zat-zat organik yang sudah terurai oleh mikroba. Suhu air limbah yang tinggi dapat mengganggu pertumbuhan pada biota tertentu.

Hewan ternak mengeluarkan kotoran dalam jumlah banyak sebagai hasil limbah. Pada ternak sapi, jumlah kotoran yang dikeluarkan setiap hari berkisar 12 % dari berat tubuh dan apabila tidak diolah dengan baik akan menjadikan limbah serta pencemaran lingkungan, karena kotoran ternak mengandung  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , dan senyawa lainnya. Kandungan yang masih terdapat dalam kotoran ternak dapat mencemari lingkungan dan masyarakat sekitar jika tidak dapat dikelola dengan baik (Sukamta dkk., 2017).

### **2.2.1. Baku Mutu Air Limbah**

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, Dan Pemandian Umum pasal 1 ayat 1 menyebutkan bahwa Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan adalah spesifikasi teknis atau nilai yang dibakukan pada media lingkungan yang berhubungan atau berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat.

Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi meliputi parameter fisik, biologi, dan kimia yang dapat berupa parameter wajib dan parameter tambahan. Parameter wajib merupakan parameter yang harus diperiksa secara berkala sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan, sedangkan parameter tambahan hanya diwajibkan untuk diperiksa jika kondisi geohidrologi mengindikasikan adanya potensi pencemaran berkaitan dengan parameter tambahan. Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi tersebut digunakan untuk pemeliharaan

kebersihan perorangan seperti mandi dan sikat gigi, serta untuk keperluan cuci bahan pangan, peralatan makan, dan pakaian. Selain itu Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi dapat digunakan sebagai air baku air minum (Pemerintah Republik Indonesia, 2017). Tabel 1 berisi daftar parameter fisik wajib yang harus diperiksa untuk keperluan higiene sanitasi yang meliputi 5 parameter wajib.

**Tabel 1.** Parameter Wajib untuk Parameter Fisik yang Harus Diperiksa untuk Keperluan Higiene Sanitasi

| Parameter Wajib                                     | Unit | Standar Baku Mutu (kadar maksimum) |
|-----------------------------------------------------|------|------------------------------------|
| Kekeruhan                                           | NTU  | 25                                 |
| Warna                                               | TCU  | 50                                 |
| Zat padat terlarut ( <i>Total Dissolved Solid</i> ) | mg/l | 1000                               |
| Suhu                                                | °C   | Suhu udara $\pm 3$                 |
| Rasa                                                |      | Tidak berasa                       |
| Bau                                                 |      | Tidak berbau                       |

Tabel 2 berisi daftar parameter wajib untuk parameter biologi yang harus diperiksa untuk keperluan higiene sanitasi yang meliputi total *coliform* dan *Escherichia coli* dengan satuan/unit *colony forming unit* dalam 100 ml sampel air.

**Tabel 2.** Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

| Parameter Wajib       | Unit       | Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum) |
|-----------------------|------------|------------------------------------|
| Total <i>coliform</i> | CFU/100 ml | 50                                 |
| <i>E. coli</i>        | CFU/100 ml | 0                                  |

Tabel 3 berisi daftar parameter kimia yang harus diperiksa untuk keperluan higiene sanitasi yang meliputi 10 parameter wajib dan 10 parameter tambahan. Parameter tambahan ditetapkan oleh pemerintah daerah kabupaten/kota dan otoritas pelabuhan/bandar udara.

**Tabel 3.** Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

| <b>Parameter Wajib</b>         | <b>Unit</b> | <b>Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum)</b> |
|--------------------------------|-------------|-------------------------------------------|
| pH                             | mg/l        | 6,5 – 8,5                                 |
| Besi                           | mg/l        | 1                                         |
| Fluorida                       | mg/l        | 1,5                                       |
| Kesadahan (CaCO <sub>3</sub> ) | mg/l        | 500                                       |
| Mangan                         | mg/l        | 0,5                                       |
| Nitrat                         | mg/l        | 10                                        |
| Nitrit                         | mg/l        | 1                                         |
| Sianida                        | mg/l        | 0,1                                       |
| Detergen                       | mg/l        | 0,05                                      |
| Pestisida Total                | mg/l        | 0,1                                       |
| <b>Parameter Tambahan</b>      | <b>Unit</b> | <b>Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum)</b> |
| Air Raksa                      | mg/l        | 0,001                                     |
| Arsen                          | mg/l        | 0,05                                      |
| Kadmium                        | mg/l        | 0,005                                     |
| Kromium (valensi 6)            | mg/l        | 0,05                                      |
| Selenium                       | mg/l        | 0,01                                      |
| Seng                           | mg/l        | 15                                        |

|                                  |      |      |
|----------------------------------|------|------|
| Sulfat                           | mg/l | 400  |
| Timbah                           | mg/l | 0,05 |
| Benzene                          | mg/l | 0,01 |
| Zat Organik (KMNO <sub>4</sub> ) | mg/l | 10   |

### 2.3. Bakteri Ureolitik

#### a. Karakteristik Bakteri Ureolitik

Bakteri adalah jenis mikroorganisme prokariotik (bersel satu) yang hidup berkoloni dan tidak memiliki selubung inti tetapi dapat hidup di mana saja. Makhluk hidup ini juga mampu beradaptasi dengan lingkungan biotik dan abiotik (Irdawati dkk., 2023). Bakteri umumnya diklasifikasikan menjadi 2 kelompok yaitu bakteri Gram Positif dan bakteri Gram-negatif (Salsabilla dkk., 2022). Bakteri ureolitik adalah kelompok bakteri gram-positif yang memiliki aktivitas enzim urease. Enzim urease menghidrolisis urease menjadi ammonia dan CO<sub>2</sub>, meningkatkan pH dan konsentrasi karbonat. Selanjutnya, karbonat akan berikatan dengan ion seperti Fe<sup>3+</sup> sebagai agen bioremediasi logam berat dan Ca<sup>2+</sup> untuk membentuk CaCO<sub>3</sub>, atau kalsit (Ningsih dkk., 2018).

Beberapa genus bakteri ureolitik telah diidentifikasi sebagai agen MICP yang potensial. Bakteri tersebut termasuk *Clostridium*, *Bacillus*, *Desulfotomaculum*, *Sporolactobacillus*, dan *Sporosarcina pasteurii*, yang banyak digunakan dalam sebagian besar penelitian tentang MICP karena toleransinya terhadap pH tinggi dan aktivitas urease yang tinggi. Spesies bakteri ureolitik, yang dapat menghasilkan endospora, memiliki kemampuan untuk bertahan dalam kondisi lingkungan yang keras, seperti kekurangan nutrisi, suhu ekstrem, kurangnya kelembaban, dan paparan radiasi, desinfektan, antibiotik, dan bahan kimia (Aliyu *et al.*, 2023).

Urease yang dibuat oleh bakteri ureolitik berfungsi sebagai katalis untuk hidrolisis urea menjadi amonia. Ketika ion  $\text{CO}_3^{2-}$  berikatan dengan  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  dapat mengubah kemampuan untuk terbentuk  $\text{CaCO}_3$  atau kalsit, dengan lebih banyak  $\text{Ca}^{2+}$  menyebabkan pembentukan kalsit dan sebaliknya (Phang *et al.*, 2018).

Elektronegativitas dinding sel bakteri memfasilitasi penyerapan kation, seperti ion kalsium, sehingga mendorong pengendapan  $\text{CaCO}_3$  pada dinding sel (Gat *et al.* 2014).

Bakteri ureolitik dapat ditemukan di berbagai sumber di lingkungan, seperti sedimen, stalaktit gua, sedimen laut, dan gundukan batu kapur (Ma *et al.*, 2020). Menggunakan mikroskop elektron dapat melihat  $\text{CaCO}_3$ , yang dibuat oleh bakteri ureolitik dan kalsit yang menutupi dinding sel. Jumlah biosemen yang dapat digunakan untuk membangun dan memperkuat tanah berkorelasi positif dengan jumlah bakteri yang menghasilkan kalsium karbonat (Fitri *et al.*, 2023).

Di banyak lingkungan alami, seperti tanah, formasi geologi, dan biofilm di air, beberapa spesies bakteri ureolitik memainkan peran penting dalam proses presipitasi (pengendapan) mineral karbonat. Hal ini terjadi karena bakteri ini berfungsi sebagai agen geokimia dan menginduksi pembentukan mineral. Beberapa bakteri juga memiliki kemampuan untuk mengendapkan kalsium karbonat, juga dikenal sebagai kalsit, dengan menghasilkan enzim urease, yang menghidrolisis urea (Ningsih dkk., 2018).

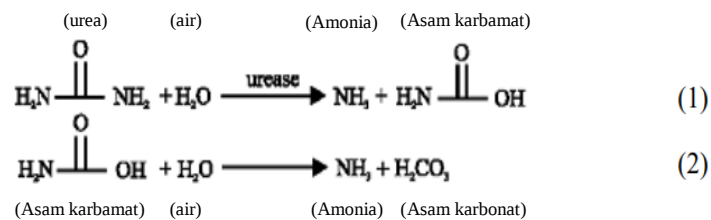
#### **2.4. Mekanisme Enzim pada Bakteri Ureolitik**

Kata enzim berasal bahasa Yunani “*enzyme*” yang berarti “di dalam sel”. Tahun 1978, Wilhem Kuhne yang merupakan psikolog asal Jerman mendeskripsikan enzim sebagai “proses” (Wibowo dkk., 2021). Enzim adalah biokatalisator yang membantu fungsi biologis. Secara umum, enzim menghasilkan kecepatan, spesifikasi, dan kendali pengaturan terhadap

reaksi dalam tubuh; jika tidak, enzim dapat mempercepat reaksi kimia 108–1011 kali lebih cepat (Putra dkk., 2020).

Urease adalah enzim yang ditemukan dalam bakteri ureolitik yang dapat menghidrolisis urea untuk menghasilkan amonia dan karbondioksida. Amonia yang dihasilkan dapat diukur dengan metode spektrofotometri untuk menunjukkan aktivitas enzim urease. Dalam mikroorganisme heterotrofik, enzim urease akan menghidrolisis urea, menghasilkan ion ammonium dan karbonat. Organisme heterotrofik dapat menghasilkan presipitasi kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ). Presipitasi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) adalah fenomena alam yang ditemukan di alam seperti air laut, air, dan tanah. Organisme ini menghasilkan karbonat atau bikarbonat (Linda dkk., 2022).

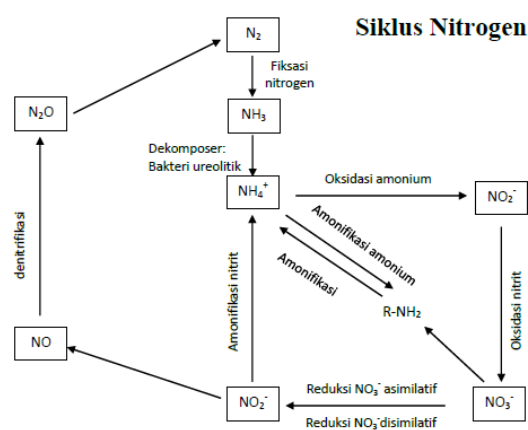
Menurut Zufahair (2018), urease merupakan enzim yang berperan penting sebagai katalis hidrolisis urea menjadi amoniak dan asam karbamat kemudian mengalami reaksi hidrolisis secara spontan membentuk amoniak dan asam karbonat. Reaksi hidrolisis urea oleh urease dituliskan pada reaksi (1) dan (2).



Urease menghidrolisis urea menjadi ammonia dan karbonat. Ini meningkatkan pH lingkungan dan menyebabkan pembentukan kristal kalsium karbonat. Urease biasanya ditemukan pada bakteri, ragi, jamur, alga, invertebrata, dan tumbuhan. Urea digunakan oleh enzim ini sebagai substrat, yang kemudian dihidrolisis menjadi amonia dan asam karbonat. Urease membantu organisme menggunakan urea sebagai sumber nitrogen dan energi (Novanti dan Zulaika, 2018).

## 2.5. Siklus Biogeokimia

Air limbah peternakan sapi yang dicirikan dengan konsentrasi tinggi bahan organik, nutrien (nitrogen dan fosfor), dan mikroorganisme berperan sebagai pemicu utama disrupsi siklus biogeokimia dalam ekosistem perairan. Limbah ini secara langsung memengaruhi siklus karbon, nitrogen, dan fosfor yang merupakan bagian dalam produktivitas dan kesehatan ekosistem akuatik (Gong *et al.*, 2023).



**Gambar 1.** Siklus Nitrogen (Sitaresmi, 2002)

Dalam siklus karbon, beban organik yang tinggi dari air limbah peternakan sapi dapat meningkatkan aktivitas mikroba heterotroph yang mengkonsumsi oksigen terlarut selama dekomposisi bahan organik dan berpotensi menciptakan kondisi hipoksia atau anoksia di kolom air dan sedimen (Liu *et al.*, 2022). Pencemaran nutrien seperti senyawa nitrogen merupakan isu krusial dalam ekosistem perairan global dengan air limbah peternakan sapi menjadi kontributor signifikan terhadap ketidakseimbangan siklus nitrogen. Air limbah peternakan sapi dicirikan oleh konsentrasi amonia ( $NH_3$ ), nitrit ( $NO_2^-$ ), dan nitrat ( $NO_3^-$ ) yang tinggi, serta senyawa nitrogen organik, yang secara kolektif meningkatkan beban nitrogen pada badan air penerima (Wang *et al.*, 2021). Masuknya nitrogen berlebih ini mengganggu keseimbangan alami siklus nitrogen perairan, memicu proses-proses seperti nitrifikasi dan denitrifikasi yang tidak terkontrol. Amonia, yang bersifat toksik bagi organisme akuatik pada konsentrasi tinggi, dapat mengalami oksidasi menjadi nitrit dan nitrat

melalui proses nitrifikasi yang dimediasi oleh bakteri kemoautotrof (misalnya, *Nitrosomonas* spp. dan *Nitrobacter* spp.) (Zeng *et al.*, 2022). Akumulasi nitrat selanjutnya dapat menyebabkan eutrofikasi, sebuah fenomena di mana pertumbuhan alga yang berlebihan mengurangi penetrasi cahaya, menguras oksigen terlarut melalui dekomposisi biomassa alga, dan pada akhirnya menyebabkan zona hipoksia atau anoksia yang merusak kehidupan akuatik (Smith *et al.*, 2020). Selain itu, kondisi anaerobik yang sering terjadi di sedimen perairan yang tercemar limbah peternakan sapi dapat mendorong denitrifikasi, yaitu reduksi nitrat menjadi gas nitrogen ( $N_2$ ) atau oksida nitrosa ( $N_2O$ ) oleh bakteri denitrifikasi. Meskipun denitrifikasi dapat mengurangi beban nitrogen, produksi  $N_2O$  merupakan gas rumah kaca yang kuat, berkontribusi pada perubahan iklim (Galloway *et al.*, 2020). Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang dinamika siklus nitrogen yang terpengaruh oleh air limbah peternakan sapi, serta pengembangan strategi mitigasi yang efektif, sangat penting untuk menjaga keberlanjutan dan kesehatan ekosistem perairan.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi PT. Juang Jaya Abdi Alam, Lampung Selatan dan Laboratorium Mikrobiologi, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Sampel air limbah yang digunakan diambil dari bagian kolam aerasi IPAL PT. Juang Jaya Abdi Alam, Lampung Selatan. Untuk lokasi pengujian sampel dilakukan di waktu penelitian berlangsung selama 3 bulan dimulai dari Desember 2024-Februari 2025.

#### 3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada pengambilan sampel air limbah yaitu botol gelap, gayung, kertas label, *Global Positioning System* (GPS) dan *cool box*. Sedangkan peralatan yang digunakan untuk isolasi dan identifikasi bakteri adalah *autoclave*, *Biological Safety Cabinet* (BSC), inkubator, mikroskop, cawan petri, labu Erlenmeyer, jarum ose, pipet ukur, pipet tetes, mikropipet, mikro tip, batang L, gelas ukur, tabung reaksi, rak tabung reaksi, *vortex mixer*, pH meter, *hot plate*, *magnetic stirrer*, thermometer, bunsen, neraca analitik, kapas, kertas tisu, *aluminium foil*, *plastik wrap*, labu ukur, kapas, dan kertas tisu.

Bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sampel air limbah bak aerasi PT Juang Jaya Abdi Alam Lampung Selatan, larutan NaCl 0,85 %, *chrysal violet*, safranin, iodin, *medium urea agar base* (yaitu agar, pepton, D-Glukosa, NaCl, potassium dihidrogen fosfat, *Phenol red*, urea 40 %),

media *Natrium Agar* (NA), aquades, spirtus, alkohol 70 % dan 95 %, minyak imersi, glukosa, manitol, maltosa, sukrosa, dan laktosa.

### 3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode deskriptif kualitatif untuk mengetahui keberadaan bakteri ureolitik yang terdapat di bak aerasi IPAL PT Juang Jaya Abdi Alam Kabupaten Lampung Selatan. Pengambilan sampel air limbah dilakukan dengan dengan teknik *Grab Sampling* yaitu sampel air limbah yang diambil pada waktu tertentu untuk masing-masing titik yang telah ditentukan sehingga dapat mewakili kondisi kualitas air limbah pada unit IPAL atau badan air secara keseluruhan. Sampel air limbah diambil dari bak aerasi dan dimasukkan ke dalam botol gelap berukuran 500 mL yang sebelumnya sudah dicuci bersih dan dibilas dengan aquades, kemudian sampel air limbah yang telah diambil diidentifikasi warna, bau, pH dan suhu dari air limbah tersebut. Sampel air limbah selanjutnya dilakukan isolasi menggunakan media selektif *urea agar base* (selektif padat) yang mengandung urea, lalu sampel dibiakkan pada suhu ruang (37 °C) selama 48 jam. Indikator positif isolat yang dapat menghasilkan urease ditandai dengan perubahan warna dari kuning pucat menjadi pink keunguan maka bakteri tersebut merupakan penghasil urease (Himedia, 2016).

Bakteri dimurnikan dengan cara sampel bakteri diambil satu persatu sampel bakteri tersebut lalu digoreskan ke dalam masing-masing medium *urea agar base* dan dibiakkan pada suhu ruang (37 °C). Kemudian dilakukan pengamatan morfologi koloni dengan cara yaitu kultur yang ditumbuhkan pada medium selektif padat dengan menginokulasikan 1 (satu) ose isolat. Pengamatan dilakukan setelah inkubasi 48 jam dengan suhu ruang (37 °C). Setelah pemurnian dilakukan penyimpanan isolat dengan menggunakan medium *Nutrient Agar*.

Pengamatan morfologi koloni meliputi bentuk, elevasi, tepian dan karakter optik. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui keragaman bakteri

secara makroskopis. Kemudian dilakukan pengamatan mikroskopis yaitu dengan cara dilakukan fiksasi terhadap preparat ulasan bakteri berumur 24-48 jam. Preparat ulas ditetesi dengan Gram A (*crystal violet*) selama 30 detik, kemudian dibilas dengan air mengalir dan dikeringkan pada udara terbuka. Preparat selanjutnya ditetesi dengan Gram B (*kalium iodide*) selama 45 detik dan kembali dibilas dengan aquades dan dikeringkan. Setelah kering preparat ditetesi dengan Gram C (alkohol 95 %) sampai warna ungu tidak larut lagi. Preparat yang sudah dikeringkan dapat ditetesi dengan Gram D (*safranin*) sebagai warna penutup dibiarkan selama 30-40 detik. Preparat dapat diamati, pengamatan yang dilakukan terhadap warna dan bentuk sel. Hasil identifikasi dan karakterisasi yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kualitatif.

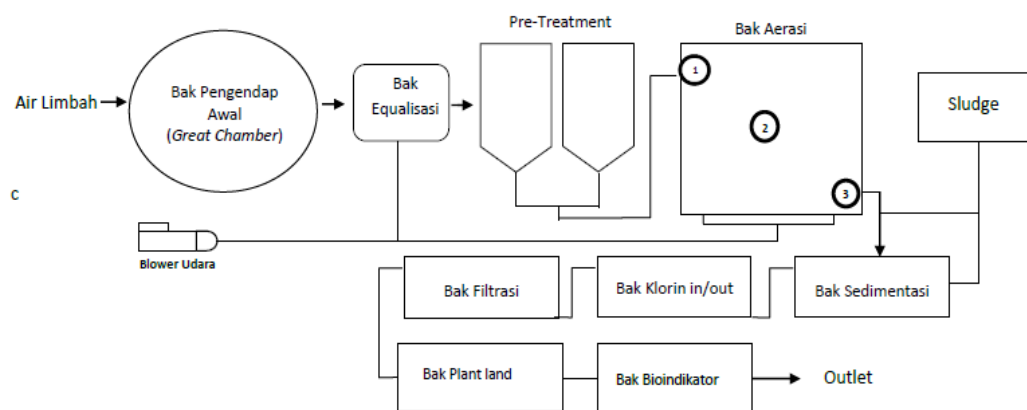
### **3.4. Prosedur Kerja**

#### **3.4.1. Pengambilan Sampel**

Pengambilan sampel air limbah dilakukan di *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) pada bak aerasi di PT. Juang Jaya Abdi Alam, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Lokasi IPAL berada dititik koordinat (-5.6044208, 105.5013315). Teknik pengambilan sampel yang digunakan yaitu metode *Grab Sample* atau sampel sesaat yang mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang air dan air limbah bagian 59: metode pengambilan contoh air limbah yang artinya teknik pengambilan sampel yang dilakukan secara sesaat. Pengambilan sampel dilakukan pada air permukaan kolam aerasi pada waktu tertentu dengan 3 titik sampling yang telah diberi batas jarak 5 meter, kemudian dilakukan komposit sampel. Komposit atau penggabungan pada 3 titik sampling menjadi 1 sampel. Berikut lokasi pengambilan sampel air limbah terdapat pada gambar 1.



**Gambar 2.** Lokasi Pengambilan Sampel Air Limbah (Dokumentasi Pribadi, 2024).



**Gambar 3.** Titik Pengambilan Sampel Air Limbah pada Kolam Aerasi (Dokumentasi Pribadi, 2024).

Kriteria air limbah yang akan dijadikan sampel dari kolam aerasi terlebih dahulu dilakukan pengukuran pH, suhu, TSS, DO, dan COD. Sampel air limbah yang diambil pada 4 waktu yang berbeda yaitu pada pukul 09.00 WIB, 11.00 WIB, 13.00 WIB, dan 15.00 WIB dengan 3 titik pengambilan yang berbeda pada bak aerasi. Pengambilan sampel menggunakan gayung bertangkai. Sampel yang terdiri dari 3 titik pengambilan per waktu yang sama tersebut digabungkan menjadi 1 botol sampel berukuran 500 mL sampel dengan masing-masing titik sampling diambil sebanyak 100 mL.

Sampel air limbah yang diambil kemudian dimasukkan ke dalam botol gelap steril dan dibawa ke laboratorium menggunakan *cool box* pada suhu  $<10^{\circ}\text{C}$  yang mengacu pada SNI 9063:2022: metode pengambilan contoh uji air limbah untuk parameter biologi. Pengambilan sampel dilakukan pada kolam aerasi (Pambudi dkk., 2017).

#### 3.4.1.1. Pengujian Parameter Lingkungan

Adapun beberapa parameter yang diuji diantaranya sebagai berikut.

##### a. Pengukuran pH

Dilakukan pengukuran menggunakan pH meter, pertama yakni ujung pH meter dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan akuades dan bersihkan dengan tisu secara perlahan. Kemudian pH meter dimasukkan kedalam sampel air dan tunggu beberapa menit sampai ilainya stabil, kemudian dicatat hasilnya

##### b. Pengukuran DO (*Dissolved Oxygen*) dan Suhu

Dilakukan pengukuran menggunakan alat DO meter yaitu pertama-tama dikalibrasi terlebih dahulu alat tersebut menggunakan akuades, kemudian dicelupkan pen DO meter ke dalam sampel air lalu ditekan tombol power, kemudian ditunggu selama 2-5 menit hingga nilainya stabil dan dicatat hasilnya (SNI 06-6989. 14-2004).

##### c. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Penentuan kadar COD yang terkandung pada sampel air limbah menggunakan alat colorimeter Hach DR 900 yang mengacu pada DOC 316.53.01099. diambil 2 mL sampel yang telah disiapkan menggunakan pipet volumetric dan dimasukkan kedalam vial yang berisi reagen COD dan dilakukan homogenisasi

menggunakan vortex dan disiapkan blanko.

Kemudian dilakukan pemanasan terhadap sampel dan blanko dan DRB 200 Hach pada suhu 150 °C selama 2 jam lalu didiamkan sampel pada suhu ruang.

Selanjutnya oarameter COD di cek menggunakan alat colorimeter Hach DR 900 dan dicatat parameter yang muncul pada layar colorimeter Hach DR 900 (Sufra *et al.*, 2024).

**d. Total Suspended Solid (TSS)**

Analisis TSS menggunakan alat yang bernama Hach DR 900, diawali dengan kalibrasi alat menggunakan alat yang berisi blanko sebanyak 10 mL, lalu sampel dimasukkan kedalam tabung sampel sebanyak 10 mL kemudian dimasukkan ke alat tersebut dan klik RECHTS untuk mendapatkan nilai TSS (Muna dan Sitogasa, 2023).

**e. Amonia (NH<sub>3</sub>-N)**

Analisis ammonia menggunakan alat handheld colorimeter Ammonia HR. Adapun tahapan penggunaan alat sebagai berikut.

1. Aktifkan alat dengan menekan tombol on. Semua segmen akan ditampilkan selama beberapa detik, diikuti dengan tambah C.1 dengan tekan yang berkedip
2. Diambil 1 mL sampel yang tidak bereaksi ke dalam kuvet menggunakan jarum suntik. Selanjutnya ditambah 9 mL sampel menggunakan pipet tetes ke H1733B-0 *Ammonia High Range reagent B*. Kemudian dipasang kembali tutup dan diputar larutan hingga homogen dan kuvet dimasukkan ke dalam pemeriksa dan tutup penutupnya.

3. Ditekan tombol on hingga menampilkan tambah C.2 tekan hingga berkedip lalu pemeriksa di nol atau kondisi zero
4. Kuvet dilepaskan dan dibuka tutupnya lalu ditambah 4 tetes reagen H1733A-0 Ammonia High Range. Dipasang kembali tutup dan putar
5. Dimasukkan kuvet ke dalam pemeriksa dan tutup penutupnya. Tekan dan tahan tombol power. Layar akan menunjukkan hitungan mundur sebelum pengukuran lalu ditunggu 3 menit 30 detik kemudian di tekan tombol
6. Instrument menampilkan hasil dalam mg/L (ppm) ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Untuk mengubah pembacaan menjadi ppm ammonia (NH<sub>3</sub>), kalikan pembacaan dengan faktor 0,944. Untuk mengubah pembacaan menjadi ppm nitrogen ammonia (NH<sub>3</sub>-N), kalikan pembacaan dengan faktor 0,776. Pemeriksa secara otomatis mati setelah 10 menit. Pengujian parameter lapangan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Pengujian Parameter Lingkungan

| Waktu | Parameter |    |    |     |     |                    |
|-------|-----------|----|----|-----|-----|--------------------|
|       | Suhu      | pH | DO | TSS | COD | NH <sub>3</sub> -N |
| 09.00 |           |    |    |     |     |                    |
| WIB   |           |    |    |     |     |                    |
| 12.00 |           |    |    |     |     |                    |
| WIB   |           |    |    |     |     |                    |
| 15.00 |           |    |    |     |     |                    |
| WIB   |           |    |    |     |     |                    |

#### 3.4.2. Homogenisasi Sampel Air Limbah

Sampel air limbah yang diambil pada 3 waktu yang berbeda yaitu pada pukul 09.00 WIB, 12.00 WIB, dan 15.00 WIB dengan 3 titik pengambilan pada kolam aerasi digabungkan dalam botol gelap steril, kemudian diambil sebanyak 5 mL ke dalam Erlenmeyer steril. Selanjutnya ditambahkan 45 mL NaCl 0,85 %, lalu

dihomogenkan. Hasil homogenisasi sampel air limbah ini dijadikan sebagai pengenceran pertama ( $10^{-1}$ ). Sampel dari tabung Erlenmeyer pengenceran  $10^{-1}$  diambil 1 mL menggunakan mikropipet kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 mL NaCl 0,85 % lalu dihomogenkan menggunakan *vortex* sebagai pengenceran  $10^{-2}$ . Prosedur kerja dilakukan dengan cara yang sama hingga tingkat pengenceran  $10^{-5}$  (Taniwan dkk., 2016).

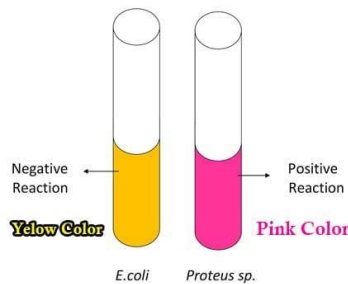
### 3.4.3. Isolasi Bakteri Ureolitik

Isolasi bakteri ureolitik dilakukan dengan metode *spread plate* menggunakan media urea agar base. Selanjutnya setiap suspensi dari pengenceran  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , dan  $10^{-5}$  diambil sebanyak 0,1 mL menggunakan mikropipet, kemudian diinokulasi ke dalam cawan petri berisi media selektif urea agar base dan diratakan menggunakan *drigalski*. Isolasi bakteri dilakukan masing-masing 2 kali ulangan (duplo). Selanjutnya cawan petri diinkubasi pada suhu ruang ( $37^{\circ}\text{C}$ ) selama 3x24 jam (Adril dan Yuni., 2020).

### 3.4.4. Uji Kemampuan Urease

Indikator positif isolat yang berpotensi dalam menghasilkan enzim urease pada media *urea agar base* ditandai dengan perubahan warna media menjadi pink keunguan. Selanjutnya isolat yang berpotensi menghasilkan enzim urease diseleksi dan ditumbuhkan kembali pada cawan petri berisi media urea agar base dengan metode titik. Kemudian cawan petri diinkubasi pada suhu ruang dengan posisi terbalik selama 3x24 jam pada suhu ruang ( $37^{\circ}\text{C}$ ). Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa isolat bakteri yang dipilih benar-benar memiliki kemampuan dalam mendegradasi urea. Selanjutnya dilakukan pengamatan kepekatan warna indikator positif ureolitik. Berikut gambar hasil positif pada uji Urease yaitu terdapat perubahan warna pada media urea agar

base menjadi pink keunguan dan uji negatif menunjukkan tidak ada perubahan warna.



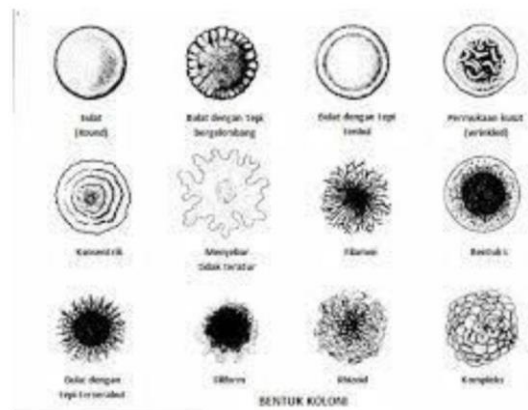
**Gambar 4.** Hasil Pengujian Positif dan Negatif Urease  
(Sapkota, 2022)

#### 3.4.5. Pemurnian Isolat Bakteri Ureolitik

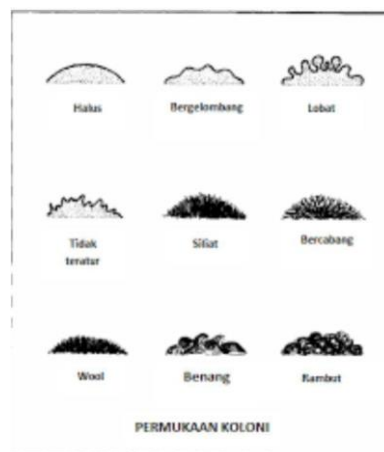
Pemurnian dilakukan dengan menggunakan isolat bakteri yang berpotensi dalam menghasilkan enzim urease. Isolat bakteri diambil sebanyak 1 ose kemudian digoreskan pada permukaan media *urea agar base* dengan metode *streak plate* (kuadran) dan diinkubasi pada suhu ruang selama 3x24 jam. Tujuan dari pemurnian adalah untuk mendapatkan koloni tunggal. Koloni tunggal yang diperoleh kemudian dijadikan stok pada agar miring untuk diidentifikasi secara mikroskopis, makroskopis, dan fisiologis (Friska dkk., 2015).

#### 3.4.6. Identifikasi Karakter Makroskopis

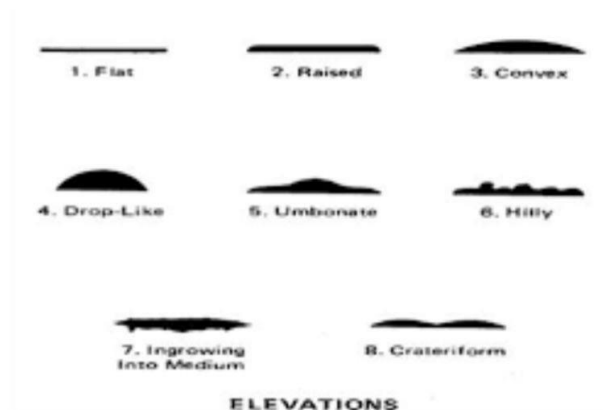
Pengamatan secara makroskopis meliputi bentuk koloni, bentuk tepi koloni, elevasi, dan warna koloni bakteri ureolitik berdasarkan buku identifikasi morfologi bakteri.



**Gambar 5.** Bentuk Morfologi dari Atas  
(Hadioetomo, 1993)



**Gambar 6.** Bentuk Morfologi dari Tepi  
(Hadioetomo, 1993)



**Gambar 7.** Bentuk Morfologi dari Bentuk Penonjolannya  
(Hadioetomo, 1993)

### 3.4.7. Identifikasi Karakter Mikroskopis

Identifikasi karakter mikroskopis dari bakteri ureolitik meliputi pewarnaan Gram dan pewarnaan endospora.

#### 3.4.7.1. Pewarnaan Gram

Biakan bakteri digoreskan 1 ose ke atas kaca objek secara aseptik lalu diratakan dan difiksasi. Preparat lalu ditetesi kristal violet dan didiamkan 1 menit, kemudian dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat ditetesi lugol/iodin dan didiamkan 1 menit, lalu dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat ditetesi alkohol 70 % selama 30 detik hingga lapisan tampak lebih pucat. Terakhir, preparat ditetesi safranin dan didiamkan 1 menit, lalu dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Preparat kemudian diamati di bawah mikroskop mulai dari perbesaran kecil terlebih dahulu. Jika sel bakteri berwarna merah maka bakteri tersebut Gram negatif, sedangkan bila sel bakteri berwarna ungu maka bakteri tersebut Gram positif (Panjaitan dkk., 2020).

#### 3.4.7.2. Pewarnaan Endospora

Biakan bakteri digoreskan 1 ose ke atas kaca objek secara aseptik lalu diratakan dan difiksasi. Preparat kemudian ditetesi *malachite green* selama 10 menit lalu dibilas dengan aquades mengalir dan dikering anginkan. Preparat lalu ditetesi safranin selama 10 detik, dibilas dengan aquades mengalir dan dikeringanginkan. Selanjutnya preparat diamati dibawah mikroskop mulai dari perbesaran kecil terlebih dahulu dengan memberikan keterangan

bentuk sel, bentuk spora, dan letak spora (Agustina dkk., 2013).

### **3.4.8. Identifikasi Karakter Fisiologis**

Identifikasi karakter fisiologis berdasarkan pada buku panduan *Bergey's Manual of Determinative Ninth Edition* (1994).

#### **3.4.8.1. Uji Katalase**

Uji katalase digunakan dalam melakukan identifikasi kelompok bakteri yang menghasilkan enzim katalase. Dilakukan dengan cara di atas kaca objek ditetesi satu tetes  $\text{H}_2\text{O}_2$  3 %, kemudian ditambahkan koloni bakteri dan langsung diamati terjadinya penguraian hidrogen peroksida. Dinyatakan positif bila menghasilkan enzim katalase yang ditandai dengan terbentuknya gelembung udara dan negatif bila tidak ada gelembung udara. Hal ini terjadi karena bakteri tersebut apabila ditambahkan hidrogen peroksida menghasilkan peroksida (Nuryanti dkk., 2021).

#### **3.4.8.2. Uji Fermentasi Karbohidrat**

Uji fermentasi dilakukan untuk melihat kemampuan bakteri dalam memfermentasi beberapa jenis karbohidrat (glukosa, sukrosa, fruktosa, dan laktosa) serta menghasilkan asam akibat proses fermentasi. Uji fermentasi dilakukan dengan cara satu ose isolat bakteri diambil dan dimasukkan dalam tabung reaksi yang dilengkapi dengan tabung durham berisi *Phenol red* dengan sumber karbohidrat berupa glukosa, sukrosa, dan laktosa. Selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang ( $37^\circ\text{C}$ ) selama 48 jam. Uji Positif ditunjukkan dengan perubahan

warna media dari merah menjadi kuning dan terbentuk gelembung di dalam tabung durham yang merupakan gas hasil fermentasi (Pangestu dkk., 2014).

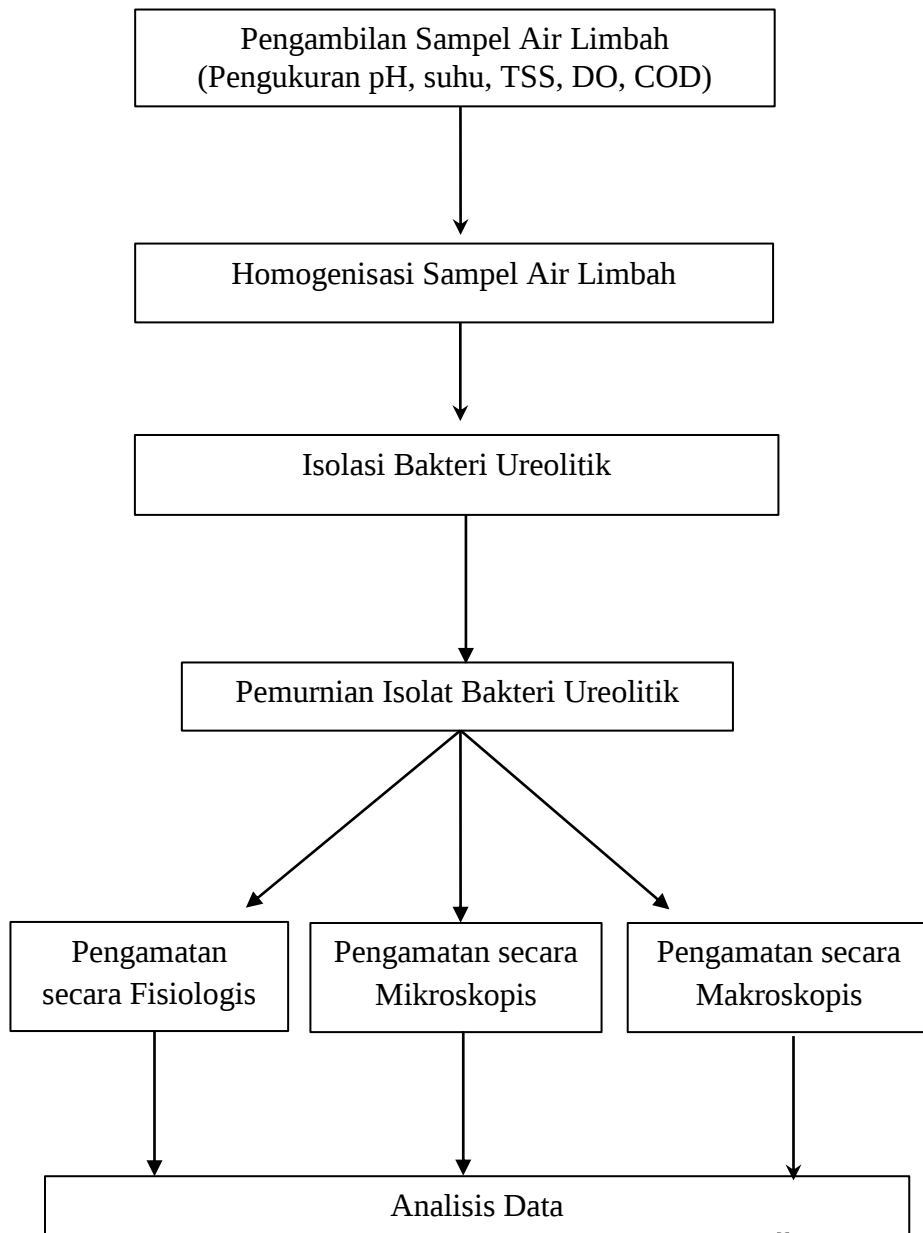
#### **3.4.8.3 Uji Motilitas**

Uji motilitas bertujuan untuk melihat pergerakan bakteri di dalam media tumbuh. Biakan bakteri diambil menggunakan jarum ose secara aseptik dan diinokulasikan secara vertikal pada media NA semi solid serta diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang untuk melihat pertumbuhan dari masing-masing bakteri tersebut (Panjaitan dkk., 2020). Uji positif ditunjukkan dengan adanya pertumbuhan bakteri yang menyebar (motil), sedangkan uji negatif ditunjukkan dengan pertumbuhan bakteri yang tidak menyebar (non motil).

### **3.5. Analisis Data**

Data yang diperoleh berupa hasil uji kualitatif aktivitas enzim urease dan hasil identifikasi bakteri dianalisis secara deskriptif berdasarkan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteria 2nd edition* (Noel et al., 1989), *Cowan and Steel's Manual for the Identification of Medical Bacteria* (3rd Ed.) (Barrow, G.I. and R.K.A. Feltham, 1993) dan *Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology Fourteen Edition* (Tille, 2017).

### 3.6. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 8.** Diagram Alir Penelitian

## V. KESIMPULAN

### 5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, simpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Isolat bakteri ureolitik dari kolam aerasi air limbah peternakan sapi memiliki kemampuan positif yang signifikan dalam memproduksi enzim urease. Enam isolat bakteri ureolitik menunjukkan konsentrasi urease paling tinggi
2. Isolat bakteri ureolitik dari sampel air limbah kolam aerasi menunjukkan karakteristik morfologi dan mikroskopis yang beragam seperti bentuk sel *bacil*, *coccus*, dan *coccobacil*. Karakteristik fisiologi isolat bakteri ureolitik bersifat Gram positif, bersifat motil pada isolat CLR9.4, CLR9.6, CLR12.2, dan CLR15.4, dan positif uji katalase. Bakteri ini juga terbukti adaptif pada lingkungan dengan suhu 27-29° C, DO rendah (0-0,4 mg/L), dan COD tinggi (>1.500 mg/L).
3. Isolat bakteri ureolitik dari sampel air limbah kolam aerasi berhasil diidentifikasi pada tingkat genus. Lima genus bakteri yang didapat yaitu *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Planococcus*, dan *Paenibacillus*.

### 5.2. Saran

Perlu dilakukan identifikasi spesies secara lebih dalam untuk keenam isolat dengan aktivitas urease tertinggi menggunakan metode molekuler seperti sekuensing gen 16S rRNA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adril, M., dan Y. Lisafitri. 2020. Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat Genus *Pseudomonas* dari Tanah Masam Bekas Areal Perkebunan Karet di Kawasan Institut Teknologi Sumatera. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 21(1): 40-48.
- Ambarsari, H., Asriyani, L., & Ridlo, A. (2020). Isolasi dan Produktivitas Bakteri Ureolitik dari Sedimen Muara Sungai Citarum (*Isolation and productivity of ureolytic bacteria from Citarum River Estuary sediments*). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 147-156.
- Agustina, D., C.Yulvizar, dan R. Nursanty. 2013. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri pada Ikan Kembung (*Rastrelliger* sp.) Asin Berkitosan. *Biospecies*. 6(1): 15-19.
- Agustine, L., Okfrianti, Y., & Jumiyati, J. (2018). Identifikasi Total Bakteri Asam Laktat (BAL) pada Yoghurt dengan Variasi Sukrosa dan Susu Skim. *Jurnal Dunia Gizi*, 1(2), 79-83.
- Aliyu, A. D., M. Mustafa., N. A. Abd Aziz., Y. C. Kong., dan N. S. Hadi,. 2023. Assessing indigenous soil ureolytic bacteria as potential agents for soil stabilization. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*. 8(1): 75128.
- Fadillah, W., Rasyidah., Mayasari, U. 2022. Isolasi dan Karakterisasi Baakteri Heterotrofik Pada Kawasan Perairan Pantai Indah Kalangan, tapanuli Tengah. *Jurnal Metamorfosa: Journal of Biological Sciences* 9(2): 306-317
- Firmansyah., Y. Witsqa., O. Setiani, dan Y. H. Darundiati. 2023. “Kondisi Sungai di Indonesia Ditinjau dari Daya Tampung Beban Pencemaran: Studi Literatur.” *Jurnal Serambi Engineering*. 6(2): 1879-1890.
- Fisma, I, Y., Bhernama, B, G. (2020). Analisis Air Limbah yang Masuk pada *Wastewater Treatment Plant* (WWTP). *AMINA* 2(2), 50-58
- Friska, W., S. Khotimah., dan R. Linda. 2015. Karakteristik Bakteri Pelarut Fosfat pada Tingkat Kematangan Gambut di Kawasan Hutan Lindung Gunung Ambawang Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Protobiont*. 4(1): 197-202.

- Galloway, J. N., Leach, A. M., Erisman, J. W., & Smith, V. H. 2020. The Nitrogen Cascade: An Overview of the Pathways and Processes of Reactive Nitrogen in the Environment. *Environmental Research Letters*, 15(11), 113002.
- Gat, D., M. Tsesarsky., D. Shamir., dan Z. Ronen. 2014. Accelerated microbial induced  $\text{CaCO}_3$  precipitation in a defined coculture of ureolytic and nonureolytic bacteria. *Biogeosciences*. 11: 2561-2569. DOI: 10.5194/bg-11-2561-2014.
- Gong, X., Li, X., Wang, Y., & Zhang, H. (2023). Impact of Livestock Manure Runoff on Biogeochemical Cycles in Freshwater Ecosystems: A Review. *Journal of Environmental Management*, 345, 118742.
- Hamidah, M, N., L, Hamidah, Romadhon. 2019. Aktivitas Antibakteri Isolat Bakteri Asam Laktat Dari Peda dengan Jenis Ikan Berbeda Terhadap *E.coli* dan *S. aureus*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*. 1(2): 11-21
- Haryati, K. 2020. Pengujian Kualitas Mikrobiologi Ikan Ekor Kuning Asap Dari Pasar Youtefa Papua. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indoensia*. 23(3): 486-494.
- Heatubun, A., dan M. J. Matatula. 2023. Produksi Daging Sapi di Indonesia dan Skenario Peningkatan: Sebuah Analisis Dampak untuk Pengambilan Kebijakan. *Agrinimal Jurnal Ilmu Ternak dan Tanaman*. 11(2): 92-100
- Heryadi, E., A. Rauf., dan S. C. Andini. 2024. Analisa Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Manggar Kota Balikpapan. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*. 8(1): 47-58.
- Holt, G. H., Krieg, R.N., Sneath, H.P., Staley, S.A.T.J., Staley, Williams, T.S. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Ninth Edition*. USA.
- Irdawati, N. R. Amanda., A. Putri., S. Pebryeni., V. C. Efandri., D. Suherman., dan F. Yeriska. 2023. Identifikasi dan Karakterisasi Isolat Bakteri LFP di Laboratorium Fisika, Universitas Negeri Padang. 242–252.
- Kamallia, S., M. Hasbi., dan Budijono. 2021. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penghasil Biosurfaktan Asal Limbah Cair Tahu UD. Dika Putra, Provinsi Riau. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 9(1): 16-22.
- Karimela, E. J., Ijong, F. G., & Dien, H. A. (2017). Karakteristik *Staphylococcus aureus* yang Diisolasi dari Ikan Asap Pinekuhe Hasil Olahan Tradisional Kabupaten Sangihe. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(1), 188-198.

- Khajah, M., Bydalek, F., Babatunde, AO., Al-Matouq, A., Wenk, J., Webster, G. (2023) Nitrogen removal performance and bacterial community analysis of a multistage step-feeding tidal flow constructed wetland. *Front. Water* 5:1128901. doi: 10.3389/frwa.2023.1128901
- Linda, T. M., M. D. D. Ningsih., B. L. Fibriarti., S. Andini., dan D. Futra. 2022. Aktivitas Urease dan Pembentukan Kalsium Karbonat oleh Bakteri Ureolitik. *Lentera Bio: Berkala Ilmiah Biologi*. 11(1): 139-143.
- Liu, M., Zhang, T., Wu, G., & Lin, Y. (2022). Carbon Dynamics in Aquatic Environments Under the Influence of Agricultural Wastewater Discharge. *Science of the Total Environment*, 852, 158498.
- Lowe, S, U., Stanton, C., Hill, C., Ross, P. 2024. *Planococcus notacanthi* sp. Nov., isolated from the skin of a deep sea snub-nosed spiny eel. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. Vol. 74 (3).
- Ma, L., A. P. Pang., Y. Luo., X. Lu., dan F. Lin. 2020. Beneficial factors for biomineralization by ureolytic bacterium *Sporosarcina pasteurii*. *Microb Cell Fact*. 19: 12. DOI: 10.1186/s12934-020-1281-z.
- Madigan, M, T., Bender, K, S., Buckley, D, H., Sattley, W, M., Stahl, D, A. (2018). *Brock Biology of Microorganisms*. Pearson.
- Maulidian, C. D., R. D. Chrisnandari., dan E. S. A. Setiawan. 2023. Analisis Pembakaran Gas Metana pada Unit Flaring *Wastewater Treatment Plant* (WWTP). *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*. 9(4): 362-371.
- Ningsih, M. D. S., T. M. Linda., dan B. L. Fibriarti. 2018. Isolasi dan Keragaman Bakteri Ureolitik Lokal Riau yang Berpotensi sebagai Campuran Beton. *Al-Kauniyah*. 11(1): 57-63.
- Novanti, R., dan E. Zulaika. 2019. Pola Pertumbuhan Bakteri Ureolitik pada Medium *Calcium Carbonate Precipitation* (CCP). *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 7(2): 34-35.
- Nuryanti, S., A. R. Fitriana., dan Pratiwi. 2021. Karakterisasi Isolat Bakteri Penghasil Selulosa dari Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*).
- Pambudi, A., T. W. Susanti, dan Priambodo. 2017. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Tanah Sawah di Desa Suka Wali dan Desa Belimbing, Kabupaten Tangerang. *Al-Kauniyah Journal of Biology*. 10(2): 105-113.
- Pangestu, R., M. M. Gulli., dan Miswan. 2014. Deteksi Bakteri Resistensi Merkuri pada Areal Tromol Pertambangan Emas Kelurahan Poboya, Provinsi Sulawesi Tengah. *Biocelbes*. 8(1): 1-9.

- Panjaitan, I., T. Rumiyan, C. A. Patria., dan A. Sofiana. 2024. Pendampingan dan Penerapan Produksi Bersih Melalui Pengelolaan Terpadu Limbah Usaha Sapi Perah di *Gisting Dairy Farm* (GDF). *Jurnal Pengabdian Nasional*. 5(1): 18-25.
- Panjaitan, F. J., T. Bachtar., I. Arsyad., O. K. Lele., W. dan Indriyani. 2020. Karakterisasi Mikroskopis dan Uji Biokimia Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dari Rizosfer Tanaman Jagung Fase Vegetatif. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Lingkungan*. 1(1): 9-17.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2017. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi, kolam renang, solus per aqua, dan pemandian umum*. Jakarta.
- Phang, I. R. K., Y. San Chan., K. S. Wong., dan S. Y. Lau. 2018. Isolation and characterization of urease-producing bacteria from tropical peat. *Biocatal Agric Biotechnol*. 13: 168-175. DOI: 10.1016/j.bcab.2017.12.006.
- Povis, A, A, L., Pérez, E, A, S., Quispe, K, A, O., Yanqui, P, V, G. 2024. Effect of dissolved oxygen concentration on biomass production in wastewater. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. Vol. 19;
- Preiss, L., Meier, T., Suzuki, S., Hicks, D, B., Krulwich, T, A. 2015. Alkaliphilic bacteria with impact on industrial applications, concepts of early life form, and bioenergetics of ATP synthesis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 3: 75, doi: 10.3389/fbioe.2015.00075
- Prescott, L, M., Harley, J, P. Klein, D, A. (2017). *Prescott's Microbiology*. McGraw-WHill Education.
- Purwaningsih, D., D. Wulandari. 2021. Uji Aktibakteri Hasil Fermentasi Bakteri Endofit Umbi Talas (*Colocasia esculenta* L) terhadap Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. *Jurnal Sains dan Kesehatan*. 3(5): 750-759.
- Putra, W. A., A. R. Diharmi., dan R. Karnila. 2021. Aktivitas Ekstrak Kasar Enzim Kolagenase dari Organ dalam Ikan Malong (*Congresox talabon*) pada pH Berbeda. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*. 13(1): 27-30.
- Romadhonah, S., C. dan Arif. 2020. Analisis Kualitas Air dan Removal Efficiency Wastewater Treatment Plant (WWTP) di PT. Indonesia Power UPJP Priok Jakarta.
- Sabrillah, N., S. P. Nitoy., P. Pitriani., K. Sanjaya., M. Magdalena., dan R. S. Wahid. 2024. Efektivitas Biofilter dalam Mereduksi Polutan Organik pada Air Limbah di RPA Palu. *Jurnal Promotif Preventif*. 7(2): 185-197.

- Saidi, D., Maryam., dan I. W. Widiarti. 2022. *Pengelolaan Limbah Ternak sapi*. LPPM UPN Veteran: Yogyakarta.
- Salsabila, A. F., L. Syafnir., V. M. dan Patricia. 2022. Penelusuran Pustaka Potensi Antibakteri Ekstrak Kulit Pepaya (*Carica papaya* L.) terhadap Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Dalam Bandung Conference Series: Pharmacy*. Vol. 2, No. 2; 700-706.
- Sari, AI, dan S. Emawati. 2020. Upaya Pengembangan Peternakan Sapi Potong Tanpa Limbah di Desa Bentangan Kabupaten Klaten. *AgriHealth Jurnal Agri-pangan, Gizi dan Kesehatan Masyarakat*, 1 (1), 39-46.
- Schacksen, P. S., Macedo, W. V., Rellegadla, S., Vergeynst, L., & Nielsen, J. L. (2025). Dynamics of nitrogen-transforming microbial populations in wastewater treatment during recirculation of hydrothermal liquefaction process-water. *Water Research*, 276, Article 123254. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123254>
- Sianipar, G. W. S., Sartini, Riyanto. 2020. Isolasi dan KarakterisTIK Bakteri Endofit pada Akar Pepaya (*Carica papaya* L.). *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*. 2(2):83-92.
- Smith, V. H., Ghadouani, A., & Paerl, H. W. (2020). *Eutrophication, Cyanobacterial Blooms and Aquatic Ecosystem Health: A Review*. *Hydrobiologia*, 847(11), 2415-2432.
- Soleman, A., A. Tutuhaturunewa., dan R. Pakay. 2022. Analisis Kualitas Limbah Wastewater Treatment Plant (WWTP) dengan Metode Seven Tools. *Seminar Nasional "Archipelago Engineering"*.
- Sukamta, S., M. A. Shomad., dan A. Wisnujati. 2017. Pengelolaan Limbah Ternak Sapi menjadi Pupuk Organik Komersial di Dusun Kalipucang, Bangunjiwo, Bantul, Yogyakarta. *Berdikari: Jurnal Inovasi dan Penerapan Ipteks*. 5(1): 1-10.
- Sunarti, T, C., Suprihatin., Lauda, R, D. 2014. Stabilisasi *Sludge* Dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Menggunakan Starter Bakteri Indigenous Pada *Aerobic Sludge Digester*. *Jurnal Agroindustri Indonesia*. 3(1): 201-214
- Taniwan, S., D. Suryanto., dan I. Nurwahyuni., 2021. Isolasi dan Karakterisasi Parsial Bakteri Pelarut Fosfat dari Guano Gua Kampret dan Uji Kemampuannya dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Biosains*. 2(2): 82-90.

- Thohiroh, M., M. Ali., N. Hendrasarie., dan F. Rosariawari. 2021. Pengelolaan Limbah Cair Peternakan Sapi dengan Intervensi Oxidation Pond untuk Menyelesaikan Permasalahan Bau dan Risiko Kontaminasi Badan Air. *Enviro US*. 1(2): 102-109.
- Velazquez, L, F., Rajbanshi, S., Guan, S., Hinchee, M., Welsh, A. 2020. *Paenibacillus ottowi* sp.nov. isolated from a fermentation system processing bovine manure. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. Volume 70 (3)
- Wang, Y., Li, J., Zhang, X., & Liu, X. (2021). Impact of Livestock and Poultry Wastewater Discharge on Nitrogen Transformation and Eutrophication in Receiving Water Bodies. *Environmental Pollution*, 280, 117079.
- Wibowo, S. A., R. Yuliatmo., T. Maryati., dan I. Pahlawan. 2021. *Enzyme for leather*. Yogyakarta: Penerbit Sepadan Putra Mandiri.
- Wibowo, R. H., S. R. Sembiring, Sipriyadi, W. Darwis, R. Supriyati, T. Hidayah, S. P. Yudha. 2022. Kemampuan Bakteri Endofit Pelarut Fosfat Dari Tumbuhan Akar Kuning (*Arcangelisia flava* (L.) Merr) Asal Pulau Enggano, Provinsi Bengkulu. Al Kauniyah: *Jurnal Biologi*. 15(2): 171-181.
- Willy, T. E. D. W., dan J. Mukono. 2023. Pengolahan Air Limbah Proses Utama Menggunakan *Wastewater Treatment Plant* pada PT. Indonesia Power Grati POMU. *Media Gizi Kesmas*. Vol. 12(1): 66-74.
- Wulandari, P. R. 2014. Perencanaan Pengolahan Air Limbah Sistem Terpusat (Studi Kasus di Perumahan PT. Pertamina Unit Pelayanan III Plaju–Sumatera Selatan). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2(3): 499-509.
- Yuliana, N., Sarkono., Hidatari, E., dan Faturrahman. (2022). Isolasi, Karakterisasi dan Identifikasi *Bacillus* spp. Berasosiasi Abalon (*Halotis asinina*). *SJBIOS:Samota Journal of Biological Sciences*. 1 (1).
- Zeng, Z., Li, J., Chen, H., & Lin, C. (2022). Ammonia Oxidation and Nitrification in Aquatic Environments Contaminated by Agricultural Runoff. *Water Research*, 211, 118023.
- Zhang, W., Zhang, H., Xu, R., Qin, H., Liu, H., Zhao, K. 2023. Heavy metal bioremediation using microbially induced carbonate precipitation: Key factors and enhancement strategies. *Front. Microbiol*. 14:1116970. doi: 10.3389/fmicb.2023.1116970
- Zusfahair, Z., D. R. Ningsih., A. Fatoni., dan D. S. Pertiwi. 2018. Pemurnian Parsial dan Karakterisasi Urease dari Biji Kacang Panjang (*Vigna unguiculata* subsp. sesquipedalis L.). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. 14(1): 72-83.