

**SKRIPSI**

**PERBANDINGAN EFEKTIVITAS STARTER BAKTERI  
INOLA 121 DAN EM4 UNTUK MENURUNKAN KADAR  
KONTAMINAN PADA AIR LIMBAH INDUSTRI GULA  
MENGUNAKAN KOLAM AERASI**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**WAODE ELSA VERORA  
D131181330**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**SKRIPSI**

**PERBANDINGAN EFEKTIVITAS STARTER BAKTERI  
INOLA 121 DAN EM4 UNTUK MENURUNKAN KADAR  
KONTAMINAN PADA AIR LIMBAH INDUSTRI GULA  
MENGUNAKAN KOLAM AERASI**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**WAODE ELSA VERORA  
D131181330**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PERBANDINGAN EFEKTIVITAS STARTER BAKTERI  
INOLA 121 DAN EM4 DALAM MENURUNKAN KADAR  
KONTAMINAN PADA AIR LIMBAH INDUSTRI GULA  
DENGAN SISTEM KOLAM AERASI**

Disusun dan diajukan oleh

**Waode Elsa Verora  
D131181330**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 23 Januari 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Achmad Zubair, M.Sc.  
NIP 19590116198021001

Pembimbing Pendamping,

Nur An-nisa Putry Mangarengi, S.T., M.Sc.  
NIP 199201142021074001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.  
NIP 197204242000122001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Waode Elsa Verora  
NIM : D131181330  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**Perbandingan Efektivitas Starter Bakteri Inola 121 dan Em4 dalam Menurunkan Kadar Kontaminan Pada Air Limbah Industri Gula dengan Sistem Kolam Aerasi**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 21 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Waode Elsa Verora

## ABSTRAK

Teknologi yang berkembang sangat pesat serta pertumbuhan penduduk yang tinggi mengakibatkan timbulnya berbagai macam limbah yang berdampak pada peningkatan pencemaran lingkungan. Salah satu aktivitas produksi yang menghasilkan buangan limbah cair terbesar dengan kandungan bahan organik yang tinggi yaitu industri gula. Limbah cair industri gula mengandung berbagai unsur berbahaya yang dapat mencemari lingkungan jika dialirkan langsung ke badan air tanpa adanya pengolahan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu pengamatan dan konsentrasi bakteri dalam proses bioremediasi air limbah industri gula menggunakan inola 121 dan em4 serta menganalisis perbandingan efisiensi penyisihan kadar kontaminan gula menggunakan inola 121 dan em4.

Metode pada penelitian ini yaitu dilakukan pengolahan air limbah dan analisis kualitas air limbah industri gula untuk mengetahui efektivitas dari inola 121 dengan em4 dalam mereduksi kontaminan pada air limbah industri gula. Penelitian ini terdiri dari variabel bebas diantaranya inola 121 dan em4 konsentrasi bakteri dan waktu pengamatan dan variabel terikat yaitu efektivitas bioremediasi inola 121 dan em4 pemilihan variasi konsentrasi bakteri dan variasi waktu tinggal.

Efisiensi penyisihan kontaminan untuk variasi waktu pengamatan 1-6 hari serta variasi konsentrasi bakteri 10%, 20%, 30% dapat menurunkan kadar kontaminan hingga dibawah baku mutu untuk parameter pH, BOD, COD dan TSS. Sedangkan untu COD yang em4 belum memenuhi baku mutu. Efisiensi penyisihan terbaik yaitu pada variasi waktu pengamatan 3 untuk BOD konsentrasi 30% menggunakan em4 dan variasi waktu pengamatan 10 untuk COD konsentrasi 30% menggunakan em4. Variasi waktu 2 hari dengan menggunakan konsentrasi 30% untuk TSS. Sedangkan inola 121 untuk parameter BOD berada pada pengamatan 2 hari dengan konsentrasi 30%, parameter COD berada pada pengamatan 6 hari dengan konsentrasi bakteri 30%, serta parameter TSS pada pengamatan 2 hari dengan konsentrasi 30%.

Kata kunci : Efisiensi, Kontaminan, Bioremediasi Inola, em4

## ABSTRACT

Technology is developing very rapidly and high population growth has resulted in the emergence of various types of waste which have an impact on increasing environmental pollution. One of the production activities that produces the largest liquid waste with a high organic material content is the sugar industry. Sugar industry liquid waste contains various dangerous elements that can pollute the environment if it is channeled directly into water bodies without any treatment.

This research aims to analyze the effect of observation time and bacterial concentration in the bioremediation process of sugar industry wastewater using inola 121 and em4 as well as analyzing the comparative efficiency of removing sugar contaminant levels using inola 121 and em4.

The method in this research is wastewater treatment and sugar industry wastewater quality analysis to determine the effectiveness of inola 121 with em4 in reducing contaminants in sugar industry wastewater. This research consists of independent variables including inola 121 and em4 bacterial concentration and observation time and the dependent variable, namely the effectiveness of bioremediation inola 121 and em4, selection of variations in bacterial concentration and variation in residence time.

The efficiency of contaminant removal for variations in observation time of 1-6 days and variations in bacterial concentration of 10%, 20%, 30% can reduce contaminant levels to below quality standards for pH, BOD, COD and TSS parameters. Meanwhile, COD em4 does not meet quality standards. The best removal efficiency was at 3 observation time variations for 30% BOD concentration using em4 and 10 observation time variations for 30% COD concentration using em4. Time variation of 2 days using a concentration of 30% for TSS. Meanwhile, inola 121 for BOD parameters was observed for 2 days with a concentration of 30%, COD parameters were observed for 6 days with a bacterial concentration of 30%, and TSS parameters were observed for 2 days with a concentration of 30%.

Keywords: Efficiency, Contaminants, Inola Bioremediation, em4

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL DALAM.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian/Perancangan.....	4
1.4. Manfaat Penelitian/Perancangan.....	4
1.5. Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan.....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1. Industri Gula .....	6
2.2. Limbah Cair Industri Gula.....	6
2.3. Baku Mutu Industri Gula .....	7
2.4. Karakteristik Air Limbah.....	9
2.5. Pengolahan Air Limbah.....	12
2.6. Teknik Bioremediasi.....	14
2.7. Inola 121 .....	15
2.8. Larutan <i>Effective Microorganism-4</i> (EM4) .....	21
2.9. Proses Degradasi Kontaminan Air Limbah Gula.....	27
2.10. Jenis-Jenis Reaktor .....	29
2.11. Kriteria Desain.....	30
2.12. Seeding dan Aklimatisasi .....	31
2.13. Faktor-Faktor Pertumbuhan Mikroorganisme .....	32
2.14. Inokulasi Bakteri .....	34
2.15. Parameter Pengujian.....	36
2.16. Studi Penelitian Terdahulu .....	39
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
3.1. Gambaran Umum Lokasi Dan Waktu Penelitian.....	42
3.2 Rancangan Penelitian.....	43
3.3. Matriks Penelitian .....	43
3.4. Alat dan Bahan.....	44
3.5 Metode Penelitian .....	44
3.6 Pelaksanaan Penelitian.....	45
3.7. Tahap Seeding dan Aklimatisasi inola 121 .....	46
3.8 Tahap seeding dan aklimatisasi em4.....	48
3.9 Pengaplikasian Reaktor.....	50
3.10 Teknik Pengumpulan Data.....	53
3.11. Teknik Analisis .....	57
3.12. Diagram Alir Penelitian .....	58

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>60</b>
4.1 Karakteristik Air Limbah.....	60
4.2. Pengaruh Waktu Pengamatan dan Komposisi Bakteri inola 121 dan em4 .....	61
4.3. Efisiensi Penyisihan Kadar Kontaminan Air Limbah inola 121 dan em4 .....	96
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>100</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>109</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>109</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Baku mutu air limbah industri gula Gula .....	8
Tabel 2 Baku mutu air limbah industri gula.....	8
Tabel 3 Kriteria Desain Kolam Aerasi .....	31
Tabel 4 Studi Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan penelitian .....	39
Tabel 5 Matrik Penelitian.....	43
Tabel 6 Metode Pengujian Sampel .....	53
Tabel 7 Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah Gula.....	60
Tabel 8 Hasil uji parameter pH dengan bakteri inola 121.....	61
Tabel 9 Analisis regresi parameter pH inola 121 .....	63
Tabel 10 Hasil uji em4 parameter pH pada waktu pengamatan 1 dan 2 hari.....	66
Tabel 11 Analisis regresi parameter pH em4 .....	67
Tabel 12 Hasil uji parameter BOD5 pada bakteri inola 121 .....	70
Tabel 13 Analisis regresi parameter BOD5 inola 121 .....	71
Tabel 14 Hasil uji parameter BOD5 pada bakteri em4 .....	74
Tabel 15 Analisis regresi parameter BOD5 em4.....	75
Tabel 16 Hasil uji parameter COD pada bakteri Inola 121 .....	78
Tabel 17 Analisis regresi parameter COD inola 121 .....	79
Tabel 18 Hasil uji parameter COD pada bakteri em4 .....	82
Tabel 19 Analisis regresi parameter COD em4.....	85
Tabel 20 Hasil uji parameter TSS pada bakteri inola 121.....	87
Tabel 21 Analisis regresi parameter TSS inola 121 .....	88
Tabel 22 Hasil uji parameter TSS pada bakteri em4.....	91
Tabel 23 Analisis regresi parameter TSS em4 .....	93
Tabel 24 Efisiensi Penyisihan Parameter BOD5 inola 121 .....	97
Tabel 25 Efisiensi Penyisihan Parameter BOD5 em4.....	97
Tabel 26 Efisiensi Penyisihan Parameter COD inola 121.....	100
Tabel 27 Efisiensi Penyisihan Parameter COD em4.....	101
Tabel 28 Efisiensi Penyisihan Parameter TSS inola 121 .....	105
Tabel 29 Efisiensi Penyisihan Parameter TSS em4 .....	105

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Pseudomonas</i> sp .....	16
Gambar 2 <i>Bacillus</i> sp .....	17
Gambar 3 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	18
Gambar 4 <i>Nitrosomonas</i> sp .....	19
Gambar 5 <i>Azotobacter</i> sp.....	20
Gambar 6 Kurva pertumbuhan mikroorganisme .....	25
Gambar 7 Lokasi Pengambilan sampel air limbah.....	42
Gambar 8 Lokasi pengolahan dan analisis kualitas air .....	42
Gambar 9 Pengambilan sampel air limbah .....	45
Gambar 10 seeding dan aklimatisasi .....	47
Gambar 11 Desain Reaktor Penelitian Tampak Atas.....	52
Gambar 12 Desain reaktor penelitian tampak samping.....	52
Gambar 13 Pengujian BOD .....	54
Gambar 14 Pengujian COD .....	55
Gambar 15 Pengujian TSS .....	56
Gambar 16 Pengujian Minyak dan Lemak.....	57
Gambar 17 Diagram Alir.....	59
Gambar 18 Corelasi persentasi bakteri inola 121 pH.....	63
Gambar 19 Corelasi waktu pengamatan inola 121 pH.....	64
Gambar 20 Penyisihan pH waktu pengamatan 1 dan 2 hari.....	65
Gambar 21 Corelasi persentasi bakteri em4 dengan pH .....	67
Gambar 22 waktu pengamatan em4 dengan pH.....	68
Gambar 23 Penyisihan pH waktu pengamatan 1 dan 2 hari.....	69
Gambar 24 Corelasi persentasi bakteri inola 121 dengan BOD.....	71
Gambar 25 Waktu pengamatan inola 121 dengan BOD .....	72
Gambar 26 Penyisihan BOD5 waktu pengamatan 1 dan 2 hari .....	73
Gambar 27 Corelasi persentasi bakteri em4 dengan BOD.....	75
Gambar 28 Waktu Pengamatan em4 dengan BOD .....	75
Gambar 29 Penyisihan BOD5 em4 waktu pengamatan 1 dan 2 hari .....	76
Gambar 30 Corelasi persentasi bakteri inola 121 dengan COD.....	80
Gambar 31 waktu pengamatan inola 121 dengan COD .....	80
Gambar 32 Penyisihan COD waktu pengamatan 1- 6 hari .....	81
Gambar 33 Corelasi persentasi bakteri em4 dengan COD.....	85
Gambar 34 Corelasi waktu retensi em4 dengan COD .....	85
Gambar 35 Penyisihan COD waktu pengamatan 1 sampai 10 hari .....	86
Gambar 36 Corelasi persentasi bakteri inola 121 dengan TSS .....	89
Gambar 37 Corelasi waktu pengamatan em4 dengan TSS .....	89
Gambar 38 Penyisihan TSS waktu pengamatan 1 dan 2 hari.....	91
Gambar 39 Corelasi persentasi bakteri em4 dengan TSS .....	93
Gambar 40 Corelasi waktu pengamatan em4 dengan TSS .....	94
Gambar 41 Penyisihan TSS waktu pengamatan 1-3 hari.....	95
Gambar 42 Efisiensi penyisihan kadar inola 121 .....	92
Gambar 43 Efisiensi penyisihan kadar BOD5 em4.....	93
Gambar 44 Efisiensi penyisihan kadar COD inola 121 .....	94
Gambar 45 Efisiensi penyisihan kadar COD em4.....	96
Gambar 46 Efisiensi penyisihan kadar TSS inola 121 .....	98
Gambar 47 Efisiensi penyisihan kadar TSS em4 .....	99

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Baku Mutu Air Limbah Industri.....	107
Lampiran 2. Metode Pengujian Sampel.....	108
Lampiran 3. Prosedur Inola 121 .....	115
Lampiran 4. Laporan Hasil Pengujian .....	117
Lampiran 5. Dokumentasi .....	122

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/ Singkatan	Arti dan keterangan
A Luas penampang	
BOD	<i>Biological oxygen demand</i>
°C Celcius	
C <sub>0</sub> Konsentrasi Awal	
C <sub>1</sub> Konsentrasu Akhir	
cm Centimeter	
COD	<i>Chemical oxygen deman</i>
DO <sub>0</sub>	<i>Dissolved Oxygen</i> dalam pengujian pertama
DO <sub>5</sub>	<i>Dissolved Oxygen</i> dalam pengujian 5 hari
Fp Faktor Pengenceran	
H <sup>+</sup> Hidrogen	
Kg/ton	Kilogram per Ton
Kg BOD/ m <sup>3</sup> hari	Kilogram BOD per meter
kubik hari L	Lebar
m Meter	
m <sup>2</sup> Meter persegi	
m <sup>3</sup> Meter kubik	
m <sup>3</sup> /hari	Meterkubik perhari
mm Milimeter	
N Normalitas larutan	
mg/lMiligram per liter	
ml/m	Mililiter permenit
O <sub>2</sub> oksigen	
OH Hidroksida	
P Panjang	
pH	<i>Power of Hydrogem</i>
Q Debit	
SNI Standar Nasional Indonesia	
T Tinggi	
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>
V Volume	
W <sub>0</sub> Berat media penyaring awal	
W <sub>1</sub> Berat media penyaring akhir	

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga bisa menyelesaikan dan menyusun tugas akhir dengan judul “Perbandingan Efektivitas Starter Bakteri Inola 121 dan Em4 dalam Menurunkan Kadar Kontaminan pada Air Limbah Industri Gula dengan Sistem Kolam Aerasi”. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada Rasulullah SAW, yang telah mengantar umat manusia dari masa kegelapan menuju masa yang terang benderang.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada jenjang Stara-1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari banyak kesulitan yang dihadapi selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan bimbingan, nasehat dan doa dari segala pihak, membuat penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada kedua orang tua penulis yakni Bapak Laode Amrin dan Ibu Waode Asida serta seluruh keluarga yang telah memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral serta materi sejak dulu yang tidak pernah berubah sedikit pun dan sebagainya yang tidak bisa penulis ungkapkan semuanya. Pada kesempatan ini pula, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M. Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. dan Bapak Prof. Baharuddin Hamzah, ST., MT., M. Arch selaku Dekan dan Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr.Ir. Achmad Zubair, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I yang selalu senantiasa membimbing dan memberikan masukan selama penyusunan skripsi.
5. Ibu Nur An-nisa Putry Mangerangi, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II atas segala waktu yang telah diluangkan, ilmu yang

telah diberikan, motivasi serta nasehat kepada penulis hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

6. Bapak/Ibu Dosen Penguji telah memberikan ilmu dan masukan, serta arahan perbaikan terhadap tugas akhir ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan masukan terhadap tugas akhir ini.
8. Bapak Syarif selaku laboran Laboratorium Kualitas Air yang telah membantu penulis selama penelitian yang dilakukan di laboratorium.
9. Seluruh staff dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, terkhusus Ibu Sumi, kak Tami dan Kak Olan yang telah sabar dalam mengarahkan dan membantu penulis dalam proses administrasi
10. Kak Nico, ibu lili dan Pak eko yang memberikan bimbingan dan arahan secara tidak langsung kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
11. Pak Firman P3gi yang telah bersedia mengajarkan penulis mengenai proses seeding dan aklimatisasi bakteri
12. Kepada yudha saya ingin mengucapkan terimakasih karena begitu baik dan simpatik dalam menemani penulis saat pengerjaan skripsi berlangsung
13. Era Fazirah sebagai patner TA dan KP penulis, terima kasih karena mau berjuang dan jatuh bangun bersama
14. Milea dan Piq terimakasih sudah menjadi teman terbaik selama menempuh perkuliahan ini dan mengajarkan banyak hal. Pengalaman yang luar biasa bersama kalian akan jadi moment yang tidak terlupakan dan sangat dirindukan..
15. S2 18:57 ( Nilam, Ajeng, Rani, Nadya ) yang selalu menjadi teman dalam berbagai hal dan kerandoman serta kesediaanya untuk sering direpotkan.
16. Meisje ( Debi, Riska, Maya, Cindya, Diah, Mega) tempat penulis meluapkan semua emosi dan cerita, terimakasih karena selalu

meluangkan waktu untuk mendengar dan menemani.

17. UNO GAMES FAMILY (Eva, Alpi, Linda, Wiwi, Aul, Aiman, Nopal, Firman, Tada, Irham, Fatur) untuk semua keseruannya dalam menyelesaikan masa perkuliahan.
18. Kelas Lingkungan B yang mebersamai penulis dalam senang dan susah dimasa perkuliahan.
19. Teman -teman lab air aka pengendeli air yang selalu berbagi support dan bantuannya..
20. Lingkungan 2018 sebagai teman seperjuangan dalam menyelesaikan setiap proses perkuliahan, terima kasih untuk semua kisah dan bantuannya.
21. TRANSISI 2019 sebagai teman seperjuangan dimasa perkuliahan
22. Kanda-kanda senior serta adik-adik yang telah membantu selama masa perkuliahan.

Serta kepada seluruh pihak yang membantu selama penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi penyempurnaan tugas akhir ini. Besar harapan penulis, bahwa tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi lingkungan akademis Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan. Penulis juga memohon maaf atas kesalahan dan kekurangan selama penyusunan tugas akhir ini.

Makassar, 27 Oktober 2023

Penulis

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang pesat serta pertumbuhan penduduk yang tinggi menyebabkan peningkatan berbagai aktivitas dan kegiatan usaha atau industri untuk kebutuhan hidupnya. Hal ini yang mengakibatkan timbulnya berbagai macam limbah yang berdampak pada peningkatan pencemaran lingkungan. Salah satu aktivitas produksi yang menghasilkan buangan limbah cair terbesar dengan kandungan bahan organik. Limbah organik mengandung karbohidrat, protein, hidrokarbon, fenol, minyak, dan lemak. Industri yang menghasilkan limbah cair dengan kandungan senyawa organik yang tinggi yaitu industri gula.

Industri gula merupakan salah satu agro industri yang dapat memberikan dampak besar bagi perkembangan perekonomian Indonesia dan peluang kerja bagi masyarakat (Fitriwati *et.al.*, 2020). Pada proses produksinya, Industri gula menggunakan serangkaian proses mengolah bahan mentah menjadi bahan baku yang siap untuk dipasarkan. Dalam setiap prosesnya, tidak semua bahan dapat dimanfaatkan dan terdapat pula sisa proses yang tidak dapat digunakan kembali. Limbah cair industri gula mengandung berbagai unsur berbahaya yang dapat mencemari lingkungan jika dialirkan langsung ke badan air tanpa adanya pengolahan. Beberapa unsur tersebut menurut PERGUB Sulawesi Selatan No. 5 Tahun 2010 yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS), pH, Minyak dan Lemak.

Salah satu alternatif teknologi pengolahan limbah untuk mengurangi kadar kontaminan pada air limbah pabrik gula yaitu pengolahan biologis secara aerobik. Proses aerobik merupakan proses degradasi bahan organik dengan adanya oksigen. Proses penanganan limbah cair industri gula cukup dengan sistem biologis (Rusdianan *et.al.*, 2020). Salah satu pengolahan biologis secara aerobik yaitu bioremediasi.

Bioremediasi merupakan teknologi pengolahan air limbah yang menggunakan mikroorganisme sebagai agen pedegradasi. Manfaat dari bioremediasi adalah sebagai

agen mikrobiologi, seperti bakteri yang digunakan untuk membersihkan tanah dan air yang terkontaminasi. Ini didefinisikan sebagai eliminasi, atenuasi atau transformasi zat pencemar atau kontaminasi dengan penerapan proses biologis (Divya *et.al.* dalam Pardamea *et.al.*, 2021).

Bioremediasi dapat dilakukan dengan memanfaatkan mikroorganisme dimana dengan adanya bantuan mikroorganisme membuat bahan organik mudah terurai atau terdegradasi. Proses bioremediasi dapat terjadi karena bakteri melakukan metabolisme zat organik yang terkandung pada air limbah melalui sistem enzim untuk menghasilkan CO<sub>2</sub>, air, dan energi yang digunakan untuk sintesis, motilitas dan respirasi bakteri (Husin dalam Maya, 2012, Ratnasari, 2020). Pardamean *et.al.* (2021) bahwa pemanfaatan mikroorganisme dapat mengurai kandungan organik menjadi senyawa organik yang lebih sederhana, dengan cara mengubah senyawa organik menjadi bentuk karbondioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), dan air (H<sub>2</sub>O) dan energi yang ditujukan untuk proses pertumbuhan dan produksi. Pemanfaatan bakteri pada air limbah industri gula yang berpotensi sebagai agen bioremediator untuk mereduksi kontaminan air limbah industri gula, yaitu bakteri indigenous dan bakteri komersial. Contoh bakteri komersial yang sering digunakan diantaranya bakteri inola 121 dan em4.

Inola 121 adalah produk bakteri komersial yang merupakan salah satu bibit mikroorganisme yang mampu mereduksi polutan organik secara cepat. Kandungan yang terdapat dalam inola 121 dibuat secara khusus untuk mengatasi masalah pencemaran oleh limbah cair dari industri gula. Inola sendiri termasuk dalam bakteri monokultur dikarenakan ada beberapa bakteri yang terkandung salah contoh bakterinya adalah *Bacillus sp.* mampu menguraikan karbohidrat, zat pati dan lemak dengan memproduksi enzim lipase dan protease (Bargey's, 1998 dalam Oktavia Lily *et.al.*, 2012).

Pada Larutan *Effective Microorganism* Ada 5 golongan pokok dari sekian banyak mikroorganisme pada em4. Salah satunya adalah Bakteri asam laktat yang berfungsi memfermentasikan bahan organik dan dibantu oleh jamur fermentasi (*Saccharomyces*

*sp.*) memfermentasikan bahan organik menjadi senyawa-senyawa organik yang lebih sederhana.

Untuk lebih mengefektifkan pemanfaatan mikroorganisme dalam pengolahan air limbah dapat diterapkan pada kolam aerasi. (Dhamayanthie dan Fauzi, 2017) Pengolahan teknologi menggunakan kolam aerasi dengan menambahkan aktivitas mikroorganisme merupakan kegiatan yang mana pengolah limbah melibatkan penambahan dan/atau pengurangan udara dalam proses pengolahan. Dalam menerapkan aerasi, pengolah limbah juga kerap menggunakan bakteri guna mengurai senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair.

Dalam penelitian Oktavia et. al. (2012) mengemukakan bahwa bakteri inola 121 mampu menurunkan kadar BOD sebesar 89,3% untuk air limbah industri gula. Serta dalam penelitian Sari, dkk, (2022) efisiensi menggunakan em4 pada air limbah, mampu menurunkan kadar BOD sebesar 75,20%, kadar COD sebesar 70,87% dan meningkatkan pH menjadi 7,6.

Namun, dalam penelitian yang dilakukan oleh Oktavia belum dilakukan pengujian parameter pH, COD, Minyak dan Lemak. Sedangkan pada penelitian Sari air limbah yang digunakan adalah air limbah industri tahu. Serta dalam kedua penelitian tersebut belum diketahui waktu retensi, konsentrasi bakteri dan konsentrasi em4 yang efektif untuk air limbah industri gula. Maka berdasarkan pemaparan diatas dan penelitian sebelumnya penulis mengangkat penelitian yang berjudul Perbandingan Efektivitas Starter Bakteri Inola 121 dan Em4 dalam Menurunkan Kadar Kontaminan pada Air Limbah Industri Gula dengan Sistem Kolam Aerasi.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Pada kegiatan industri gula, limbah cair pada umumnya langsung dialirkan ke badan air sehingga mencemari perairan. Berdasarkan uraian latar belakang maka peneliti menyusun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu pengamatan dan konsentrasi bakteri dalam proses bioremediasi air limbah industry gula menggunakan inola 121 dan em4?

2. Bagaimana perbandingan efisiensi penyisihan kadar kontaminan gula menggunakan inola 121 dan em4?

### **1.3. Tujuan Penelitian/Perancangan**

1. Untuk menganalisis pengaruh waktu pengamatan dan konsentrasi bakteri dalam proses bioremediasi air limbah industry gula menggunakan inola 121 dan em4.
2. Untuk menganalisis perbandingan efisiensi penyisihan kadar kontaminan gula menggunakan inola 121 dan em4.

### **1.4. Manfaat Penelitian/Perancangan**

Manfaat yang menjadi harapan dari terlaksananya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Manfaat bagi Departemen Teknik Lingkungan

Dapat dijadikan referensi baru mengenai Mikrobiologi dan acuan untuk generasi-generasi selanjutnya yang berada di lingkup Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin khususnya yang mengambil konsentrasi dibidang Kualitas Air dalam Mengerjakan tugas, karya tulis ilmiah, pembuatan laporan praktium dan penyelesaian tugas akhir.

2. Manfaat Bagi Masyarakat

Sebagai sarana informasi secara ilmiah kepada masyarakat mengenai pemanfaatan bakteri inola 121 dan em4 dalam menurunkan kadar kontaminan air limbah

3. Manfaat Bagi Peneliti

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapat gelar ST (Sarjana Teknik) serta menjadikan pengembangan dan oengaplikasian ilmu pengetahuan yang telah didapatkan.

### **1.5. Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan**

Untuk mengarahkan penulis pada penelitian ini, maka diberikan batasan agar penulis dapat lebih fokus dan terarah pada suatu batasan tertentu. Adapun batsan masalah dalam studi ini adalah:

1. Penelitian ini dilaksanakan dalam skala laboratorium yang terletak di Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Pengukuran efektivitas dalam penelitian ini dibatasi pada pengukuran besarnya penurunan kadar pH, BOD, COD, TSS, dan Minyak dan lemak dalam limbah cair industri gula pada interval waktu 24 jam, 48 jam. Mikroorganisme yang digunakan dalam penelitian ini adalah bakteri inola 121 dan em4.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab dimana masing- masing bab membahas masalah tersendiri, sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Merupakan bab pertama tugas akhir yang isinya tentang apa, mengapa, dan untuk apa suatu topik diteliti. Bab ini terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, ruang lingkup dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini merupakan bab kedua yang membahas mengenai teori dan informasi yang mendukung penelitian berupa ringkasan komprehensif mengenai suatu topik penelitian dan juga sebagai acuan dalam menyusun kerangka konsep yang digunakan dalam penelitian ini.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini merupakan bab ketiga yang membahas rencana penelitian yang menguraikan waktu dan tempat penelitian, rancangan penelitian, metode penelitian, pengumpulan data dan analisis data.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini merupakan bab keempat yang membahas hasil dan pembahasan penelitian setelah dilakukan penelitian.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini merupakan bab penutup yang memuat kesimpulan yang diperoleh dari penelitian dan juga saran- saran dari peneliti untuk kekurangan penelitian dalam laporan tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Industri Gula**

Industri gula adalah salah satu agro industri di bidang pengolahan tebu yang menghasilkan gula serta turunannya yang digunakan untuk konsumsi dan pakan manusia. Sedangkan proses produksi gula adalah proses mengubah tebu (sebagai bahan baku utama) menjadi nira harus melewati beberapa tahapan seperti proses ekstraksi, pembersihan kotoran, penguapan, kristalisasi, afinasi, karbonasi, penghilangan warna, serta proses pengemasan (Russo *et.al.*, 2019). Menurut PERMEN LH No. 5 Tahun 2014 bahwa Industri gula merupakan usaha dan/atau kegiatan di bidang pengolahan tebu menjadi gula dan turunannya yang digunakan untuk konsumsi manusia dan pakan. Molase adalah cairan kental berwarna coklat gelap dengan kandungan 15% - 20% air, 50-55% kandungan gula dan sisanya adalah non gula (Harish *et.al.*, 2020). Molase yang merupakan produk sampingan dari pemurnian gula dapat digunakan sebagai bahan pembuatan alkohol dengan proses fermentasi (Farida, 2019). Strategi pembangunan berkelanjutan ini membawa manfaat ekonomi yang besar akan tetapi juga dapat menyebabkan pencemaran air limbah yang serius. Selama produksi gula kebutuhan air diperlukan dalam jumlah yang cukup besar disetiap unit proses sehingga menghasilkan air limbah dengan jumlah yang besar juga.

#### **2.2. Limbah Cair Industri Gula**

Perkembangan industri di Indonesia sangat mendukung pembangunan nasional terutama dalam mendukung pertumbuhan ekonomi. Namun disisi lain industri juga mempunyai dampak negatif yaitu adanya pencemaran lingkungan akibat limbah industri. Limbah industri dapat berupa limbah padat, cair, dan gas. Jumlah limbah cair industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besarnya industri, pengawasan pada proses produksi, derajat penggunaan air, serta derajat pengolahan air limbah yang ada (Sugiharto, 2005).

Salah satu industri yang strategis di Indonesia adalah pabrik gula. Pabrik gula mempunyai peran yang penting dalam mendukung pembangunan dan pertumbuhan ekonomi. Pabrik gula menghasilkan produk utama gula pasir serta produk sampingan berupa tetes tebu yang menjadi bahan untuk memproduksi alkohol, spiritus, dan penyedap masakan. Namun demikian, aktifitas pabrik gula juga mengasikan limbah cair, padat, dan udara yang dapat berdampak terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Limbah tersebut seperti ampas, blotong, tetes, dan limbah cair.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2021 Air limbah adalah air yang berasal dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Perkembangan industri gula di Indonesia membawa dampak yang dapat membahayakan lingkungan akibat limbah yang dihasilkan. Limbah cair yang dihasilkan pada saat proses produksi berasal dari boiler, kondesor, dan sisa pencucian proses, evaporator, buangan ketel, kegiatan pembersihan lantai pabrik, tumpahan nira, dan lain-lain. Secara umum, karakteristik limbah air kondesor mengandung senyawa organik yang sangat rendah. Berbeda dengan limbah cair yang berasal dari boiler dan air bekas pencucian mengandung senyawa organik yang tinggi sehingga memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air maupun digunakan kembali dalam proses produksi (Rhofita, Ika, *et.al.*, 2019).

Limbah cair industri gula pada umumnya tidak mengandung limbah berbahaya dan beracun akan tetapi limbah tersebut mampu meningkatkan kadar BOD (*Biological Oxygen Solid*), COD (*Chemical Oxygent Demand*), serta TSS (*Total Suspended Solid*) sehingga diperlukan penanganan terhadap limbah tersebut (Rusdiana, dkk, 2019).

### **2.3. Baku Mutu Industri Gula**

Berdasarkan PERMEN LH No. 5 baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dan tanah dari suatu usaha/ kegiatan. Untuk dapat dibuang ke badan air, limbah cair harus memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Adapun nilai baku mutu air limbah industri

gula berdasarkan PERMEN No.5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah industri gula dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 1** Baku mutu air limbah industri gula Gula

Parameter	Kadar paling tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (g/ton)			
		Air Limbah Proses	air limbah kondensor	Air limbah abu ketel	air limbah gabungan
BOD <sub>5</sub>	60	30	300	30	360
COD	100	50	500	50	600
TSS	50	25	250	25	300
Minyak dan Lemak	5	2,5	25	2,5	30
Sulfida (sebagai S)	0,5	0,25	2,5	0,25	3
pH		6,0 – 9,0			
kuantitas limbah paling tinggi	Air Limbah Proses : 0,5 m <sup>3</sup> per ton tebu yang diolah Air Limbah Kondensor : 5 m <sup>3</sup> per ton tebu yang diolah Air Limbah Abu Ketel : 0,5 m <sup>3</sup> per ton tebu yang diolah Air Limbah gabungan : 6 m <sup>3</sup> per ton tebu yang diolah				

Sumber: PERMEN LH No.5 Tahun 2014

Baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan No. 5 Tahun 2010 tentang baku mutu air limbah industri gula dengan kapasitas pengolahan 2.500 sampai dengan 10.000 ton tebu yang diolah per hari dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Baku mutu air limbah industri gula

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (g/ton)
BOD	60	30
COD	100	50
TSS	50	25
Minyak dan Lemak	5	2,5
Sulfida	0,5	0,25
pH	6,0-9,0	
Kualitas Limbah Maksimum	0,5 m <sup>3</sup> per ton tebu yang diolah	

Sumber: PERGUB Sulawesi Selatan No. 5 Tahun 2010

## **2.4. Karakteristik Air Limbah**

Limbah cair bisa dikatakan sebagai bahan pencemar yang bentuknya adalah cair. Air limbah merupakan air yang membawa sampah yang berasal dari rumah tinggal, industri yang berupa campuran air dan padatan terlarut maupun tersuspensi dan dapat juga merupakan air buangan hasil proses yang dibuang ke lingkungan, berdasarkan sifatnya limbah dapat dikategorikan sebagai limbah padat, cair, dan gas (Vindiarti,2015). Air limbah industri gula mengandung bahan cemaran yang memiliki karakteristik yaitu warna air limbah yang keruh, suhu yang cukup tinggi, pH yang rendah, abu, dan bahan organik. Air limbah industri gula yang mengandung limbah organik terdiri dari material-material non-toksik dan bukan bahan B3 (bahan beracun dan berbahaya), dan yang terutama adalah gula-gula terlarut (sukrosa dan gula reduksi). Limbah cair ini juga berpotensi mengandung partikel-partikel halus yang berasal dari ampas tebu (Tugiyono, 2009). Air limbah yang mengandung zat organik akan terurai secara biologis dan akan mengikat oksigen. Kondisi tersebut yang menyebabkan air limbah industri gula memiliki Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan kandungan minyak dan lemak yang nilainya belum memenuhi baku mutu air limbah industri gula (Jadhav et al., 2013). Karakteristik limbah cair baik domestik maupun non domestik mempunyai karakteristik yang sesuai dengan sumbernya. Karakteristik untuk limbah cair bisa digolongkan pada karakteristik fisik, kimia, maupun biologi sebagai berikut:

### **2.4.1 Karakter Fisik**

Karakter fisik air limbah yang harus dipahami antara lain total solid, bau, temperatur, densitas, warna, dan konduktivitas.

#### **a. Total Solid**

Total solid merupakan padatan yang terdiri dari bahan padat organik maupun anorganik yang dapat larut, mengendap ataupun tersuspensi.

#### **b. Bau**

Bau yang terkandung dalam air limbah disebabkan karena udara yang dihasilkan dalam proses dekomposisi materi atau penambahan substansi pada limbah.

c. Temperatur

Temperatur dapat mempengaruhi konsentrasi oksigen yang terlarut di dalam air. Air yang baik mempunyai temperatur normal yaitu sebesar  $8^{\circ}\text{C}$  dari suhu kamar yaitu  $27^{\circ}\text{C}$ .

d. *Density*

Density adalah perbandingan antara massa dengan volume yang dinyatakan sebagai slug/ft<sup>3</sup> (kg/m<sup>3</sup>).

e. Warna

Air yang bersih pada dasarnya tidak berwarna, namun seiring dengan berjalannya waktu dan meningkatnya kondisi aerob maka warna limbah berubah dari abu-abu menjadi kehitaman dan berbau.

f. Kekeruhan

dapat disebabkan oleh zat padat tersuspensi baik yang bersifat organik maupun anorganik yang mengapung dan terurai di dalam air.

## **2.4.2 Karakteristik Kimia**

Pada air limbah ada tiga karakteristik kimia yang dapat diidentifikasi yaitu bahan organik, anorganik, dan gas (Eddy,2008).

a. Bahan organik

Pada air limbah bahan organik bersumber dari hewan, tumbuhan, dan aktivitas manusia. Bahan organik itu sendiri terdiri dari C, H, O, N yang menjadi karakteristik kimia adalah protein, karbohidrat, lemak, dan minyak, surfaktan, pestisida dan fenol, dimana sumbernya adalah limbah domestik, industri, komersil.

b. Bahan Anorganik

Jumlah bahan anorganik sangat meningkat yang dipengaruhi oleh asal air limbah. Pada umumnya berupa senyawa-senyawa yang mengandung logam berat seperti Fe, Cu, Pb, dan Mn dan juga senyawa-senyawa belerang.

c. Gas

Nitrogen (N<sub>2</sub>), OKSIGEN (O<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), amoniak (NH<sub>3</sub>), dan karbondioksida.

### 2.4.3 Karakteristik Biologi

Pada air limbah, karakteristik biologi menjadi dasar untuk mengontrol timbulnya penyakit yang dikarenakan organisme patogen. Karakteristik biologi ini seperti bakteri dan mikroorganisme lainnya yang terdapat dalam dekomposisi dan stabilisasi senyawa organik (Eddy,2008).

Karakteristik dari air limbah dari hasil industri pengolahan tebu adalah memiliki kandungan polutan organik yang tinggi dan kandungan metal dan logam yang rendah (Sahu, 2019). Kuantitas air limbah yang dihasilkan dari industri gula jika diasumsikan rata- rata kapasitas produksi gula di Indonesia sebesar 6.000 sampai 6.250 TCD (*Ton Cane Per Day*) menghasilkan sekitar 800 sampai 900 m<sup>3</sup> /hari air limbah (Rhofita, 2019).

Kandungan air limbah terdiri dari berbagai macam zat, seperti jus tebu yang terbuang selama proses produksi gula, detergen, partikel ampas tebu atau *bagasse*, minyak dan lemak yang digunakan sebagai pelumas, dan padatan gula yang hilang selama proses produksi. Karakteristik air limbah industri gula menghasilkan karakteristik air limbah yang sangat kompleks dimana memiliki kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sangat tinggi, dan juga mengandung *Total Dissolved Solid* (TDS) serta nilai pH yang cenderung berada pada kondisi asam, tingginya konsentrasi COD dalam air limbah disebabkan oleh jus tebu dan padatan gula yang terbuang dari proses produksi (Syaifi, 2017).

Gula yang terbawa dalam uap dari evaporator masuk ke dalam air pendingin. Air pendingin ini merupakan 90% dari keseluruhan penggunaan air, mempunyai nilai BOD rendah. Air proses dari pencucian pada penghilangan warna, pencucian endapan saringan tekan, serta air cuci lantai dan alat hanya 10% dari keseluruhan penggunaan air, akan tetapi nilai BOD-nya tinggi sedangkan TSS dan kadar organiknya relatif rendah.

Total keseluruhan air limbah mempunyai nilai BOD 300 sampai 2000 mg/l dan TSS 200 sampai 800 mg/l, tergantung pada faktor proses produksi yang terjadi di dalam pabrik khususnya pada proses pemurnian gula. Parameter utama untuk kilang penggilingan tebu dan pemurnian gula adalah BOD, COD, TSS, dan pH yang

merupakan derajat keasaman suatu zat dengan spesifikasi pH normal air adalah 6 – 8 (Ulinuha, 2016).

## 2.5. Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah bertujuan untuk menghilangkan parameter-parameter pencemar yang ada di dalam air limbah sampai batas yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air sesuai baku mutu yang telah ditetapkan (Batubara, 2019). Secara garis besar dapat dibagi menjadi, pemisahan padatan tersuspensi, pemisahan senyawa koloid, serta penyisihan senyawa polutan terlarut. Ditinjau dari prosesnya dapat dikelompokkan menjadi pengolahan pendahuluan (*Preliminary Treatment*), pengolahan primer (*Primary Treatment*), pengolahan sekunder (*Secondary Treatment*), dan pengolahan tersier atau pengolahan lanjutan (*Advance Treatment*) serta pengolahan lumpur. (Wijyaningrat, 2018).

Limbah cair baik berasal dari industri maupun domestik harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan akuatik. Proses pengolahan limbah memiliki banyak cara dan metode, dan secara umum pengolahan limbah terdiri dari proses fisika, kimia dan biologi. Namun dalam aplikasinya ketiga proses tersebut dapat terintegrasi dalam satu unit pengolahan limbah.

Proses pengolahan air limbah secara biologis dapat dilakukan pada kondisi aerobik (dengan udara), kondisi anaerobik (tanpa udara), atau kombinasi anaerobik. Proses biologis aerobik biasanya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar, sedangkan proses biologis anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang besar.

Secara garis besar pengolahan air limbah secara biologis dapat dibagi menjadi tiga, yakni:

- 1) Proses biologis dengan biakan tersuspensi (*Suspended Culture*)
- 2) Proses biologis dengan biakan melekat (*Attached Culture*)
- 3) Proses pengolahan dengan sistem *lagoon* atau kolam.

Sistem aerobik memiliki kesamaan dengan sistem anaerobik, yaitu memanfaatkan proses alami dalam mengolah air limbah. Perbedaan dari kedua sistem tersebut, terletak

pada kebutuhan oksigen pada unit pengolahan aerobik yang dimanfaatkan sebagai sumber energi (dalam bentuk karbon organik) untuk proses metabolisme mikroorganisme aerobik. Dari proses metabolisme tersebut dihasilkan konversi senyawa polutan organik menjadi anorganik dan sel-sel mikroorganisme yang baru. Selain untuk menyisihkan BOD dan mengkonversi ammonia melalui proses nitrifikasi, unit pengolahan aerobik juga dapat menyisihkan nutrien, solid tersuspensi, dan bakteri patogen. Pengolahan aerobik mampu mengolah air limbah dengan efisiensi pengolahan yang tinggi. Namun, sistem ini biasanya digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik (BOD) yang tidak terlalu besar.

Berdasarkan konsentrasi oksigen terlarut dalam kolam, terdapat dua jenis unit pengolahan aerobik, yang terdiri dari pengolahan aerobik pengolahan fakultatif. Pada unit pengolahan aerobik, konsentrasi oksigen terlarut merata pada setiap kedalaman kolam (contoh: kolam aerasi). Sedangkan pada unit pengolahan fakultatif, ketersediaan oksigen terlarut hanya ada pada bagian atas kolam dan lumpur biologis dibiarkan mengendap ke dasar kolam di mana terjadi proses dekomposisi beban organik secara anaerobik (contoh: kolam fakultatif).

Pengolahan limbah cair bertujuan untuk menghilangkan parameter-parameter pencemar yang ada di dalam air limbah sampai batas yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air sesuai baku mutu yang telah ditetapkan (Said, 2016). Secara garis besar dapat dibagi menjadi, pemisahan padatan tersuspensi, pemisahan senyawa koloid, serta penyisihan senyawa polutan terlarut. Ditinjau dari prosesnya dapat dikelompokkan menjadi pengolahan pendahuluan (*Preliminary Treatment*), pengolahan primer, (*Primary Treatment*), pengolahan sekunder (*Secondary Treatment*), dan pengolahan tersier atau pengolahan lanjut serta pengolahan lumpur. (Spellman, 2003)

Pengolahan secara aerobik dan anaerobik dapat dilakukan karena memiliki kemampuan dalam menghilangkan kandungan bahan organik yang tinggi seperti BOD dan COD (Sahu, 2015). Salah satu contoh pengolahan secara biologis yang sering digunakan karena beberapa keuntungan yang didapatkan yaitu bioremediasi.

Bioremediasi merupakan proses di mana agen mikrobiologi bermanfaat, seperti bakteri, digunakan untuk membersihkan lingkungan tanah dan air yang terkontaminasi oleh berbagai polutan pencemaran (Divya et.al. dalam Pardamean, 2021). Salah satu teknologi pengolahan air limbah yang aman dan berwawasan lingkungan adalah menggunakan bakteri yang berpotensi pengurai, teknologi pengolahan ini memiliki biaya yang lebih murah daripada menggunakan zat kimia maupun fisika (Droste dalam Susanto, 2014).

## **2.6. Teknik Bioremediasi**

Bioremediasi berasal dari dua kata yaitu bio dan remediasi yang dapat diartikan sebagai proses dalam menyelesaikan masalah “Bio” yang dimaksud adalah organisme hidup, terutama mikroorganisme yang digunakan dalam pemanfaatan pemecahan atau geogradasi bahan pencemar lingkungan menjadi bentuk yang lebih sederhana dan aman bagi lingkungan tersebut. Bioremediasi merupakan pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran atau polutan. Yang termasuk dalam polutan antara lain logam-logam berat, petroleum hidrokarbon, dan senyawa-senyawa organik terhalogenasi seperti pestisida, herbisida, dan lain-lain. Bioremediasi mempunyai potensi menjadi salah satu teknologi lingkungan yang bersih, alami, dan paling murah untuk mengantisipasi masalah-masalah (Azis, 2019).

Bioremediasi merupakan pengolahan biologis yang melibatkan organisme hidup termasuk bakteri untuk mengurangi atau menghilangkan polutan pada daerah terkontaminasi, yang menghasilkan pemulihan ke keadaan semula tanpa ada gangguan lebih lanjut terhadap lingkungan lokal. Agen biologis utama yang digunakan pada umumnya yaitu bakteri dan enzim (Arifiani & Ethica, 2018). Untuk menciptakan kondisi lingkungan yang dirancang sedemikian rupa dapat memanfaatkan bioremediasi, dimana bakteri dapat bertumbuh dan berkembang pada kondisi lingkungan yang kondusif sehingga bakteri tersebut memiliki kemampuan dalam mendegradasi senyawa-senyawa menjadi tidak toksik dan juga dapat mentransformasikan bahan pencemar yang kompleks menjadi bentuk yang lebih

sederhana (Susanto, 2014). Keuntungan menggunakan metode bioremediasi menggunakan mikroorganisme yaitu biaya yang rendah dan mempunyai sifat yang ramah lingkungan (Pandey dalam Maharani, 2021).

Pada air limbah terdapat bakteri yang berpotensi menguraikan bahan pencemar organik sehingga air limbah aman dibuang ke lingkungan dengan mengisolasi limbah itu sendiri (Fidiastuti, 2017). Untuk menciptakan kondisi lingkungan yang dirancang sedemikian rupa dapat memanfaatkan bioremediasi, dimana bakteri dapat bertumbuh dan berkembang pada kondisi lingkungan yang kondusif sehingga bakteri tersebut memiliki kemampuan dalam mendegradasi senyawa- senyawa menjadi tidak toksik dan juga dapat mentransformasikan bahan pencemar yang kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana (Susanto, 2014). Keuntungan menggunakan metode bioremediasi menggunakan mikroorganisme yaitu biaya yang rendah dan mempunyai sifat yang ramah lingkungan (Maharani, 2021).

Penelitian pengaplikasian bioremediasi untuk air tercemar dapat menggunakan dua agen bioremediator yaitu bakteri indigenous dan bakteri commercial product atau starter bakteri. Pertumbuhan bakteri bergantung pada nutrient dan kondisi lingkungan dimana mikroba tersebut berada. Ketersediaan nutrient menjadi faktor penting karena digunakan sebagai sumber energi, kelembapan, derajat keasaman (pH), dan temperatur lingkungan yang tidak sesuai kondisi ideal mikroba dapat menghambat pertumbuhan dan degradasi polutan (Rahayu, 2022).

## **2.7. Inola 121**

Inola 121 adalah salah satu jenis bakteri yang digunakan dalam pengolahan limbah organik. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa-senyawa organik kompleks, seperti yang terdapat dalam limbah industri gula. Kaitannya dengan limbah gula terletak pada potensi penggunaan bakteri inola 121 dalam proses pengolahan limbah dari industri gula . Inola 121 merupakan bibit mikroorganisme yang mampu mereduksi polutan organik secara cepat. Kandungan bakteri dalam inola 121 dibuat secara khusus dalam memecahkan masalah pencemaran oleh limbah cair dari pabrik gula. Bentuknya berupa bubuk kering atau serbuk berwarna coklat, dengan

kadar air 4% dan terdiri atas beberapa bakteri pendegradasi. Inola 121 tahan hidup pada pH 7-8. Di samping itu, perlu kontrol beban organik dan oksigen dalam reaktor, agar sesuai dengan kondisi hidup mikroorganisme (Rahayu, 2022).

Dalam pengolahan limbah, bakteri inola 121 dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi degradasi limbah gula menjadi bentuk-bentuk yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan bakteri ini dalam system pengolahan limbah bertujuan untuk mempercepat proses dekomposisi limbah organik, mengurangi bau tak sedap, serta menghasilkan produk akhir yang lebih stabil dan aman bagi lingkungan. Inola 121 terkandung *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Nitrosomonas sp.*, *Aerobacter sp.*, *Azotosomonas sp.*, *Azotobacter sp.*, *Saccharomyces*. Semua bakteri tersebut mempunyai peranan spesifik terhadap penurunan kandungan limbah cair pabrik gula (Reynold, 1982).

### **2.7.1. *Pseudomonas sp.***

*Pseudomonas* merupakan salah satu genus bakteri gram negatif yang tergolong dalam kelompok *pseudomonadaceae* dan terdapat sebanyak 191 spesies di alam. Sebagian besar bakteri ini bersifat aerobik dan sebagian bersifat anaerobik membentuk biofilm. Eksopolisakarida yang dihasilkan kelompok *Pseudomonas* dalam bentuk biofilm membuat bakteri ini dapat menempel pada permukaan dan sulit dihilangkan dengan prosedur pembersihan biasa. *Pseudomonas* termasuk bakteri yang dapat hidup di berbagai lingkungan dikarenakan bakteri ini mampu menggunakan substrat yang tidak lazim, seperti sabun, farmasi, lemak, dan bahkan golongan surfaktan (Suyono, 2011 dalam Sila Nurlia, 2021).



**Gambar 1** *Pseudomonas sp.*  
Sumber: Sila (2021)

### 2.7.2. *Bacillus sp.*

*Bacillus sp.* adalah genus bakteri gram-positif berbentuk batang dan anggota filum firmicutes. Spesies *Bacillus sp.* dapat berupa aerob obligat (bergantung oksigen), atau anaerob fakultatif (memiliki kemampuan aerobik atau anaerob) (Ponnuswamy *et.al.*, 2015). Menurut Thiman (1955), bakteri *Bacillus sp.* mempunyai struktur bentuk kapsul yang berisi polipeptida dari asam D-glutamat yang merupakan bakteri berspora. Distribusi *Bacillus sp.* di alam sangat luas dikarenakan bakteri ini sangat resisten terhadap kondisi yang kurang baik seperti suhu, pH, dan salinitas. Peran utama bakteri pada lingkungan perairan adalah menguraikan biomassa organik dan mendaur ulang berbagai elemen penting (nitrogen, fosfor, dan sulfur) yang terdapat pada berbagai macam bahan organik yang masuk ke perairan. *Bacillus sp.* dapat memproduksi enzim ekstraseluler pengurai selulosa dan hemiselulosa (Megasari, 2012). *Bacillus* dapat tumbuh pada kisaran pH 6,4 sampai 7,5 dan mampu tumbuh optimum pada pH 7,0. *Bacillus* dapat tumbuh optimum pada kisaran salinitas 20-50 ppt karena bakteri ini merupakan bakteri halotoleran yang dapat mentolerir berbagai tingkat salinitas ((Megasari, 2012).



**Gambar 2** *Bacillus sp.*  
Sumber: Sila (2021)

### 2.7.3. *Saccharomyces cerevisiae*

*Saccharomyces cerevisiae* adalah salah satu spesies khamir yang memiliki daya konversi gula menjadi etanol sangat tinggi. Mikroba ini biasanya dikenal dengan *baker's yeast* dan metabolismenya telah dipelajari dengan baik. Produk metabolit utama adalah etanol, CO<sub>2</sub> dan air. *Saccharomyces* juga mampu menguraikan senyawa

karbohidrat sederhana (terutama gula) dan dapat mendegradasi molases (tetes tebu menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam kondisi aerobik dan dalam kondisi anaerobik membentuk etanol dan asam organik. Khamir ini bersifat fakultatif anaerobik. *Saccharomyces* memerlukan suhu 30C dan pH 4,0-4,5 agar dapat tumbuh dengan baik. Selama proses fermentasi akan timbul panas. Bila tidak dilakukan pendinginan, suhu akan terus meningkat sehubungan proses fermentasi terhambat. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan *yeast* penghasil enzim ekstrakulikuler yang berpotensi dan memiliki morfologi dan fisiologi yang membedakannya dari mikroorganisme lainnya (Kustywati dkk, 2013).

Karakteristik *Saccharomyces cerevisiae* memiliki kemiripan dengan *Candida tropicalis* dengan ciri-ciri berwarna putih, menonjol, berbentuk kokus, dan permukaannya yang mengkilap, halus, serta licin (Talaro dkk, 2012).



**Gambar 3** *Saccharomyces cerevisiae*  
Sumber: Septriani (2019)

#### 2.7.4. *Nitrosomonas sp.*

Genus *Nitrosomonas* (isolat BNSI) termasuk golongan bakteri gram negatif dan bentuk sel bulat. Memiliki morfologi bentuk bulat, tepian licin, elevasi cembung dan warna putih. Bersifat motil, katalase, urea, gelatin, dan indol memiliki reaksi positif. Reaksi pada media TSIA yaitu A/A (glukosa, sukrosa, dan laktosa difermentasi). Menurut Holt *et al.* (1994) dan Cowan *et al.* (1993) genus *Nitrosomonas* termasuk bakteri gram negatif, berbentuk bulat, kadang-kadang bentuk sel elips, bersifat motil dan non motil, katalase, dan indol memiliki reaksi positif, sifat hidupnya aerob, Metabolisme bakteri ini menghasilkan enzim katalase. Bakteri *Nitrosomonas* berperan dalam proses nitrifikasi menghasilkan ion nitrat yang dibutuhkan tanaman.

Bakteri ini dapat tumbuh optimum pada suhu 5-30C dan pH optimum 5,8-8,5 serta hidup pada habitat air laut, air tawar, dan tanah.



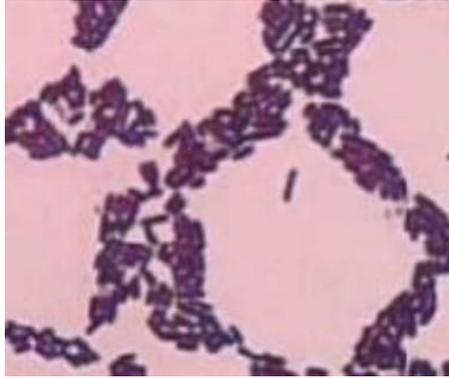
**Gambar 4** Nitrosomonas sp.  
*Sumber: Stan Watson*

#### **2.7.5. Azotobacter sp.**

*Azotobacter* merupakan salah satu bakteri penambat nitrogen aerobik nonsimbiotik yang mampu menambat nitrogen dalam jumlah yang cukup tinggi, bervariasi + 2 - 15 mg nitrogen/gram sumber karbon. Kemampuan ini tergantung kepada sumber energi, keberadaan nitrogen yang terpakai, mineral, reaksi tanah dan faktor lingkungan yang lain, serta kehadiran bakteri tertentu. *Azotobacter* sp. mampu mendegradasi senyawa organik dan asam organik dengan memecah senyawa ammonium dan asam amino tertentu sebagai sumber nitrogen. Faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi penambatan nitrogen antara lain suhu, kelembaban tanah, pH tanah, sumber karbon, cahaya dan penambahan nitrogen. Di samping itu jumlah bakteripenambat nitrogen pada perakaran, potensial redoks dan konsentrasi oksigen juga dapat mempengaruhi aktivitas penambatan nitrogen. (Subba Rao, 1982).

Ciri-ciri *Azotobacter* lainnya adalah masuk ke dalam bakteri Gram negatif dan bergerak dengan flagel peritrik. Kisaran pH untuk pertumbuhan dengan adanya nitrogen tambahan adalah 4,5-8,5 sedangkan pH optimal untuk pertumbuhan dan pengikatan nitrogen adalah 7-7,5. Bakteri ini terdapat di tanah dan di air. Kelompok bakteri *Azotobacter* memiliki sel dengan diameter 1.5-2.0  $\mu\text{m}$ , pleumorfik, berbentuk batang hingga bulat, tunggal, berkoloni tidak beraturan, dan kadang-kadang

membentuk rantai dengan panjang bervariasi. Walaupun bakteri ini bersifat aerobik, namun dapat tumbuh dengan kadar oksigen yang rendah. Setiap spesies menghasilkan pigmen yang dapat larut dalam air sehingga menimbulkan warna yang khas pada lingkungan habitatnya (Holt et al., 1994).



**Gambar 5** *Azotobacter* sp.  
*Sumber: Sila (2021)*

Menurut Reynold 1982, bakteri inola 121 dalam konteks pengolahan air limbah gula, memiliki beberapa kelebihan dalam menurunkan kadar kontaminan:

- Kemampuan metabolisme: Bakteri ini mampu memetabolisme berbagai jenis kontaminan yang ditemukan dalam limbah gula, seperti senyawa organik kompleks, gula-gula sederhana, dan bahan-bahan lain yang umumnya ditemukan dalam limbah industri gula.
- Efisiensi Biodegradasi: Inola 121 dapat secara efisien mendegradasi atau mengurai zat-zat kimia yang ada dalam air limbah gula. Proses biodegradasi ini berkontribusi pada menurunkan kadar kontaminan yang merugikan lingkungan.
- Adaptabilitas: Kemampuan bakteri ini untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda-beda memungkinkannya bertahan dan berfungsi baik dalam variasi kondisi lingkungan yang ada di fasilitas pengolahan air limbah gula.
- Pertumbuhan cepat: Bakteri inola 121 cenderung memiliki tingkat pertumbuhan yang cukup cepat, sehingga memungkinkan untuk mengolah limbah dengan lebih efisien dalam waktu yang relative singkat.

- Efektivitas dalam pengurangan zat tersuspensi: Selain mengurangi kadar kontaminan yang larut, bakteri ini juga bias efektif dalam mengurangi zat tersuspensi, misalnya, mengendapkan partikel-partikel padat yang mengotori air limbah.

## **2.8. Larutan *Effective Microorganism-4* (EM4)**

Larutan *Effective Microorganism-4* (EM4) pertama kali ditemukan oleh prof. Dr. Teruo Higa dari Universitas Rykyus Jepang dengan kandungan mikroorganisme fermentasi sekitar 80 genus (Firmaniar, 2017). Larutan *Effective Microorganism-4* (EM4) adalah campuran dari mikroorganisme yang sangat menguntungkan. Mikroorganisme fermentasi yang ada di dalam EM4 jumlahnya sangat banyak sekitar 80 jenis. Dari banyaknya mikroorganisme hanya ada lima golongan yang pokok yaitu seperti bakteri fotosintetik, *lactobacillus sp*, *streptomices sp*, ragi (*yeast*), dan *actinomictes* (meriatna, 2018).

Larutan *Effective Microorganism-4* (EM4) adalah cairan yang berwarna coklat kekuningan, memiliki bau yang asam dengan pH sekitar 3,5 apabila tingkat keasamaan melebihi 4,0 maka cairan ini tidak bisa digunakan lagi. *Effective Microorganism-4* (EM4) mempunyai sifat dimana larutan ini dapat menetralkan bahan organik atau tanah yang bersifat asam ataupun basa (Nana Dyah Siswati, 2009).

Proses penguraian *Effective Microorganism-4* (EM4) adalah kemampuan bakteri yang terkandung di serbuk itu memisahkan komponen karbon (C), hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), dan Sulfur (S) yang ada di dalam komponen limbah tersebut yang menimbulkan bau. Senyawa yang ada di dalam limbah tersebut merupakan satuan komponen kimiawi yang menimbulkan racun dan bau tidak sedap. *Effective Microorganism-4* (EM4) merupakan bakteri yang mempunyai kekuatan untuk dapat menguraikan senyawa yang terdapat pada limbah tersebut (Nana Dyah Siswati, 2009).

Cara kerja *Effective Microorganism-4* (EM4) telah dibuktikan secara ilmiah dan EM4 dapat berperan sebagai (Nana Dyah Siswati, 2009):

1. Mempercepat fermentasi limbah dan sampah organik.

2. Meningkatkan aktivitas mikroorganisme indogenus yang menguntungkan seperti *Mycorrhiza sp*, *Rhizobium sp*, dan bakteri pelarut fosfat.
3. Meningkatkan nitrogen.
4. Mengurangi keutuhan pupuk dan pestisida kimia.

Limbah dari industri gula dapat menjadi sumber nutrisi bagi berbagai jenis mikroba, termasuk bakteri EM4 adalah salah satu campuran mikroorganisme yang terdiri dari bakteri, ragi dan mikroba lainnya yang digunakan dalam berbagai aplikasi pertanian, pengolahan limbah, dan pemulihan lingkungan. Kaitannya antara limbah gula dan bakteri EM4 terletak pada potensi penggunaan bakteri dalam pengolahan limbah. Limbah industri gula yang mengandung bahan organik kompleks dapat dimanfaatkan oleh bakteri dalam campuran EM4 sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan mereka. Bakteri EM4 mampu menguraikan senyawa-senyawa organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana dan kurang berbahaya (Yuwono, 2005). Dalam aplikasi pengolahan limbah, bakteri dalam EM4 dapat meningkatkan proses dekomposisi limbah organik, mempercepat degradasi senyawa-senyawa kompleks yang ada dalam limbah industri gula. Bakteri ini dapat mempercepat konversi limbah organik menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan, seperti mengubahnya menjadi kompos atau bahan organik lain yang dapat digunakan kembali dalam pertanian (Meriatna, 2018).

### **2.8.1. Sifat-sifat *Effective Microorganism-4* (EM4)**

Adapun beberapa sifat-sifat dari *Effective Microorganism-4* (EM4) adalah sebagai berikut (Tri R. A., 2013):

1. *Effective Microorganism-4* (EM4) merupakan cairan berwarna coklat dan memiliki bau yang enak. Apabila di dalam larutan ini baunya tidak enak maka mikroorganisme di dalam larutan ini telah mati.
2. *Effective Microorganism-4* (EM4) dianjurkan disimpan pada tempat teduh dalam wadah yang ditutup rapat.
3. *Effective Microorganism-4* (EM4) dapat memfermentasikan Bahan organik dengan waktu yang singkat.

### **2.8.2. Fungsi Mikroorganisme di Dalam Larutan EM4**

Adapun beberapa fungsi mikroorganisme yang ada di dalam larutan Effective Microorganism-4 (EM4) yaitu sebagai berikut (Yuwono, 2005):

#### 1. Bakteri Fotosintesis

- a. Membentuk zat-zat yang dapat bermanfaat dari sekresi akar, tumbuhan, bahan organik, dan gas-gas berbahaya seperti hidrogen dan sulfida dengan menggunakan bantuan sinar matahari dan panas bumi sebagai sumber energinya. Zat yang bermanfaat itu seperti asam amino, asam nukleik, zat-zat bioaktif, dan gula. Semua dapat mempercepat pertumbuhan dan perkembangan tanaman.
- b. Meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme yang lainnya

#### 2. Bakteri Asam Laktat

- a. Menghasilkan asam laktat dari gula.
- b. Menekan pertumbuhan mikroorganisme yang dapat merugikan contohnya seperti *Fusarium*.
- c. Mempercepat perombakan bahan-bahan organik.
- d. Mampu menghancurkan bahan-bahan organik seperti lignin dan selulosa serta memfermentasikan tanpa menimbulkan pengaruh merugikan yang diakibatkan oleh bahan-bahan organik yang terurai.

#### 3. Ragi

- a. Menghasilkan zat antibakteri dan dapat bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman dari asam-asam amino dan gula yang dikeluarkan oleh bakteri fotosintesis.
- b. Meningkatkan jumlah sel aktif dan perkembangan akar.

#### 4. Jamur Fermentasi

- a. Menghasilkan zat antimikroba dari asam amino yang dihasilkan dari bakteri fotosintesis dan bahan organik.
- b. Menekan pertumbuhan jamur dan bakteri.

#### 5. Actinomycetes

- a. Menguraikan bahan organik secara tepat untuk dapat menghasilkan alkohol, ester, dan zat antimikroba.

b. Menghilangkan bau serta mencegah serbuan serangga dan ulat yang merugikan. Waktu regenerasi merupakan waktu yang dibutuhkan oleh bakteri atau mikroorganisme untuk membelah diri (Boleng, 2015). Proses bakteri berkembang biak memiliki waktu yang berbeda-beda dengan setiap kondisi lingkungan yang berbeda, hal ini sangat bergantung pada terpenuhinya nutrient serta sesuai tidaknya bakteri dengan kondisi lingkungan (Hasmila, 2021). Tahap pertumbuhan mikroorganisme dapat dibagi menjadi empat tahapan yaitu:

a. Fase lag (Fase Penyesuaian)

Fase lag merupakan fase penyesuaian bakteri dengan lingkungan yang baru. Lama fase lag pada bakteri sangat bervariasi, tergantung pada komposisi media, pH, suhu, aerasi, jumlah sel pada inokulum awal dan sifat fisiologi mikroorganisme pada media sebelumnya (Riadi, dalam Lestari, 2018).

b. Fase eksponensial

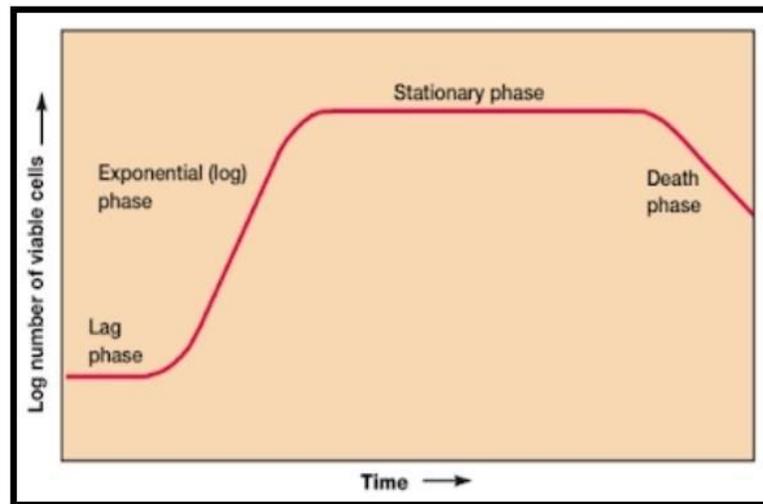
Fase logaritma/ eksponensial ditandai dengan terjadinya periode pertumbuhan yang cepat. Setiap sel dalam populasi membelah menjadi dua sel. Variasi derajat pertumbuhan bakteri pada fase eksponensial ini sangat dipengaruhi oleh sifat genetik yang diturunkannya (Riadi, dalam lestrai, 2018).

c. Fase stasioner

Menurut riadi dalam lestari (2018) bahwa fase stasioner terjadi pada saat laju pertumbuhan bakteri sama dengan laju kematiannya. Sehingga jumlah bakteri keseluruhan akan tetap. Keseimbangan jumlah bakteri ini terjadi karena adanya pengurangan derajat pembelahan sel. Hal ini disebabkan oleh kadar nutrisi yang berkurang dan terjadi akumulasi produk toksik sehingga mengganggu pembelahan sel. Dase stasioner ini dilanjutkan dengan fase kematian yang ditandai dengan peningkatan laju kematian yang melampaui laju pertumbuhan, sehingga secara keseluruhan terjadi populasi bakteri.

d. Fase kematian

Pada fase ini, sel- sel bakteri akan mengalami kematian dipercepat. Hal ini disebabkan: nutrient sudah habis, energi cadangan d dalam sel sudah habis, peningkatan zat- zat toksik yang akan meracuni sel- sel bakteri (Boleng, 2015).



**Gambar 6** Kurva pertumbuhan mikroorganisme  
*Sumber: Riadi dalam Lestari (2018)*

Bakteri dapat bertumbuh dan berkembangbiakkan dengan baik diperlukan suatu substrat yang disebut dengan media. Menurut Boleng (2015) persyaratan media agar bakteri dapat hidup dan berkembang dengan baik yaitu:

1. Media mengandung semua unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri.
2. Media mempunyai tekanan osmosa dan pH yang sesuai untuk bakteri
3. Media harus dalam keadaan steril.

Menurut boleng (2015) dan Hasmila (2021) Proses pertumbuhan bakteri dipengaruhi beberapa faktor yaitu sebagai berikut:

a. Nutrisi

Semua makhluk hidup memerlukan bahan makanan untuk keperluan hidupnya. Untuk mendapatkan energi dan pertumbuhan sel maka mikroorganisme termasuk bakteri memerlukan nutrisi. Beberapa hal yang mendasari bakteri untuk memenuhi kebutuhan akan nutrisi, yaitu.

- 1) Semua organisme membutuhkan energi
- 2) Semua organisme membutuhkan karbon
- 3) Semua organisme membutuhkan nitrogen
- 4) Semua organisme membutuhkan belerang (sulfur)

- 5) Semua organisme membutuhkan beberapa unsur logam (Na, Ca, Mg, Zn, dan Co)
- 6) Semua organisme membutuhkan vitamin
- 7) Semua organisme membutuhkan air

b. Temperatur

Pertumbuhan bakteri, salah satunya dipengaruhi oleh temperatur atau suhu. Temperatur terhadap kerja enzim dan ketahanan struktur sel bakteri. Berdasarkan suhu pertumbuhannya bakteri diklasifikasikan menjadi tiga kelompok sebagai berikut:

- 1) Bakteri psikrofilik, suhu pertumbuhannya  $-5^{\circ}\text{C}$ - $30^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum  $10^{\circ}\text{C}$ - $20^{\circ}\text{C}$
- 2) Bakteri mesofilik, suhu pertumbuhannya  $10^{\circ}\text{C}$ - $45^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum  $20^{\circ}\text{C}$ - $40^{\circ}\text{C}$
- 3) Bakteri termofilik, suhu pertumbuhannya  $25^{\circ}\text{C}$ - $80^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum  $50^{\circ}\text{C}$ - $60^{\circ}\text{C}$

c. Ketersediaan Oksigen ( $\text{O}_2$ )

Bakteri dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok berdasarkan kebutuhan oksigennya, sebagai berikut:

- 1) Aerob obligat, merupakan bakteri yang membutuhkan oksigen dalam pertumbuhannya
- 2) Anaerob obligat, merupakan bakteri yang tumbuh pada kondisi tanpa oksigen, dimana oksigen bersifat toksik bagi sel bakteri kelompok ini
- 3) Anaerob dan aerob fakultatif, merupakan kelompok bakteri yang mampu tumbuh baik pada kondisi ada oksigen atau tanpa oksigen
- 4) Organisme mikroaerofilik, tumbuh baik dibawah tekanan oksigen yang rendah, pada kondisi yang bertekanan oksigen tinggi akan menghambat pertumbuhannya.

d. pH

Proses pertumbuhan bakteri juga memerlukan pH tertentu, akan tetapi pada umumnya bakteri memiliki jarak pH sekitar 6,5-7,5 atau netral. Setiap

mikroorganisme memiliki pH minimum, optimum dan maksimum. Mikroba dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok berdasarkan lingkungan pH bagi kehidupannya sebagai berikut:

- 1) Mikroba asidofilik, merupakan mikroba yang dapat tumbuh pada pH 2,0-5,0.
- 2) Mikroba netrofilik, merupakan mikroba yang dapat tumbuh pada pH 5,5-8,0.
- 3) Mikroba alkalifilik, merupakan mikroba yang dapat tumbuh pada pH 8,7-9,5.

## **2.9. Proses Degradasi Kontaminan Air Limbah Gula**

Proses degradasi kontaminan air limbah industry gula oleh mikroba melibatkan beberapa tahapan yang melibatkan aktivitas mikroorganisme tertentu. Limbah industry gula umumnya mengandung senyawa organik kompleks seperti gula, lignin, hemiselulosa, dan senyawa-senyawa terkait yang dapat menjadi kontaminan air yang merugikan lingkungan jika tidak diolah dengan benar (Arifiani & Ethica, 2018).

Mikroba seperti bakteri, fungi, dan beberapa jenis alga memiliki kemampuan memecah senyawa organik kompleks ini melalui proses degradasi yang bias terjadi secara alami di lingkungan, atau dipercepat melalui pengolahan limbah. Menurut Arifiani & Ethica (2018). Beberapa tahapan umum dalam proses degradasi kontaminan air limbah industry gula oleh mikroba meliputi:

- Hidrolisis: Tahap pertama adalah hidrolisis, di mana senyawa-senyawa kompleks dipecah menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana oleh enzim-enzim yang dihasilkan oleh mikroba. Misalnya, gula kompleks dipecah menjadi gula sederhana.
- Fermentasi: Setelah hidrolisis, senyawa-senyawa yang dihasilkan kemudian mengalami fermentasi. Mikroba menggunakan molekul-molekul ini sebagai sumber energi untuk pertumbuhan mereka sendiri, menghasilkan produk samping seperti asam organik, gas, atau senyawa lainnya.

- Oksida Biologis: Beberapa senyawa dapat menjalani proses oksidasi biologis dimana senyawa organik diuraikan lebih lanjut menjadi bentuk yang lebih sederhana seperti karbon dioksida, air, mineral, dan senyawa-senyawa lain yang kurang berbahaya.
- Biodegradasi: Proses biodegradasi adalah kunci dalam memastikan bahwa senyawa-senyawa berbahaya dipecah menjadi bentuk yang kurang beracun atau tidak beracun sama sekali. Mikroba mengambil peran penting dalam mempercepat proses ini dengan memanfaatkan senyawa-senyawa tersebut sebagai sumber makanan.

Efisiensi degradasi limbah industri gula oleh mikroba bias dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, pH, ketersediaan nutrient, dan keberadaan jenis mikroba yang tepat untuk degradasi senyawa-senyawa spesifik. Proses pengolahan limbah dengan menggunakan mikroba tertentu atau proses bioremediasi dapat dioptimalkan untuk memastikan degradasi yang efisien dan mengurangi dampak negatif limbah industri pada lingkungan.

## **2.10. Kolam Aerasi**

Aerasi adalah penambahan oksigen ke dalam air sehingga oksigen terlarut di dalam air semakin tinggi. Pada prinsipnya aerasi itu mencampurkan air dengan udara atau bahan lain sehingga air yang beroksigen rendah kontak dengan oksigen atau udara. Aerasi termasuk pengolahan secara fisika, karena lebih mengutamakan unsur mekanisasi dari pada unsur biologi. Aerasi merupakan proses pengolahan dimana air dibuat mengalami kontak erat dengan udara dengan tujuan meningkatkan kandungan oksigen dalam air tersebut. Dengan meningkatnya oksigen zat-zat mudah menguap seperti hidrogen sulfide dan metana yang mempengaruhi rasa dan bau dapat dihilangkan. Kandungan karbondioksida dalam air akan berkurang. Mineral yang larut seperti besi dan mangan akan teroksidasi membentuk endapan yang dapat dihilangkan dengan sedimentasi dan filtrasi (Aziz Suhadi, *et.al*, 2019).

Proses aerasi merupakan peristiwa terlarutnya oksigen di dalam air. Efektivitas dari aerasi tergantung dari seberapa luas dari permukaan air yang bersinggungan langsung

dengan udara (Aziz Suhadi, *et.al*, 2019). Fungsi utama aerasi adalah melarutkan oksigen ke dalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air dan melepaskan kandungan gas-gas yang terlarut dalam air, serta oksidasi besi dan mangan dalam air, mereduksi ammonia dalam air melalui proses nitrifikasi. Proses aerasi sangat penting terutama pada pengolahan limbah yang proses pengolahannya biologi memanfaatkan bakteri aerob. Bakteri aerob adalah kelompok bakteri yang mutlak memerlukan oksigen bebas untuk proses metabolismenya (Jurnal Kesehatan Masyarakat. 891): 42-50). Dengan tersedianya oksigen yang mencukupi selama proses biologi, maka bakteri-bakteri tersebut dapat bekerja dengan optimal.

Kolam aerasi merupakan unit pengolahan air limbah berupa kolam terbuka yang dilengkapi dengan aerator untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Proses aerasi yang dilakukan secara mekanis berpotensi meningkatkan efisiensi degradasi material organik dan penyisihan bakteri patogen dengan waktu retensi yang relatif singkat, yaitu 2-6 hari. Waktu retensi dalam kolam aerasi kurang dari 2 hari tidak direkomendasikan karena terlalu singkat untuk proses pembentukan flok. Kolam aerasi pada dasarnya termasuk dalam sistem lumpur aktif, tetapi tidak menerapkan resirkulasi lumpur. Efisiensi penyisihan BOD dari hasil pengolahan pada kolam aerasi mampu mencapai lebih dari 90%.

Tujuan proses aerasi adalah mengontakkan semaksimal mungkin permukaan cairan dengan udara guna menaikkan jumlah oksigen yang terlarut di dalam air buangan sehingga berguna bagi kehidupan agar perpindahan sesuatu atau komponen dari satu medium ke medium yang lain berlangsung lebih efisien, maka yang terpenting adalah terjadinya turbulensi antara cairan dengan udara, sehingga tidak terjadi interface yang stagnan atau diam antara cairan dan udara yang dapat menyebabkan laju perpindahan terhenti (Bitton, 2012).

## **2.11. Jenis-Jenis Reaktor**

Reaktor kimia dirancang untuk mereaksikan bahan-bahan kimia, atau juga sering disebut sebagai tempat untuk mengonversi bahan baku menjadi produk, ada juga yang menyebutkan bahwa reaktor kimia merupakan jantungnya proses kimia. Desain reaktor

kimia dengan kandungan bahan kimia. Karena hal tersebut sangat vital mencakup secara keseluruhan desain untuk proses, desainer harus memastikan bahwa proses reaksi dengan efisiensi tinggi pada produk keluaran yang diinginkan, menghasilkan yield tinggi dengan biaya yang paling efektif (Levenspiel, 1999).

### **2.10.1. Proses *Batch***

Proses *batch* merupakan sebuah proses dimana semua reaktan dimasukkan bersama-sama pada awal proses dan produk dikeluarkan pada akhir proses. Dalam proses ini, semua *reagen* ditambahkan di awal proses dan tidak penambahan atau pengeluaran ketika proses berlangsung. Proses *batch* cocok untuk produksi skala kecil. (Fogler, 1986).

### **2.10.2. Proses Kontinu**

Proses kontinu merupakan sebuah proses dimana reaktan yang diumpankan ke dalam reaktor dan produk sampingan dikeluarkan ketika proses masih berlangsung secara berkelanjutan. Sebagai contoh Haber Proses untuk pembuatan amonia. Biasanya biaya produksi pada proses kontinu lebih hemat dan murah dibandingkan dengan proses *batch*. Proses lebih cocok digunakan untuk industri skala besar. (Fogler, 1986).

## **2.11. Kriteria Desain**

Reaktor adalah tempat, ruang atau volume ruang tertentu tempat terjadinya reaksi antar reaktan untuk membentuk suatu produk baik secara kimiawi, fisikkimiawi, biologis maupun kombinasi diantaranya. Berdasarkan pola aliran, reaktor dibagi menjadi dua yaitu reaktort *batch* dan reaktor aliran kontinyu. Reaktor batch yaitu reaktor yang tidak ada aliran masuk maupun aliran keluar dari reaktor tersebut selama proses pengolahan. Reaktor aliran kontinyu yaitu reaktor yang terdapat aliran masuk dan aliran keluar dari reaktor tersebut selama proses pengolahan. Kriteria reaktor pengolahan berdasarkan kriteria sistem kolam aerasi yang merujuk pada Buku A Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja. Berikut kriteria perencanaan reaktor pada Tabel 3.

**Tabel 3** Kriteria Desain Kolam Aerasi

<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai</b>
Waktu retensi	Hari	2-6
Kedalaman	M	3-5
Laju beban volumetrik	BOD/m <sup>3</sup> ·hari	20-30

*Sumber: Buku A IPLT, 2017*

Kriteria desain dapat disesuaikan dengan target pengolahan. Kolam aerasi merupakan unit pengolahan air limbah berupa kolam terbuka yang dengan aerator untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Pada dasarnya kolam aerasi termasuk dalam sistem lumpur aktif, akan tetapi tidak menerapkan proses resirkulasi lumpur. Efisiensi pengolahan pada kolam aerasi mampu mencapai lebih dari 90% (Dirjen Cipta Karya PUPR, 2017).

## **2.12. Seeding dan Aklimatisasi**

Tahap *seeding* dan aklimatisasi merupakan tahap awal dari proses pengolahan secara biologi. Pengolahan limbah organik sangat ditentukan oleh *seeding* dan aklimatisasi. Proses *seeding* dan aklimatisasi bertujuan agar mikroorganisme yang digunakan dalam proses degradasi beradaptasi terlebih dahulu dengan bahan baku yang akan diolah, sehingga mikroorganisme dapat bekerja secara maksimal (Rahayu, 2011). Tahap *seeding* dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme aerob yang akan digunakan untuk penelitian (Indriyanti, 2003). Sedangkan tahap aklimatisasi merupakan tahap mengkondisikan mikroorganisme agar mikroorganisme dapat hidup dan melakukan penyesuaian diri terhadap lingkungan baru (Andary, 2010).

Parameter yang diukur selama *seeding* dan aklimatisasi adalah pH, temperatur, dan COD selama aklimatisasi dilakukan untuk mengetahui kesiapan substrat untuk dilakukan proses selanjutnya. Steady state tercapai apabila fluktuasi nilai COD tidak melebihi 10%, yang artinya mikroorganisme siap untuk dilakukan proses selanjutnya (Herald, 2010). Menurut Rahayu, 2011 pH juga memiliki pengaruh yang signifikan pada proses *seeding* dan aklimatisasi bakteri yang meliputi:

- Ketersediaan nutrisi: pH dapat memengaruhi ketersediaan nutrisi bagi bakteri. Perubahan pH dapat memengaruhi solubilitas nutrient tertentu dalam media pertumbuhan bakteri. Beberapa bakteri memerlukan pH tertentu untuk mendapatkan nutrisi yang mereka perlukan.
- Pertumbuhan dan reproduksi: pH juga memengaruhi kemampuan bakteri untuk berkembang biak. Beberapa jenis bakteri lebih cocok untuk tumbuh pada pH tertentu, sementara pH yang ekstrem dapat menghambat pertumbuhan mereka.
- Aktivitas enzim: Enzim dalam bakteri sering kali sangat sensitive terhadap perubahan pH. pH yang tidak sesuai dapat mengubah struktur atau aktivitas enzim, memengaruhi kemampuan bakteri untuk mengurai zat organik atau melakukan fungsi penting lainnya.
- Kehidupan seluler: Perubahan yang drastic dapat merusak struktur sel bakteri, seperti membrane sel, dan menyebabkan kematian bakteri.

### **2.13. Faktor-Faktor Pertumbuhan Mikroorganism**

Menurut Hasmila (2021) proses pertumbuhan mikroorganism dipengaruhi beberapa faktor-faktor yaitu sebagai berikut:

#### **2.13.1. Nutrisi**

Semua makhluk hidup memerlukan bahan makanan untuk keperluan hidupnya. Untuk mendapatkan energi dan pertumbuhan sel maka mikroorganism termasuk bakteri memerlukan nutrisi. Beberapa hal yang mendasari bakteri untuk memenuhi kebutuhan akan nutrisi, yaitu.

- Semua organism membutuhkan energi
- Semua organism membutuhkan karbon
- Semua organism membutuhkan nitrogen
- Semua organism membutuhkan belerang (Sulfur)
- Semua organism membutuhkan beberapa unsur logam (Na, Ca, Mg, Zn, dan Co)
- Semua organism membutuhkan vitamin

- Semua organisme membutuhkan air

### **2.13.2. Temperatur**

Pertumbuhan bakteri, salah satunya dipengaruhi oleh temperatur atau suhu. Temperatur terhadap kerja enzim dan ketahanan struktur sel bakteri. Berdasarkan suhu pertumbuhannya bakteri diklasifikasikan menjadi tiga kelompok sebagai berikut:

- Bakteri psikrofilik, suhu pertumbuhannya  $-5^{\circ}\text{C}$ - $30^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum  $10^{\circ}\text{C}$ - $20^{\circ}\text{C}$
- Bakteri mesofilik, suhu pertumbuhannya  $10^{\circ}\text{C}$ - $45^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum  $20^{\circ}\text{C}$ - $40^{\circ}\text{C}$
- Bakteri termofilik, suhu pertumbuhannya  $25^{\circ}\text{C}$ - $80^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum  $50^{\circ}\text{C}$ - $60^{\circ}\text{C}$

### **2.13.3. Ketersediaan Oksigen ( $\text{O}_2$ )**

Pertumbuhan bakteri, salah satunya dipengaruhi oleh temperatur atau suhu. Temperatur terhadap kerja enzim dan ketahanan struktur sel bakteri. Berdasarkan suhu pertumbuhannya bakteri diklasifikasikan menjadi tiga kelompok sebagai berikut:

- Bakteri psikrofilik, suhu pertumbuhannya  $-5^{\circ}\text{C}$ - $30^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum  $10^{\circ}\text{C}$ - $20^{\circ}\text{C}$
- Bakteri mesofilik, suhu pertumbuhannya  $10^{\circ}\text{C}$ - $45^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum  $20^{\circ}\text{C}$ - $40^{\circ}\text{C}$
- Bakteri termofilik, suhu pertumbuhannya  $25^{\circ}\text{C}$ - $80^{\circ}\text{C}$  dengan suhu optimum  $50^{\circ}\text{C}$ - $60^{\circ}\text{C}$

2.7.2.3. Ketersediaan Oksigen ( $\text{O}_2$ ) Bakteri dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok berdasarkan kebutuhan oksigennya, sebagai berikut:

- Aerob obligat, merupakan bakteri yang membutuhkan oksigen dalam pertumbuhannya
- Anaerob obligat, merupakan bakteri yang tumbuh pada kondisi tanpa oksigen, dimana oksigen bersifat toksik bagi sel bakteri kelompok ini
- Anaerob dan aerob fakultatif, merupakan kelompok bakteri yang mampu tumbuh baik pada kondisi ada oksigen atau tanpa oksigen

- Organisme mikroaerofilik, tumbuh baik dibawah tekanan oksigen yang rendah, pada kondisi yang bertekanan oksigen tinggi akan menghambat pertumbuhannya.

#### **2.13.4. pH**

Proses pertumbuhan bakteri juga memerlukan pH tertentu, akan tetapi pada umumnya bakteri memiliki jarak pH sekitar 6,5-7,5 atau netral. Setiap mikroorganisme memiliki pH minimum, optimum dan maksimum. Mikroba dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok berdasarkan lingkungan pH bagi kehidupannya sebagai berikut:

- Mikroba asidofilik, merupakan mikroba yang dapat tumbuh pada pH 2,0-5,0.
- Mikroba netrofilik, merupakan mikroba yang dapat tumbuh pada pH 5,5-8,0.
- Mikroba alkaliphilik, merupakan mikroba yang dapat tumbuh pada pH 8,7-9,5.

#### **2.14. Inokulasi Bakteri**

Inokulasi merupakan pemindahan mikroba dari lingkungan aslinya ke media yang baru dengan menggunakan tingkat ketelitian yang sangat akurat agar tidak terjadi kontaminasi dari mikroba lain atau gangguan dari serangga. Media merupakan bahan yang digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme karena mengandung banyak vitamin, nutrisi, energi, atau unsur hara lain yang dimana mempunyai peran yang sangat penting bagi kelangsungan hidup suatu mikroorganisme. Inokulasi juga dapat dikatakan sebagai metode dalam memindahkan suatu mikroorganisme ke dalam suatu substrat. Proses inokulasi memerlukan alat dan bahan yang steril demi mencegah terjadinya kontaminasi oleh mikroba lain. Tujuan dari inokulasi adalah untuk melihat pertumbuhan dan perkembangbiakan pada mikroorganisme. Secara umum, inokulasi dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode tebar dan metode tuang. Inokulasi dengan metode tebar (spread plate) merupakan Teknik dalam menumbuhkan suatu mikroorganisme dengan menuangkan stok kultur bakteri ke dalam media agar yang telah memadat. Inokulasi dengan menggunakan metode tuang (pour plate) merupakan Teknik dalam menumbuhkan mikroorganisme dengan mencampurkan media agar yang masih cair dengan stok kultur bakteri sehingga sel-selnya tersebar merata, baik di

dalam maupun di luar (Monivia Chandra, 2016). Istilah mikroba (disebut juga mikroorganisme, mikroba maupun jasad renik) bukan nama dari suatu kelompok organisme seperti hewan dan tumbuhan, melainkan suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan suatu organisme yang mempunyai ukuran yang sangat kecil, sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang tanpa menggunakan mikroskop. Secara umum, mikroba merupakan organisme yang sangat sederhana. Umumnya bakteri, protozoa, dan beberapa alga serta fungi mikroskopik merupakan mikroba bersel tunggal. Bahkan mikroba yang multiseluler pun tidak memiliki ukuran sel yang besar (Hafsan,S.Si, 2011).

Inokulasi starter bakteri mengacu pada proses penambahan atau pengenalan bakteri starter ke dalam suatu media atau lingkungan yang cocok untuk pertumbuhan mikroorganisme tersebut (Kurniawan dkk, 2021).

Menurut Kurniawan, dkk (2021) langkah-langkah dalam proses inokulasi starter bakteri meliputi:

#### **2.14.1. Persiapan Media Pertumbuhan**

Siapkan media pertumbuhan yang cocok untuk bakteri inola 121 dan em4. Media ini bias berupa campuran nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan mikroorganisme dalam kultur em4.

#### **2.14.2. Persiapan bakteri inola 121 dan em4**

Siapkan kultur bakteri inola 121 dan em4 yang telah terdapat dalam bentuk yang cocok untuk inokulasi. Bisa berupa suspense bakteri yang sudah dikembangkan sebelumnya.

#### **2.14.3. Penambahan Bakteri ke dalam Media Pertumbuhan**

Pastikan bahwa bakteri inola 121 dan em4 dicampur secara merata ke dalam media pertumbuhan. Pengadukan yang baik akan memastikan distribusi yang merata dari kultur bakteri dalam media.

#### **2.14.4. Inkubasi dan Pertumbuhan Bakteri**

Tempatkan media yang telah diinokulasikan dengan bakteri inola 121 dan em4 dalam kondisi yang mendukung pertumbuhan bakteri. Kondisi seperti suhu, kelembaban, dan lingkungan yang optimal untuk bakteri harus dipertahankan.

#### **2.14.5. Penggunaan Bakteri Inola 121 dan Em4**

Setelah bakteri inola 121 dan em4 tumbuh dengan baik, mereka dapat digunakan dalam aplikasi yang diinginkan, seperti dalam pengolahan air limbah dan pengomposan.

### **2.15. Parameter Pengujian**

Pada penelitian parameter pengujian digunakan disesuaikan dengan Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan No.69 Tahun tentang Baku mutu yang dipersyaratkan dan Kriteria Kerusakan Lingkungan Hidup, adapun parameter yang digunakan BOD, COD, TSS, pH, Minyak dan Lemak.

#### **2.14.1. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)**

BOD adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/l) yang digunakan untuk mengurai bahan organik yang terlarut ataupun tersuspensi menjadi bahan organik lebih sederhana. Pemeriksaan BOD dalam limbah didasarkan atas reaksi oksidasi zat-zat organik dengan oksigen dalam air dimana proses tersebut dapat berlangsung karena ada sejumlah bakteri. Apabila dalam air banyak mengandung bahan-bahan organik akan mengakibatkan semakin banyaknya oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan bahan-bahan organik tersebut, sehingga kandungan oksigen dalam air akan semakin menurun. Dengan habisnya oksigen terkonsumsi membuat biota lainnya yang membutuhkan oksigen menjadi kekurangan dan akibatnya biota yang memerlukan oksigen lainnya tidak dapat hidup. Namun bila terdapat oksigen dalam jumlah cukup, maka pembusukan biologis secara aerobik dari limbah organik akan terus berlangsung sampai semua bahan organik yang ada habis (Ginting, 2007). Untuk mengetahui banyaknya oksigen yang digunakan tersebut

dilakukan pengukuran dengan prosedur SNI 6989.72: 2009 tentang Air dan Limbah Cair : Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*) (Wasima, 2022).

### **2.13.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)**

COD atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam air oleh senyawa-senyawa oksidator kuat kalium bikromat, asam sulfat pekat, ( $K_2Cr_2O_7$ ) dan perak sebagai katalis. Nilai COD menunjukkan kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menguraikan kandungan bahan organik dalam air secara kimiawi, khususnya bagi senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh proses biologis (Permata, 2016).

Metode pengukuran COD sedikit lebih kompleks, karena penggunaan asam pekat, pemanasan, dan titrasi. Peralatan refluks diperlukan untuk menghindari berkurangnya air sampel karena pemanasan. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah kalium bikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume yang diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya kelebihan kalium bikromat dititrasi dengan titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan dinilai (Atima & Taher, 2015). Prinsip pengujian COD dipaparkan pada SNI 6989.15: 2009 tentang Air dan Limbah Cair: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) dengan refluks terbuka secara titrimetri.

### **2.13.3 TSS (*Total Suspended Solid*)**

Padatan tersuspensi adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap, terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, seperti bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, tanah liat dan lain-lain (Salafiyah, 2014).

TSS berhubungan erat dengan kekeruhan air. Semakin tinggi nilai TSS, air akan semakin keruh. Hal ini dapat mengakibatkan terhalangnya sinar matahari yang akan masuk ke dalam air sehingga fotosintesis akan terganggu dan menyebabkan

turunnya kadar oksigen terlarut yang akan mengganggu aktivitas makhluk hidup (Salafiyah, 2014). Untuk mengetahui banyaknya padatan dilakukan pengukuran dengan prosedur SNI 6989.3: 2009 Tentang Air dan Limbah Cair : Cara Uji Padatan Tersuspensi Solids (TSS) secara gravimetri (Wasima, 2022).

#### **2.13.4 pH**

pH atau derajat keasaman merupakan parameter kimia yang menunjukkan konsentrasi ion hidrogen pada perairan. Konsentrasi ion hidrogen dapat mempengaruhi reaksi kimia yang terjadi di lingkungan perairan. Larutan dengan pH rendah dinamakan asam, sedangkan yang nilai pH-nya tinggi dinamakan basa. Skala pH terentang dari 0 (asam kuat) hingga 14 (basa kuat) dengan 7 adalah nilai tengah mewakili air minum (netral) (Langsa & Sirampun, 2020).

#### **2.13.5 Minyak dan Lemak**

Minyak dan Lemak merupakan salah satu senyawa penyebab terjadinya pencemaran pada suatu perairan sehingga konsentrasinya harus dibatasi. Minyak memiliki berat jenis yang kecil bila dibandingkan dengan air sehingga dapat membentuk lapisan diatas permukaan air. Akibat dari kondisi tersebut menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air karena fiksasi oksigen bebas menjadi terhambat. Untuk menghitung kadar minyak dan lemak dalam air limbah digunakan metode gravimetri (Perbandingan berat) berdasarkan standar yang diatur dalam SNI 6989.10: 2019 tentang air dan air limbah cair: Cara uji minyak dan lemak gravimetri.

## 2.16. Studi Penelitian Terdahulu

**Tabel 4** Studi Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan penelitian

No.	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Lily Oktavia, 2012	Pengolahan limbah cair pabrik gula menggunakan kolam aerasi dengan penambahan inola 121	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan INOLA 121 sebagai start up menghasilkan efisiensi pengolahan sebesar 91,3% dengan dosis 5mg/l dan waktu detensi se lama 2 hari
2.	Rusdiana, Eva, <i>et.al.</i> 2020	Analisis faktor-faktor penjernihan limbah cair unit pengolahan limbah cair industri gula (Studi kasus PG XYZ)	Hasil penurunan nilai COD sangat fluktuatif pada setiap pengujian. Penurunan paling tinggi terjadi pada pengujian hari ke-12 dengan nilai COD akhir pada bak outlet sebesar 64 mg/L dari nilai awal sebesar 2000 mg/L. Penurunan nilai COD menunjukkan banyaknya konsentrasi bahan organik yang mampu didegradasi oleh bakteri.
3.	Tri Chandra Sunarti, <i>et.al.</i> , 2014	Stabilisasi sludge dari instalasi pengolahan air limbah (IPAL) menggunakan starter bakteri indigenus pada aerobic sludge digester	Stabilisasi sludge menggunakan aerobic digester dapat dimanfaatkan untuk mendegradasi komponen senyawa organik kompleks pada lumpur pengolahan biologis, dimana mikroorganisme indigenus mampu menyisihkan kontaminan pada air limbah

4.	Balai Teknologi Lingkungan (BPPT), 2009	Proses Pemenihan dan Aklimatisasi Mikroorganisme dari Limbah Pabrik Permen untuk Lumpur Aktif	Proses lumpur aktif menurunkan kandungan COD hingga 80% selama 94 sampai 118 hari, dan pada hari ke 124 dapat dilanjutkan proses aklimatisasi
5.	Balai Teknologi Lingkungan (BPPT), 2009	Penurunan Kadar COD air limbah industri permen dengan menggunakan reaktor lumpur aktif	Efisiensi penyisihan COD pada waktu tinggal 24 jam, 18 jam dan 12 jam yaitu lebih besar dari 90 sehingga kandungan COD baku mutunya terpenuhi
6.	M Ismail, 2020	Efektivitas Bakteri Indegenous Dalam Mendegradasi Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Limbah Tenun	Bakteri indogenous mampu untuk mendegradasi kadar COD pada limbah tenun yang berasal dari tanah tercemar itu sendiri
7.	Sari Ayu, Selvi, et.all 2022	Pengaruh Penambahan EffectifeMicroorganisms (EM4) Terhadap Kualitas Limbah Cair Tahu Dengan Teknik Aerasi	Pada hari ke – 8 EM4 dapat menurunkan kadar BOD dan COD, dimana kadar awal BOD sebelum perlakuan sebesar 17013,90 mg/L dan setelah perlakuan dengan EM4 menjadi 4218,82 mg/L dengan keefektifan sebesar 75,20 % dan EM4 dapat menurunkan kadar COD, dimana kadar awal COD sebelum perlakuan sebesar 21767,54 mg/L dan setelah perlakuan menjadi 6341,70 mg/L dengan keefektifan sebesar 70,87% .

---

8.	Jasmiyati, et. al2010	Bioremediasi Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Effektif Mikroorganisme (EM4)	Pengolahan aerob dengan bioremediasi menggunakan mikroorganisme EM4 mampu menurunkan konsentrasi BOD dan COD air limbah tahu ,dimana presentase penurunan konsentrasi mencapai 93,61-97,87%
----	-----------------------	----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---