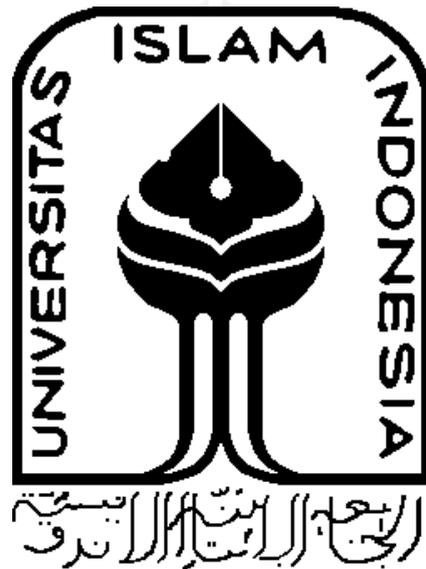


TA/TL/2022/1505

**TUGAS AKHIR  
IDENTIFIKASI BAKTERI DARI SEDIMEN MUARA SUNGAI PROGO,  
D.I. YOGYAKARTA  
SEBAGAI AGEN PENDEGRADASI MIKROPLASTIK**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**

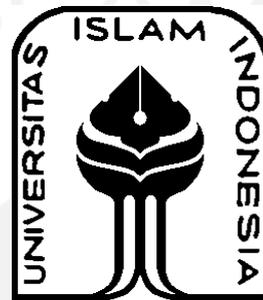


**RIFA NUR AZIZAH  
18513127**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA  
2022**

**TUGAS AKHIR**  
**IDENTIFIKASI BAKTERI DARI SEDIMEN MUARA SUNGAI PROGO, D.I.**  
**YOGYAKARTA**  
**SEBAGAI AGEN PENDEGRADASI MIKROPLASTIK**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



RIFA NUR AZIZAH  
18513127

Disetujui, Dosen Pembimbing:

**Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng**

**NIK. 19513010**

Tanggal:

28 September 2022

**Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., Ph.D**

**NIK. 155130505**

Tanggal:

28 September 2022

Mengetahui,  
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



**Dr. Eng. Awaluddin Nurmivanto, S.T., M.Eng.**

**NIK. 095130403**

Tanggal: 21 Oktober 2022

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**HALAMAN PENGESAHAN**

**IDENTIFIKASI BAKTERI DARI SEDIMEN MUARA SUNGAI  
PROGO, D.I. YOGYAKARTA  
SEBAGAI AGEN PENDEGRADASI MIKROPLASTIK**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis

Tanggal : 29 September 2022

Disusun Oleh:

**RIFA NUR AZIZAH  
18513127**

**Tim Penguji :**

**Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng.**

(  )

**Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., Ph.D**

(  )

**Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D**

(  )

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



**Rifa Nur Azizah**

NIM: 18513127

## PRAKATA

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Identifikasi Bakteri Dari Sedimen Muara Sungai Progo, D.I. Yogyakarta Sebagai Agen Pendegradasi Mikroplastik”. Penyusunan laporan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Pendidikan Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini banyak terjadi hambatan dan rintangan yang dihadapi, tetapi dengan adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, penulis dapat melaluinya dengan baik. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, kelancaran, kesehatan dan ilmu yang bermanfaat sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Parmono dan Ibu Reni Eka Wahyuni yang selalu memberikan dukungan, kepercayaan dan memanjatkan doa-doa terbaik serta kasih sayang kepada penulis. Kemudian adik-adik penulis Endah Nur Handayani dan Muhammad Afnan Atma Nugraha yang selalu memberikan support dan canda tawa ketika keadaan penulis sedang tidak baik.
3. Ibu Adelia Anju Asmara S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir, terima kasih banyak atas segala dukungan, bimbingan dan kepercayaan yang telah diberikan.
4. Ibu Annisa Nur Lathifah, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir, terima kasih banyak atas segala dukungan, bimbingan dan kepercayaan yang telah diberikan.
5. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D., selaku penguji Tugas Akhir, terima kasih telah memberikan banyak masukan serta saran pada saat menjalani seminar hasil dan pendadaran.
6. Seluruh dosen, staf dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Terima kasih atas segala bantuan, pengajaran dan pengalaman yang telah diberikan.
7. Seluruh staf Laboratorium Kualitas Lingkungan, FTSP, UII yang telah memberikan banyak bantuan dan pengalaman kepada penulis.

8. Teman-teman seperjuangan tugas akhir, Afifah, Diani, Fira, Safina, Andine, Salsa dan Dea. Terima kasih telah memberikan banyak bantuan serta pertemanan yang baik selama menjalani tugas akhir.
9. Teman-teman terbaik penulis selama masa perkuliahan, Neysa, Fira, Diani, Sage, Adit, Wisnu, Zaim, Rafly, Andine, Bagas dan Carisa.
10. Teman-teman lama penulis yang selalu memberikan dukungan dan menjadi teman keluh kesah penulis, Ica, Maklut, Rahmat, Pijul, Ikhsan, Yasa, Kurnia, Alipek dan Faiza.
11. Teman-teman seperjuangan TA penulis, Alipek, Adi, Fitri dan Firdaus yang sama-sama berjuang menyelesaikan TA di tengah kondisi yang terbatas pada waktu yang sama.
12. Teman-teman Angkatan 2018 Program Studi Teknik Lingkungan.
13. Abang dan Mbak Teknik Lingkungan 2017 yang selalu membantu dan mendukung serta menjadi pendengar penulis, Mba Lesi, Mba Fia, Mba Fanisa, Mba Nuha, Bang Hatta, Bang Tigor, Bang Naufal, Bang Ramzy dan Bang Asad.
14. Orang-orang yang pernah ada selama penulis hidup. Terima kasih atas kehadiran kalian dalam hidup penulis.
15. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari banyaknya kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun serta menambah pengetahuan penulis terlebih dalam penyusunan Tugas Akhir. Diharapkan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan digunakan sebaik-baiknya bagi penulis dan semua pihak.

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Yogyakarta, 15 Juli 2022

*Rifa Nur Azizah*

## ABSTRAK

RIFA NUR AZIZAH. Identifikasi Bakteri Dari Sedimen Muara Sungai Progo, D.I. Yogyakarta Sebagai Agen Pendegradasi Mikroplastik. Dibimbing oleh ADELIA ANJU ASMARA, S.T., M.Eng. dan ANNISA NUR LATHIFAH, S.Si., M.Biotech., Ph.D.

Permasalahan mengenai mikroplastik saat ini menjadi perhatian yang serius. Timbulan sampah plastik meningkatkan potensi pencemaran akibat mikroplastik yang dapat berdampak buruk bagi habitat hidup dan lingkungan. Muara Sungai Progo, D.I. Yogyakarta dipilih sebagai lokasi penelitian dikarenakan merupakan sungai terbesar di D.I. Yogyakarta dan merupakan akhir sungai sebelum masuk ke lautan lepas. Pada penelitian ini, 7 bakteri yang merupakan bakteri dominan dan memiliki keunikan telah diisolasi dari sedimen laguna dan sedimen muara untuk mengetahui potensi degradasi mikroplastik menggunakan mikroplastik jenis *Polyethylene (PE)*, *Polypropylene (PP)*, *Polystyrene (PS)* dan *Polyethylene terephthalate (PET)* dengan parameter terbentuknya *clear zone* di sekitar mikroplastik. Berdasarkan hasil didapatkan diameter *clear zone* terluas pada masing-masing jenis mikroplastik yaitu *PE* sebesar  $\pm 7.48$  mm, *PP* sebesar  $\pm 6.75$  mm, *PS* sebesar  $\pm 15.30$  mm dan *PET* sebesar  $\pm 10.19$  mm. Semua inokulum diinkubasi selama 20 hari di suhu 30°C dengan kemampuan terbaik adalah isolat SL4 dan SM1. Genus bakteri yaitu *Ruminococcus*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Enterobacter*, *Staphylococcus*, *Bacillus* dan *Citrobacter*. Kelimpahan mikroplastik pada sedimen laguna didapatkan sebanyak 197046 partikel dan sedimen muara 17036 partikel mikroplastik. Jenis yang paling banyak ditemukan adalah jenis *fragment*, *film* dan *fibre* dan memiliki warna dengan dominasi warna hitam, merah, transparan dan coklat.

Kata kunci: Bakteri, Bioremediasi, Degradasi, Mikroplastik

## **ABSTRACT**

RIFA NUR AZIZAH. *Identification of Bacteria from Progo River Estuary Sediments, DI Yogyakarta as Microplastic Degrading Agents. Supervised by ADELIA ANJU ASMARA, ST, M.Eng. and ANNISA NUR LATHIFAH, Ph.D.*

*The problem of microplastics is currently a serious concern. The generation of plastic waste increases the potential for pollution due to microplastics which can have a negative impact on living habitats and the environment. The mouth of the Progo River, DI Yogyakarta was chosen as the research location because it is the largest river in DI Yogyakarta and is the end of the river before entering the open sea. In this study, 7 bacteria which are dominant and unique bacteria have been isolated from lagoon sediments and estuary sediments to determine the potential for microplastic degradation using Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS) and Polyethylene terephthalate (PET) microplastics with parameters for the formation of a clear zone around the microplastic. Based on the results obtained, the clear zone for each type of microplastic, namely PE of  $\pm 7.48$  mm, PP of  $\pm 6.75$  mm, PS of  $\pm 15.30$  mm and PET of  $\pm 10.19$  mm. All inoculums were incubated for 20 days at 30°C with the best performance being SL4 and SM1 isolates. genus bacterial Ruminococcus, Mycobacterium, Micrococcus, Enterobacter, Staphylococcus, Bacillus and Citrobacter. The abundance of microplastics in lagoon sediments was found to be 197046 particles and estuary sediments 17036 microplastic particles. The types most commonly found are fragment, film and fiber and have colors with a predominance of black, red, transparent and brown.*

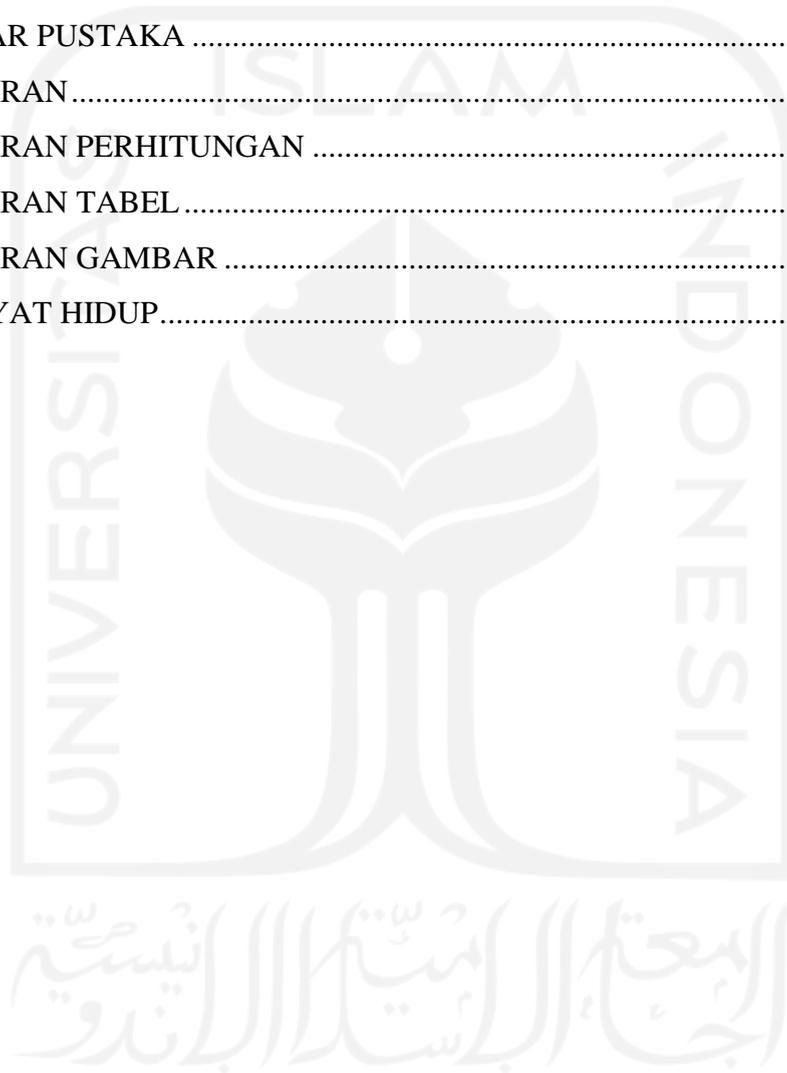
Keywords: Bacteria, Bioremediation, Degradation, Microplastics

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN*	iv
PERNYATAAN	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	14
LAMPIRAN	16
BAB I PENDAHULUAN	17
1.1 Latar Belakang	17
1.2 Perumusan Masalah	19
1.3 Tujuan Penelitian	20
1.4 Manfaat Penelitian	20
1.5 Ruang Lingkup	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	22
2.1 Pencemaran Plastik di Lingkungan	22
2.2 Jenis Polimer Plastik	22
2.2.1 <i>Polyethylene (PE)</i>	22
2.2.2 <i>Polypropylene (PP)</i>	23
2.2.3 <i>Polystyrene (PS)</i>	24
2.2.4 <i>Polyethylene Terephthalate (PET)</i>	25
2.3 Mikroplastik	26
2.4 Permasalahan Mikroplastik di Indonesia	29
2.5 Dampak Mikroplastik ke Lingkungan	30
2.6 Mikroplastik Pada Sedimen	31
2.7 Peran Bakteri <i>Indigenous</i> Pada Biodegradasi Mikroplastik	31

2.8	Penelitian Sebelumnya Mengenai Bioremediasi Mikroplastik .....	32
BAB III METODE PENELITIAN .....		35
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian .....	35
3.2	Alat dan Bahan .....	36
3.2.1	Alat.....	36
3.2.2	Bahan.....	36
3.3	Prosedur Penelitian.....	37
3.3.1	Diagram Alir Penelitian .....	37
3.3.2	Variabel Penelitian .....	38
3.4	Persiapan dan Teknik Sampling.....	39
3.4.1	Sampel Sedimen.....	39
3.5	Media.....	41
3.6	Pengujian Degradasi Bakteri Pada Mikroplastik .....	42
3.6.1	Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen .....	42
3.6.2	<i>Total Plate Count (TPC)</i> .....	46
3.6.3	Identifikasi Morfologi Koloni Bakteri .....	47
3.6.4	Pemindahan/ <i>Reculture</i> Bakteri.....	49
3.6.5	Pewarnaan Gram .....	51
3.6.6	Pengujian Degradasi Mikroplastik Dengan Bakteri.....	53
3.7	Identifikasi Karakteristik Mikroplastik .....	55
3.7.1	Pengeringan Sampel.....	55
3.7.2	Pengadukan dan Pengendapan Sampel .....	57
3.7.3	<i>Wet Peroxide Oxidation (WPO)</i> dan Penyaringan .....	59
3.7.4	Mikroskop .....	60
3.8	Analisis Data .....	61
3.8.1	Degradasi Mikroplastik Dengan Bakteri Berdasarkan Terbentuknya .....	61
3.8.2	Analisis Kemungkinan Jenis Bakteri Pendegradasi Mikroplastik .....	63
3.8.3	Identifikasi Karakteristik Mikroplastik.....	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		64
4.1	Deskripsi Daerah Penelitian.....	64
4.1.1	Muara Sungai Progo.....	64
4.1.2	Laguna Pantai Trisik, Kulon Progo.....	66
4.2	Karakteristik Bakteri Pendegradasi Mikroplastik .....	67
4.2.1	Isolasi dan Identifikasi Koloni Bakteri .....	67
4.2.2	Kerapatan/Densitas Sel Mikroba (CFU/mL) .....	74
4.2.3	Morfologi Sel Bakteri .....	75
4.3	Kemampuan Bakteri Pendegradasi Mikroplastik.....	77

4.3.1	Terbentuknya <i>Clear Zone</i> Menggunakan Indikator <i>Congo Red</i> .....	77
4.3.2	Jenis Bakteri Pendegradasi Mikroplastik .....	83
4.3.3	Identifikasi Karakteristik Mikroplastik .....	85
4.3	Penerapan Hasil Penelitian Di Bidang Teknik Lingkungan .....	94
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		98
5.1	Kesimpulan .....	98
5.2	Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA .....		102
LAMPIRAN .....		113
LAMPIRAN PERHITUNGAN .....		113
LAMPIRAN TABEL .....		114
LAMPIRAN GAMBAR .....		120
RIWAYAT HIDUP.....		138



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Klasifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jenis .....	27
<b>Tabel 3. 1</b> Penentuan Diameter <i>Clear Zone</i> dan Sifat Bakteri .....	62
<b>Tabel 4. 1</b> Morfologi Bakteri Isolat Sedimen Laguna dan Sedimen Muara .....	69
<b>Tabel 4. 2</b> Morfologi Sel Bakteri.....	75
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil Pengukuran <i>Clear Zone</i> .....	77
<b>Tabel 4. 4</b> Sifat Bakteri Pendegradasi Mikroplastik Terhadap Jenis Mikroplastik .....	81
<b>Tabel 4. 5</b> Rentang Diameter <i>Clear Zone</i> Dari Hasil Degradasi .....	82
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil <i>Screening</i> Degradasi Mikroplastik.....	83
<b>Tabel 4. 7</b> Perbandingan Bakteri Pendegradasi Mikroplastik Dengan Penelitian Sebelumnya.....	83
<b>Tabel 4. 8</b> Jumlah Keseluruhan Mikroplastik Berdasarkan Jenis dan Warna.....	88



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> <i>Polyethylene</i> .....	23
<b>Gambar 2. 2</b> <i>Polypropylene</i> .....	24
<b>Gambar 2. 3</b> <i>Polystyrene</i> .....	24
<b>Gambar 2. 4</b> <i>Polyethylene Terephthalate</i> .....	25
<b>Gambar 3. 1</b> Peta Koordinat Titik Sampling Sedimen Laguna dan Muara .....	35
<b>Gambar 3. 2</b> Diagram Alir Penelitian .....	37
<b>Gambar 3. 3</b> Pengambilan Sampel Sedimen Muara di Titik 1 .....	40
<b>Gambar 3. 4</b> Pengambilan Sampel Sedimen Muara di Titik 2 .....	40
<b>Gambar 3. 5</b> Pengambilan Sampel Sedimen Laguna di Titik 1 .....	41
<b>Gambar 3. 6</b> Persiapan <i>Serial Dilution</i> Pada Sampel .....	43
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Serial Dilution</i> Sampel Sedimen.....	43
<b>Gambar 3. 8</b> Diagram Alir Proses Pembuatan Media <i>DNB</i> .....	44
<b>Gambar 3. 9</b> Diagram Alir Proses Pembuatan Media <i>DNB Agar</i> .....	45
<b>Gambar 3. 10</b> Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri Menggunakan <i>Colony Counter</i> .....	47
<b>Gambar 3. 11</b> Morfologi Koloni Pada Media Padat di Cawan Petri .....	48
<b>Gambar 3. 12</b> Contoh Morfologi Koloni Bakteri .....	49
<b>Gambar 3. 13</b> Proses Pembuatan Media <i>NA</i> .....	50
<b>Gambar 3. 14</b> (a) Media <i>NA</i> , (b) <i>NA</i> Miring Pada Tabung Reaksi .....	50
<b>Gambar 3. 15</b> Inokulum Bakteri Pada Media Agar Miring .....	51
<b>Gambar 3. 16</b> Ilustrasi Jenis Gram Bakteri.....	52
<b>Gambar 3. 17</b> Langkah Kerja Pewarnaan Gram.....	52
<b>Gambar 3. 18</b> (a) Pembuatan Media <i>NA</i> , (b) Media <i>NA</i> Pada Cawan Petri.....	53
<b>Gambar 3. 19</b> Jenis Polimer Plastik Yang Digunakan Dalam Uji Degradasi (a), <i>Polyethylene (PE)</i> , (b) <i>Polypropylene (PP)</i> , (c) <i>Polystyrene (PS)</i> , (d) <i>Polyethylene Terephthalate (PET)</i> .....	54
<b>Gambar 3. 20</b> Inokulum Uji Degradasi Mikroplastik Dalam Media Cawan Petri (a) Inokulum Dengan Kultur Bakteri, (b) Kontrol.....	54
<b>Gambar 3. 21</b> Proses Pengeringan Sampel .....	55
<b>Gambar 3. 22</b> Hasil Pengeringan Sampel (a) Sampel Sedimen Laguna, (b) Sedimen Muara.....	56
<b>Gambar 3. 23</b> (a) Hasil penghancuran Sampel Sedimen, (b) Pengayakan Sampel Sedimen Sumber .....	56
<b>Gambar 3. 24</b> Langkah Pembuatan Larutan <i>NaCl</i> .....	57
<b>Gambar 3. 25</b> Proses Pengadukan dan Pengendapan Pada Sampel Sedimen.....	58
<b>Gambar 3. 26</b> (a) Larutan <i>NaCl</i> , (b) Sampel Sedimen 100 gr, (c) Pengadukan campuran Sampel dan larutan <i>NaCl</i> Dengan <i>Jar Test</i> , (d) Proses Pengendapan Sampel Sedimen ...	58
<b>Gambar 3. 27</b> Proses <i>WPO</i> dan Penyaringan.....	59
<b>Gambar 3. 28</b> (a) Proses <i>WPO</i> , (b) Proses Penyaringan Menggunakan <i>Vacuum pumps and compressors</i> .....	60
<b>Gambar 3. 29</b> Sampel <i>Fibre</i> (a) Sedimen Laguna (SL), (b) Sedimen Muara (SM).....	60
<b>Gambar 3. 30</b> Ilustrasi Hasil Pengujian Degradasi Berdasarkan <i>Clear Zone</i> .....	61
<b>Gambar 4. 1</b> (a) Area Danau Pemancingan, (b) Tambak Ikan Nila, (c) Area Persawahan, (d) Tempat Wisata Konservasi Penyu.....	64
<b>Gambar 4. 2</b> Pantai Trisik, Kulon Progo, D.I. Yogyakarta.....	65

<b>Gambar 4. 3</b> Laguna (Pantai Trisik), Kulon Progo, D.I. Yogyakarta .....	66
<b>Gambar 4. 4</b> Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Laguna Kode (a) SL 10-4 dan (b) SL 10-4 (2) .....	67
<b>Gambar 4. 5</b> Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Muara Kode (a) SM 10-4 dan (b) SM 10-4 (2) .....	68
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik Jumlah Koloni Bakteri dan Bakteri Dominan Pada Sedimen Laguna dan Sedimen Muara .....	71
<b>Gambar 4. 7</b> Morfologi Koloni Bakteri Dominan Pada Media <i>NA</i> Cawan Petri Dari Sedimen Laguna Kode (a) SL19 dan (b) SL5 .....	72
<b>Gambar 4. 8</b> Morfologi Koloni Bakteri Dominan Pada Media <i>NA</i> Cawan Petri Dari Sedimen Muara Kode (a) SM1, (b) SM2, dan (c) SM3 .....	73
<b>Gambar 4. 9</b> Grafik Kerapatan/Densitas Sel Mikroba (CFU/mL) Sedimen Muara Menggunakan Metode <i>Total Plate Count (TPC)</i> .....	74
<b>Gambar 4. 10</b> Hasil Inkubasi Inokulum Sedimen Laguna Kode SL4 (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20 .....	80
<b>Gambar 4. 11</b> Hasil Inkubasi Inokulum Sedimen Muara Kode SM10(2) (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20 .....	80
<b>Gambar 4. 12</b> Grafik Jumlah Mikroplastik Teridentifikasi Pada Sampel Sedimen Laguna dan Sedimen Muara .....	86
<b>Gambar 4. 13</b> Mikroplastik Jenis <i>Fragment</i> .....	90
<b>Gambar 4. 14</b> Mikroplastik Jenis <i>Fibre/Filament</i> .....	91
<b>Gambar 4. 15</b> Mikroplastik Jenis <i>Film</i> .....	91
<b>Gambar 4. 16</b> Mikroplastik Jenis <i>Foam</i> .....	92
<b>Gambar 4. 17</b> Bak Pengolahan Teknologi <i>Subsurface Flow Constructed Wetland</i> .....	96
<b>Gambar 4. 18</b> Bak Kolam Indikator .....	96

## LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Perhitungan Densitas Bakteri Pada Sedimen Laguna .....	113
<b>Lampiran 2</b> Perhitungan Densitas Bakteri Pada Sedimen Muara.....	113
<b>Lampiran 3</b> Morfologi Koloni Bakteri Pada Isolat Bakteri Sedimen Laguna Kode SL 10 <sup>4</sup> dan SL 10 <sup>5</sup> .....	114
<b>Lampiran 4</b> Jenis Morfologi Koloni Bakteri Pada Isolat Bakteri Sedimen Laguna Kode SL 10 <sup>6</sup> dan SL 10 <sup>7</sup> .....	115
<b>Lampiran 5</b> Jenis Morfologi Koloni Bakteri Pada Isolat Bakteri Sedimen Muara Kode SM 10 <sup>4</sup> dan SM 10 <sup>5</sup> .....	116
<b>Lampiran 6</b> Jenis Morfologi Koloni Bakteri Pada Isolat Bakteri Sedimen Muara Kode SM 10 <sup>6</sup> .....	117
<b>Lampiran 7</b> Total Koloni Isolasi Bakteri, Nilai OD pada Bakteri Uji dan Densitas Sel Mikroba Bakteri .....	118
<b>Lampiran 8</b> Berat Mikroplastik Pada Inokulum Uji Degradasi Sedimen Laguna (SL) dan Sedimen Muara (SM).....	119
<b>Lampiran 9</b> Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri .....	120
<b>Lampiran 10</b> Hasil Morfologi Sel Bakteri.....	122
<b>Lampiran 11</b> Hasil Morfologi Sel Bakteri (a) SL4, (b) SL13, (c) SL7, (d) SM10 .....	123
<b>Lampiran 12</b> Hasil Morfologi Sel Bakteri (a) SM1, (b) SM3, (c) SM9, (d) SM4 .....	124
<b>Lampiran 13</b> Hasil Morfologi Sel Bakteri (a) SM2, (b) SM8 .....	124
<b>Lampiran 14</b> Hasil Inkubasi Isolat Bakteri Pengujian Degradasi Mikroplastik .....	125
<b>Lampiran 15</b> Hasil Mikroskop Mikroplastik Jenis <i>Fragment</i> dan <i>Fibre</i> .....	132
<b>Lampiran 16</b> Hasil Mikroskop Mikroplastik Jenis <i>Film</i> dan <i>Foam</i> .....	133
<b>Lampiran 17</b> Hasil Analisis FTIR Sampel Plastik Uji <i>PE</i> .....	134
<b>Lampiran 18</b> Hasil Analisis FTIR Sampel Plastik Uji <i>PP</i> .....	135
<b>Lampiran 19</b> Hasil Analisis FTIR Sampel Plastik Uji <i>PS</i> .....	136
<b>Lampiran 20</b> Hasil Analisis FTIR Sampel Plastik Uji <i>PET</i> .....	137

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, muncul masalah mengenai mikroplastik, yaitu plastik yang telah memiliki ukuran 5-1  $\mu\text{m}$  dikarenakan adanya pengaruh paparan sinar ultraviolet (Cordova *et al.*, 2019), angin, bahkan gigitan hewan (Solomon & Palanisami, 2016) dan terjadi proses dekomposisi sehingga berubah ukuran dari makro ke mikro (Jiang *et al.*, 2018). Mikroplastik memiliki kepadatan yang lebih rendah dari air sehingga dapat mengapung, tetapi ada juga yang memiliki kepadatan lebih tinggi sehingga akan tenggelam ke dasar (Auta, 2018). Mikroplastik memiliki beberapa jenis bentuk seperti *fragment*, *film*, *fibre/filament*, *foam* dan *pellet* (Joao Frias *et al.*, 2018) serta warna yang bervariasi seperti warna kuning, coklat, putih dan lain sebagainya (Auta, 2018). Dengan adanya pengaruh lingkungan dan sifat dari mikroplastik, keberadaan mikroplastik dapat tersebar di hampir seluruh bagian lingkungan alam dengan variasi jenis dan warna yang berbeda.

Sungai Progo merupakan salah satu sungai terbesar yang berada di Provinsi D.I. Yogyakarta dengan Daerah Aliran Sungai (DAS) yang melintasi dua provinsi yaitu Provinsi D.I. Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah (Rizqiyana, 2021). Hulu dari sungai ini berbatasan dengan kali bening dan hilir bermuara dengan Samudra Hindia dengan panjang  $\pm 138$  km serta luas DAS adalah  $\pm 3.421$  km<sup>2</sup> (Rinanto, 2021). Muara Sungai Progo terletak di Kulon Progo, D.I. Yogyakarta yang merupakan pertemuan hilir Sungai Progo dengan pantai dimana sepanjang Sungai Progo terdapat pemukiman, industri kecil, kegiatan perikanan, persawahan dan lain sebagainya. Berdasarkan pengamatan, di Muara Sungai Progo terdapat banyak sekali jenis sampah seperti sampah plastik, gabus, batok kelapa, botol kaca, hingga alas kaki dan dapat tergambar bahwa terdapat potensi yang tinggi mengenai keberadaan sebaran mikroplastik di wilayah Sungai Progo.

Timbulan sampah plastik meningkatkan potensi pencemaran akibat mikroplastik, sehingga berdampak buruk bagi habitat hidup dan lingkungan.

Berdasarkan studi, mikroplastik dapat berasal dari limbah rumah tangga, limbah industri, limbah pertanian, limbah dari fasilitas umum, lumpur limbah dan lain sebagainya. Kemudian akibat hujan ataupun pembuangan langsung, limbah dapat terbawa masuk ke badan air dan terfragmentasi akibat dari efek sinar ultraviolet dan arus air dan mengubah ukuran plastik dari makro ke mikro. Mikroplastik kemudian terakumulasi dan terus terbawa hingga ke lautan lepas.

Oleh karena itu, mikroplastik dapat ditemukan di air permukaan, muara, sedimen sehingga lautan dengan kedalaman yang berbeda-beda dikarenakan adanya proses pengendapan. Kemudian memberikan dampak luas seperti mengganggu kesehatan makhluk hidup hingga menyebabkan kematian, merusak estetika lingkungan hingga berdampak pada ekonomi. Hal ini dibuktikan dengan keberadaan dari kandungan mikroplastik pada badan air, sedimen hingga tubuh makhluk hidup dari hasil penelitian sebelumnya.

Pada sebuah penelitian yang dilakukan oleh Universiti Malaya, Kuala Lumpur telah dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan bakteri dari sedimen Mangrove sebagai agen bioremediasi mikroplastik. Dengan menggunakan parameter *clear zone* dilakukan isolasi pada 22 jenis bakteri dan 9 bakteri diantaranya dapat mendegradasi mikroplastik jenis polimer *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *Polyethylene Terephthalate* (PET), dan *Polystyrene* (PS). Hal ini terlihat dari adanya pembentukan biofilm bakteri serta perubahan struktur, morfologi, dan permukaan setelah terjadi biodegradasi menggunakan media *Bushnell Haas Broth* dan *Bushnell Haas Agar* (Auta, 2018).

Penelitian ini dilakukan di Muara Sungai Progo, D.I. Yogyakarta dikarenakan berdasarkan observasi langsung ditemukan banyak jenis sampah terutama sampah plastik. Potensi mikroplastik pada muara sangat besar karena pada muara yang merupakan tempat pertemuan air tawar dan laut akan mempengaruhi transportasi mikroplastik pada sedimen, sehingga menyebabkan adanya sedimentasi yang tinggi dan besar kemungkinan ditemukannya mikroplastik mengapung di air dan mengendap di sedimen (Lima, *et.al.*, 2017) yang menjadi dasar dalam penelitian ini. Terlebih lagi, parameter mikroplastik belum masuk ke dalam Baku Mutu Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Republik Indonesia (KLHK). Sampel sedimen dipilih sebagai objek penelitian karena berdasarkan penelitian terakhir yang dilakukan di wilayah laut selatan pantai Jawa, mikroplastik banyak ditemukan di permukaan air dikarenakan densitasnya yang lebih rendah, kemudian mengalami pengaruh dari arus, gelombang dan pasang surut, sehingga akhirnya terjadi penumpukan dan tertimbun dalam sedimen.

Keberadaan mikroplastik juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme yang terdapat dalam sedimen. Dimana hal ini dikaitkan dengan pengambilan sampel sedimen untuk analisis bakteri pendegradasi mikroplastik. Oleh karena itu, sedimen digunakan dalam penelitian ini dengan harapan dapat ditemukan variasi distribusi mikroplastik dan berbagai macam bakteri pendegradasi mikroplastik (Pedrotti *et al.*, 2016).

Dari uraian latar belakang dan merujuk pada penelitian yang telah dilakukan, maka dihasilkan sebuah ide dari penulis untuk melakukan penelitian mengenai mikroplastik dengan melakukan identifikasi pada bakteri potensial yang dapat mendegradasi mikroplastik. Dengan tambahan identifikasi mikroplastik sebagai data pendukung keberadaan mikroplastik di lokasi pengambilan sampel. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai keberadaan mikroplastik dan bakteri potensial untuk memberikan pengendalian, pencegahan dampak dan penyelesaian permasalahan mengenai mikroplastik khususnya di Muara Sungai Progo, Yogyakarta.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir dengan topik bioremediasi mikroplastik ini adalah mengetahui keberagaman dari bakteri yang dapat mendegradasi mikroplastik yang keduanya diambil dari Laguna dan Muara Sungai Progo, D.I. Yogyakarta

Adapun masalah yang dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik bakteri pendegradasi mikroplastik dari sedimen Laguna dan sedimen Muara Sungai Progo, Yogyakarta?
2. Bagaimana kemampuan bakteri pendegradasi mikroplastik yang diisolasi dari sedimen Laguna dan sedimen Muara Sungai Progo, Yogyakarta?

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi karakteristik bakteri pendegradasi mikroplastik
2. Mengetahui kemampuan bakteri pendegradasi mikroplastik

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan kondisi terkini mengenai keberadaan mikroplastik pada sedimen Laguna dan sedimen Muara Sungai Progo
2. Memberikan informasi mengenai penemuan bakteri potensial pendegradasi mikroplastik
3. Memberikan solusi mengenai permasalahan terkait penelitian
4. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi pembelajaran dan penelitian selanjutnya

## 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian tugas akhir ini akan diidentifikasi potensi dalam mendegradasi mikroplastik yang dilengkapi dengan data densitas sel bakteri, jenis morfologi bakteri, morfologi sel bakteri dan hasil pengujian degradasi mikroplastik dengan parameter terbentuknya *clear zone*. kemudian data identifikasi karakteristik mikroplastik meliputi jumlah, jenis dan warna menggunakan metode NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Lokasi penelitian dilakukan di 2 tempat, dengan kegiatan sampling dilakukan di Laguna dan Muara Sungai Progo, Kulonprogo, D.I. Yogyakarta dan uji laboratorium dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, FTSP, UII. Pengambilan sampel dilakukan pada sedimen laguna dan sedimen muara yang pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* dan pengujian dilakukan dengan melakukan analisis pada sampel sedimen menggunakan media umum dan khusus seperti media *Nutrient Broth (NB)*, *Bacto Agar*, dan *Nutrient Agar (NA)*. Dengan menggunakan metode seperti *pour plate*, *streak plate*,

*spread plate* dan lain sebagainya secara aseptik.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pencemaran Plastik di Lingkungan**

Saat ini, pencemaran plastik adalah salah satu masalah serius yang perlu ditangani. Berdasarkan Kementerian Perindustrian Republik Indonesia selama tahun 2013, sekitar 1,9 juta ton plastik dengan rata-rata 1,65 juta ton per tahun telah diproduksi di Indonesia dan terus mengalami peningkatan setiap tahunnya (Cordova, 2017). Sampah plastik ini berasal dari semua kegiatan yang berhubungan dengan aspek kehidupan seperti kegiatan industri, pertanian, perikanan, rumah tangga dan lain sebagainya (Auta, 2018).

Plastik terbuat dari bahan sintetis maupun semi sintetis dengan rantai panjang, memiliki bahan polimer dengan berat molekul tinggi yang dapat ditempa, tahan lama, fleksibel, serbaguna, ringan, murah dan persisten (Zalasiewicz *et al.*, 2016). Dengan sifatnya yang unik juga membuat plastik tahan terhadap mikroba. Jenis plastik yang paling sering digunakan adalah *Polistirena (PS)*, *Polietilen Tereftalat (PET)*, *Asam Polilaktat (PLA)*, *Polipropilen (PP)*, *Polietilen (PE)*, *Polivinil Klorida (PVC)* dan lainnya.

Pencemaran plastik telah ditemukan di daerah pesisir, sedimen, kawasan kutub hingga khatulistiwa dari garis pantai ke laut dalam (Browne *et al.*, 2011). Plastik memiliki variasi ukuran, asal, bentuk dan komposisi dengan bentuk paling umum yaitu *fragment*, *pellet*, *film*, serat, filamen, garis dan butiran (Andrady, 2011). Warna yang dihasilkan juga bervariasi berdasarkan gugus fungsi kimia hingga dari sumber plastik itu berasal.

#### **2.2 Jenis Polimer Plastik**

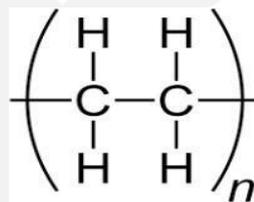
##### **2.2.1 Polyethylene (PE)**

*Polyethylene (PE)* adalah salah satu polimer sintetis yang hanya tersusun dari atom karbon. *PE* merupakan polimer yang stabil dan tahan terhadap degradasi

oleh mikroorganisme. Hal ini dikarenakan *PE* merupakan polimer yang stabil dengan berat molekul yang tinggi. Mikroorganisme dapat mendegradasi *PE* pada setiap kelompok *methyl* dan biodegradasi dapat terjadi lebih cepat ketika berat molekul kurang dari 500 Da (Auta, 2018).

Berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan beberapa bakteri yang dapat mendegradasi plastik jenis *PE*. Jenis bakteri pendegradasi polimer *PE* yaitu bakteri *Desulfotomaculum nigrificans*, *Pseudomonas alcaligenes* (Begum *et.al.*, 2015), *Bacillus sp.*, *Staphylococcus sp.*, *Pseudomonas sp.* (Singh *et al.*, 2016) dan *Lysinibacillus xylanilyticus* yang diisolasi dari tanah. Kemudian bakteri *Micrococcus sp.*, *Moraxella sp.*, dan *Aspergillus sp.* yang diisolasi dari sedimen mangrove (Auta, 2018).

Pada dasarnya degradasi *PE* yang terjadi di lingkungan luar memiliki waktu yang berbeda-beda. Degradasi yang terjadi di laut lebih lambat daripada di daratan. Hal ini terjadi dikarenakan kondisi di laut tidak memiliki kondisi yang optimal untuk degradasi (Auta, 2018).



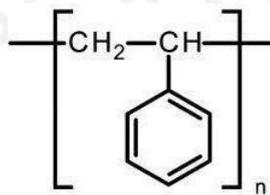
**Gambar 2. 1** Polyethylene

*PE* memiliki rumus kimia  $(\text{C}_2\text{H}_4)_n$  dengan pada satu molekul *PE* yang terdiri dari rantai panjang atom karbon dengan dua atom hidrogen yang melekat pada masing-masing atom karbon. Polimer *PE* dihasilkan dari polimerisasi etilena yaitu gas hidrokarbon yang dihasilkan dari pemecahan etana. Molekul *PE* terdiri dari dua unit metilen ( $\text{CH}_2$ ) yang dihubungkan oleh ikatan rangkap antara atom karbon ( $\text{CH}_2= \text{CH}_2$ ). *PE* memiliki titik leleh  $115\text{-}135^\circ\text{C}$  dan densitas  $0.91\text{-}0.96 \text{ g/cm}^3$  (Cheng, 2019).

### 2.2.2 Polypropylene (PP)

*Polypropylene (PP)* sering digunakan sebagai bahan kemasan, bahan tekstil, popok dan lain sebagainya. Polimer *PP* sering dibandingkan dengan polimer *PE*,

dimana karbon pada polimer *PP* merupakan karbon tersier sedangkan karbon polimer *PE* adalah karbon sekunder. Oleh karena itu, polimer *PP* sebenarnya bersifat tidak stabil dan lebih rentan mengalami degradasi oleh mikroorganisme (Auta, 2018). Berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya, bakteri yang ditemukan dapat mendegradasi mikroplastik adalah bakteri *Vibrio sp.* dan *Pseudomonas sp.* (Auta, 2018).

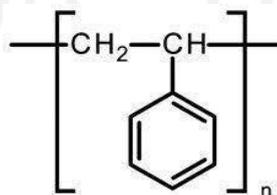


**Gambar 2. 2 Polypropylene**

*PP* memiliki rumus kimia  $(C_3H_6)_n$  yang memiliki gugus kimia yang sama dengan polimer *PE*. Tetapi, memiliki gugus metil tambahan sehingga polimer *PP* lebih kuat dibandingkan polimer *PE*. Polimer *PP* juga terdiri dari atom tersier yaitu mengikat tiga atom karbon dengan densitas 0.85 dan 0.92 g/cm<sup>3</sup> serta titik leleh 171°C (Auta, 2018).

### 2.2.3 Polystyrene (PS)

*Polystyrene (PS)* merupakan polimer plastik sintetis yang bersifat hidrofobik, sangat stabil dan memiliki berat molekul yang tinggi. *PS* biasanya digunakan sebagai bahan dasar kemasan, alat laboratorium, peralatan elektronik dan lain sebagainya. *PS* dianggap sebagai polimer termoplastik yang paling tahan terhadap degradasi oleh mikroorganisme (Auta, 2018).



**Gambar 2. 3 Polystyrene**

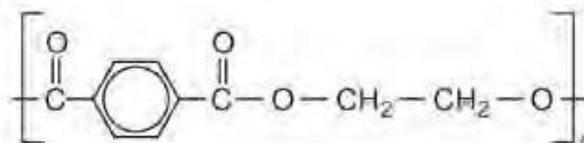
Berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya biodegradasi *PS* dapat

dilakukan oleh bakteri *Pseudomonas sp.*, *Bacillus strain*, *Enterobacter sp.*, *Alcaligenes sp.*, *Citrobacter sedlakii*, *Brevundimonas diminuta* (Mohan *et.al.*, 2016) dan (Sekhar *et al.*, 2016), *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes* (Asmita *et al.*, 2015) dan *Rhodococcus ruber*. PS memiliki rumus kimia  $(C_8H_8)_n$  dengan densitas  $1.04 \text{ g/cm}^3$  dan titik leleh  $240^\circ\text{C}$  dimana monomer stirena saling terhubung. Pada saat pembentukan rantai polimer ikatan C-C dari gugus vinil akan terputus dan membentuk ikatan C-C baru yang akan menempelkan C dari monomer stirena ke rantai. Setiap karbon dari monomer memiliki gugus fenil (cincin benzena) dan geometri tetrahedral yang melekat pada kiral (Jinhua & Guangyuan, 2014).

#### 2.2.4 Polyethylene Terephthalate (PET)

*Polyethylene Terephthalate (PET)* adalah polimer plastik yang terdiri dari karbon dan heteroatom pada rantai karbon utama sehingga lebih stabil dibandingkan dengan polimer yang hanya mengandung karbon. Polimer *PET* sangat tahan terhadap biodegradasi oleh bakteri. Berdasarkan penelitian sebelumnya karena *PET* memiliki struktur yang kuat maka menyebabkan degradasi yang lemah oleh bakteri dan lipase (Auta, 2018).

Bakteri yang baru ditemukan yaitu *Ideonella sakaiensis* juga dilaporkan dapat mendegradasi jenis polimer *PET* (Yoshida *et al.*, 2016). Bakteri ini memiliki dua enzim yang mampu menghidrolisis *PET*. Bakteri lain yang mampu mendegradasi jenis polimer ini adalah *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus pyogenes* dan *Staphylococcus aureus* (Asmita *et al.*, 2015).



**Gambar 2. 4** Polyethylene Terephthalate

*PET* memiliki rumus kimia  $((C_{10}H_8O_4)_n$ . Dengan pembentukan polimer terjadi ketika asam tereftalat dan etilen glikol dapat mensintesis monomer bis(2-

hidroksietil) tereftalat melalui proses essterifikasi yang kemudian menghasilkan H<sub>2</sub>O sebagai produk sampingan. *PET* memiliki densitas 1.38 g/cm<sup>3</sup> dan titik leleh 260°C (Auta, 2018).

### 2.3 Mikroplastik

Mikroplastik adalah plastik berukuran makro yang terurai dan terfragmentasi menjadi berukuran mikro dikarenakan sinar ultraviolet, suhu dan lain sebagainya. Partikel mikroplastik masuk ke lingkungan melalui serangkaian aktivitas di darat dan lingkungan laut. Mikroplastik pertama kali ditemukan dan dilaporkan oleh Carpenter dan Smith pada awal tahun 1970-an (Vaughan *et al.*, 2017).

Sumber mikroplastik dibagi menjadi dua yaitu mikroplastik primer dan sekunder. Mikroplastik primer adalah mikroplastik yang sengaja dibuat untuk aplikasi domestik maupun industri (Wright & Kelly, 2017). Sedangkan mikroplastik sekunder adalah mikroplastik yang terbentuk akibat adanya proses fisik, kimia, dan biologi yang menyebabkan fragmentasi. Mikroplastik memiliki kepadatan yang lebih rendah dari air sehingga dapat mengapung, tetapi beberapa memiliki kepadatan lebih tinggi sehingga akan tenggelam ke dasar. Mikroplastik memiliki warna yang bervariasi (Auta, 2018). karakteristik dan dikategorikan berdasarkan *Guidelines For Sampling Microplastics On Sandy Beaches*, (2018). Jenis mikroplastik biasanya terbagi menjadi 5 yaitu *fragment*, *fibre/filament*, *film*, *foam*, *pellet* yang berasal dari sumber yang berbeda. Berikut adalah penjelasan dapat dilihat dalam tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Klasifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jenis

<b>Klasifikasi Tipe</b>	<b>Istilah lain yang digunakan</b>	<b>Sumber Mikroplastik</b>	<b>Sumber Literatur</b>
<i>Fragment</i>	Partikel tidak beraturan, kristal, bulu, bubuk, granula, potongan, serpihan.	Berasal dari sumber sekunder adanya pengaruh padatnya penduduk, jaring nelayan.	<i>Brown et. al., 2011</i> <i>Dewi et. al., 2015</i>
<i>Fibre (Serat)</i>	Filamen, <i>microfibre</i> , helaian, benang.	Berasal dari pencucian kain baju yaitu sisa benang pakaian dan tali plastik yang terdegradasi	<i>Crawford &amp; Quinn, 2017</i>

<i>Film</i>	Polimer plastik.	Berasal dari fragmentasi kantong plastik atau plastik kemasan dan memiliki densitas rendah.	<i>Septian, 2014</i>
<i>Foam (Busa)</i>	Polistirena.	berasal dari sumber sekunder hasil degradasi dari plastik yang berukuran besar berupa <i>foam</i> ataupun fragmen hasil dari fragmentasi.	<i>Kershaw, 2015</i>
<i>Filaments</i>	Lapisan.	Berasal dari sumber sekunder yang berada pada sampah rumah tangga secara umum.	<i>Faruqi, 2019</i>
<i>Pellet (Butiran)</i>	Butiran resinat, <i>nurdles</i> .		<i>Auta, 2018</i>

Sumber : Widinarko dan Inneke, 2018 dan Rezanía et. al., 2018

## 2.4 Permasalahan Mikroplastik di Indonesia

Permasalahan mikroplastik juga telah di temukan di Indonesia, seperti yang terjadi di Pantai Kartini yang berlokasi di Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Dimana mikroplastik ditemukan di sedimen sebanyak 643 partikel per 50 gram dan berdasarkan tingkat kedalaman sedimen, pada kedalaman 41 cm - 60 cm jumlah mikroplastik yang ditemukan sebanyak 566 partikel, kedalaman 21 cm – 40 cm sebanyak 482 partikel dan kedalaman 0 cm – 20 cm sebanyak 376 partikel. Dari hal tersebut disimpulkan bahwa semakin dalam kedalaman sedimen, partikel mikroplastik yang ditemukan semakin banyak. Bentuk yang ditemukan juga bervariasi yaitu *fibre*, *fragment*, *film* dan *pellet*, dengan dominasi bentuk *fragment* (Azizah *et al.*, 2020).

Dari penelitian yang dilakukan di beberapa wilayah selatan pantai jawa ditemukan banyak jenis mikroplastik dari sampel pasir, air dan sedimen. Pada perairan laut Kabupaten Pangandaran dan Tasikmalaya, Jawa Barat ditemukan 2692 partikel (Gaol, 2021), perairan laut Kabupaten Garut dan Cianjur, Jawa Barat ditemukan 6970 partikel (Shidiq, 2021) dan perairan laut Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah ditemukan 2308 partikel (Nugroho, 2021). Kemudian pada jenis mikroplastik yang paling banyak ditemukan dari penelitian yang dilakukan di perairan laut Cilacap, Jawa Tengah adalah jenis *fragment*, *film* dan *fibre/filament* (Mulia, 2021). Selanjutnya warna mikroplastik berdasarkan penelitian yang dilakukan di perairan laut Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah paling banyak ditemukan mikroplastik dengan warna transparan, merah dan hitam (Mahadika, 2021). Sedangkan berdasarkan karakteristik kimia di perairan laut Kabupaten Pacitan, Jawa Timur dan Wonogiri, Jawa Tengah paling banyak ditemukan mikroplastik dengan gugus fungsi kimia *Bemberg (Cupra)* dan *Kaolin* (Priambodo, 2021).

Sedimen memiliki potensi untuk mengakumulasi mikroplastik dan telah terbukti menyebabkan jangka panjang. (Felsing *et al.*, 2018). Mikroplastik sebenarnya paling banyak ditemukan di sedimen jika dibandingkan air permukaan ataupun habitat pasir. Wilayah sedimen dangkal dikatakan merupakan tempat tenggelamnya mikroplastik. Kehadiran polimer mikroplastik dapat ditemukan berbeda-beda, hal ini mungkin disebabkan oleh degradasi yang terjadi pada mikroplastik yang ada di sekitarnya.

## **2.5 Dampak Mikroplastik ke Lingkungan**

Mikroplastik tentu saja memiliki berbagai dampak negatif ke lingkungan. Hal ini dikarenakan ukuran mikroplastik yang sangat kecil sehingga sangat mudah sekali masuk ke dalam lingkungan dan mengganggu suatu ekosistem. Mikroplastik yang masuk ke dalam laut dapat dengan mudah dimakan oleh ikan, plankton, cacing laut, dan hewan laut lainnya. Hal ini dapat mengganggu sistem pencernaan dari hewan tersebut hingga menyebabkan kematian.

Beberapa hewan laut dapat dikonsumsi oleh manusia. Apabila hewan laut telah mengonsumsi mikroplastik maka akan ada kemungkinan di dalam tubuh mereka mengandung mikroplastik. Ketika hewan laut ini dikonsumsi oleh manusia maka akan terjadi biomagnifikasi dari hewan laut ke tubuh manusia. Akhirnya, terjadi gangguan kesehatan pada manusia, terlebih lagi mikroplastik memiliki sifat yang karsinogenik.

Selain ekosistem laut, ekosistem darat juga dapat mengalami dampak negatif dari mikroplastik. Ketika terjadi erosi sedimen partikel plastik akan mengalami penambahan densitas. Apabila terjadi secara terus-menerus partikel mikroplastik akan mengendap di dalam sedimen kemudian terakumulasi lebih dalam. Hal ini menurunkan kesuburan tanah dan menghalangi sirkulasi di dalam tanah (Purwaningrum, 2016).

## 2.6 Mikroplastik Pada Sedimen

Sedimen memiliki potensi untuk mengakumulasi mikroplastik dan terbukti dapat menjadi penyerap mikroplastik jangka panjang. Berdasarkan penelitian mikroplastik ditemukan paling banyak di sedimen laut yang memberikan 3,3% berat pada sedimen (Boutcher *et al.*, 2016). Pada wilayah laut dalam, ngarai bawah laut dan sedimen dangkal pesisir laut menampung mikroplastik (Auta, 2018). Seperti sedimen di lingkungan perairan lainnya, mikroplastik juga terakumulasi dalam sedimen mangrove dan sedimen muara.

Partikel mikroplastik yang masuk ke sedimen berasal dari beberapa sumber serta lokasi yang berbeda. Biasanya, mikroplastik yang masuk ke dalam lingkungan sedimen berasal dari mikroplastik di permukaan air yang terbawa hingga terakumulasi di sedimen. Ukuran mikroplastik dan densitas yang rendah mikroplastik memiliki kontribusi pada penyebaran, distribusi dan kelimpahan yang meluas yang dibantu dengan gelombang dan arus. Berdasarkan penelitian, sumber mikroplastik yang ditemukan paling banyak dan menjadi sumber pencemaran utama berasal dari saluran pembuangan, kosmetik dan lumpur limbah (Auta, 2018).

## 2.7 Peran Bakteri *Indigenus* Pada Biodegradasi Mikroplastik

Bakteri *Indigenus* adalah mikroorganisme alami atau pribumi yang hidup di alam dan didapatkan dari proses isolasi dari limbah yang jenisnya sama dengan jenis limbah yang akan dilakukan pengolahan (Yazid, 2014). Bakteri *Indigenus* memiliki banyak sekali manfaat seperti sebagai agen bioremediasi limbah, agen pengendali hayati tanaman, penghasil antibiotik, agen pelarut fosfat, penghasil enzim-enzim yang memiliki potensi dan dapat dimanfaatkan di berbagai macam bidang dan lain sebagainya (Batubara, *et al.*, 2015).

Biodegradasi adalah proses penguraian pada zat organik yang dilakukan oleh mikroorganisme dari zat yang kompleks menjadi zat yang lebih sederhana. Misalnya seperti karbon dioksida, air dan amonia. Suatu senyawa hidrokarbon dapat mengalami degradasi sempurna ketika degradasi dilakukan oleh beberapa jenis mikroba yang memiliki sinergisme konsorsium (Islami, 2019). Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses biodegradasi adalah substrat, sumber Nitrogen,

pH, suhu dan kelembaban (Islami, 2019).

Mikroorganisme secara ideal memiliki kecocokan dalam melakukan transformasi atau degradasi kontaminan karena ukuran yang sangat kecil dan memiliki enzim yang memungkinkan memanfaatkan kontaminan sebagai sumber nutrisi. Bakteri dapat menggunakan kontaminan untuk pertumbuhan dan reproduksi. Kontaminan juga menyediakan elektron yang dibutuhkan untuk mendapatkan energi (Devi *et al.*, 2016).

Mikroorganisme memiliki peran yang sangat penting dalam proses degradasi mikroplastik. Degradasi disebabkan oleh hidrolisis atau oksidasi menggunakan enzim mikroba dimana adanya perlekatan mikroorganisme pada permukaan polimer plastik dan pembentukan *biofilm* yang menjadi mekanisme utama dalam degradasi mikroplastik oleh mikroba. Hal ini bergantung pada kondisi pertumbuhan optimal masing-masing mikroorganisme (Auta, 2018).

Proses biodegradasi biasanya ditandai dengan adanya perkembangan *biofilm* pada permukaan mikroplastik oleh bakteri pendegradasi, penurunan berat polimer (*weight loss*) dan pembentukan lubang pada permukaan mikroplastik (Wang *et al.*, 2016). Setelah bakteri menempel ke permukaan, bakteri menggunakan polimer plastik sebagai sumber karbon dan mulai berkembang biak. Degradasi kimia atau fisik awal mengarah pada penyisipan gugus hidrofilik pada permukaan polimer yang menyebabkan lebih hidrofilik untuk perlekatan bakteri. Enzim ekstraseluler yang diekskresikan oleh bakteri yang memotong rantai utama, oleh karena itu terjadi pembentukan oligomer, dimer dan monomer dengan berat molekul rendah yang kemudian digunakan oleh mikroba sebagai sumber karbon dan energi (Auta, 2018).

## 2.8 Penelitian Sebelumnya Mengenai Bioremediasi Mikroplastik

No.	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Auta, <i>et al.</i> , 2022	<i>Enhanced Microbial Degradation of PET and PS Microplastics Under Natural</i>	Dari sampel sedimen mangrove yang kemudian diisolasi 8 bakteri <i>indigenous</i> menggunakan media cair dan media padat. Kemampuan mendegradasi diukur pada

		<i>Conditions In Mangrove Environment</i>	<p>polimer plastik <i>PS</i> dan <i>PET</i> dengan jumlah unit pembentuk koloni dan penurunan berat mikroplastik. Analisis juga dilakukan dengan teknik bioremediasi <i>in-situ</i> dengan menggunakan sumur injeksi selama 90 hari. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil mengenai perubahan struktur dan lapisan permukaan pada mikroplastik dan adanya peningkatan konsentrasi pada Silikon (Si), Belerang (S) dan Besi (Fe) serta adanya penurunan padakonsentrasi Karbon (C), Oksigen (O), Natrium (Na), Magnesium (Mg), Aluminium (Al), Klorin (Cl), dan Kalium (K) pada sedimen setelah terjadi bioremediasi melalui pengukuran salinitas, pH, suhu dan kondisi cuaca secara berkala menggunakan analisis <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>.</p>
2.	Lihua <i>et al.</i> , 2021	<i>New Insights Into The Vertical Distribution and Microbial Degradation of Microplastics In Urban River Sediments</i>	<p>Penelitian dilakukan dengan menggunakan sedimen sungai perkotaan dengan melakukan identifikasi kelimpahan mikroplastik dan bakteri yang dapat mendegradasi mikroplastik. Hasil menunjukkan kumpulan komunitas bakteri ditemukan mengkolonisasi mikroplastik pada kedalaman 0-50 cm dari sedimen sungai dan konsentrasi rata-rata mikroplastik meningkat dari lapisan dangkal ke lapisan sedimen dalam.</p>

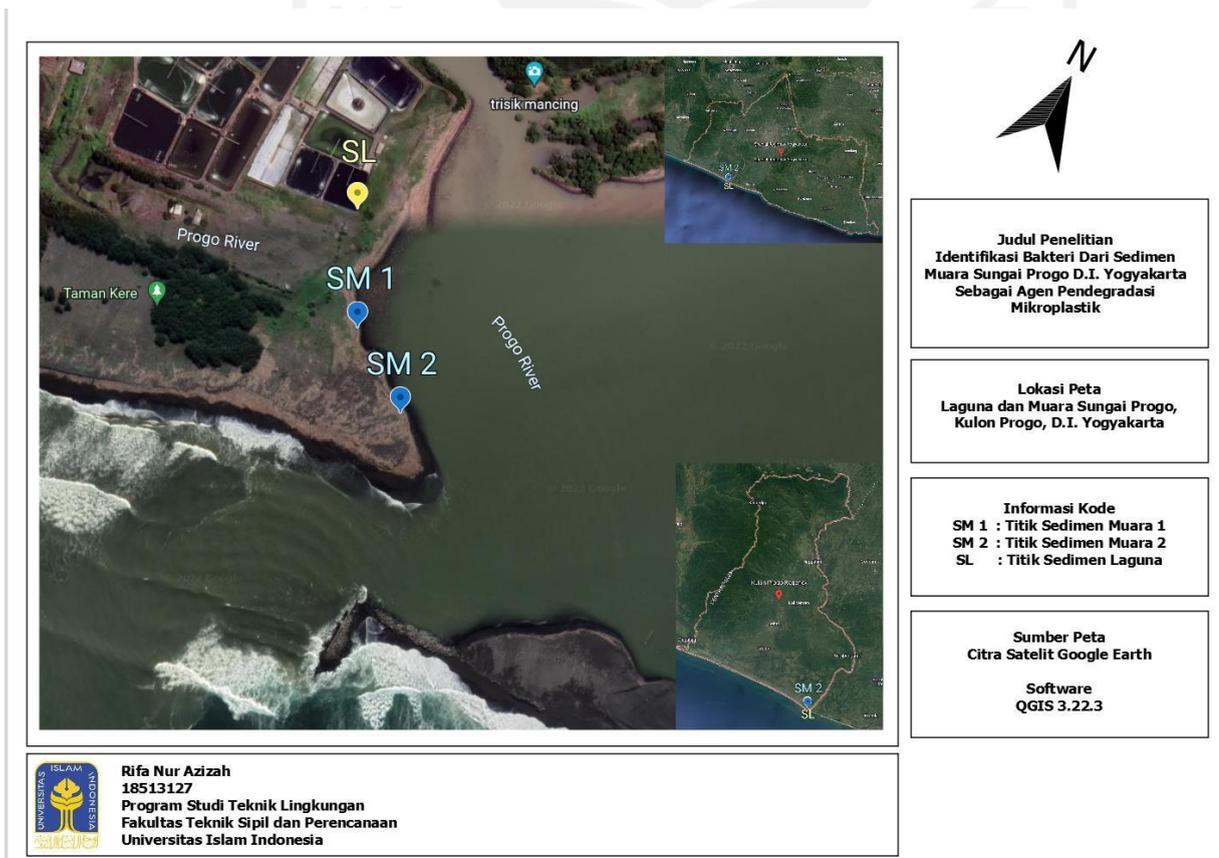
3.	Singh, 2016	<i>Biodegradation of Polythenes by Bacteria Isolated from Soil</i>	<p>Penelitian dilakukan dengan melakukan isolasi, identifikasi, penyaringan dan degradasi <i>PE</i> oleh mikroorganisme yang didapat dari tanah. Sebanyak 15 bakteri dipilih dan dilakukan pengujian dengan metode <i>zone of clearance</i>. Hasil menunjukkan hanya 3 bakteri yang menunjukkan hasil positif. Ketiga bakteri teridentifikasi sebagai <i>Staphylococcus sp.</i> dengan tingkat degradasi 20%, <i>Bacillus sp.</i> dengan tingkat degradasi 42.5% dan <i>Pseudomonas sp.</i> dengan tingkat degradasi 7.5% yang dilakukan selama 40 hari.</p>
----	----------------	--	--

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di 2 tempat, dengan kegiatan sampling dilakukan di Muara Sungai Progo, Kulon Progo, D.I. Yogyakarta dan kegiatan uji laboratorium dilakukan di Laboratorium Bioteknologi, Program Studi Teknik Lingkungan, FTSP, UII. Waktu penelitian kurang lebih 7 bulan dimulai pada bulan Desember 2021- Juli 2022. Penelitian dilakukan secara bertahap yang terbagi menjadi 2 jenis pengujian yaitu identifikasi bakteri pendegradasi mikroplastik dan identifikasi karakteristik mikroplastik. Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada 7 Februari 2022.



*Gambar 3. 1* Peta Koordinat Titik Sampling Sedimen Laguna dan Muara

## 3.2 Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan selama penelitian identifikasi jenis bakteri pendegradasi mikroplastik dan identifikasi karakteristik mikroplastik berlangsung.

### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah neraca analitik, gelas beaker 50 mL, 250 mL, 500 mL dan 1000 mL, tabung reaksi, erlenmeyer 100 mL, 250 mL dan 500 mL, gelas ukur 50 mL dan 100 mL, kaca pengaduk, cawan petri, kaca arloji, jarum ose, saringan, *spreader*, pipet ukur 10 mL dan 5 mL, pipet tetes, pipet mikron (1000 mikron dan 100 mikron), karet hisap, bunsen, sendok, oven, pipet, mortar, pinset, rak tabung reaksi, inkubator, autoklaf, *shaker incubator*, kompor pemanas, *magnetic stirrer*, alat destruksi, botol semprot, mikroskop, *vortex mixer*, kaca preparat, *LAF*, *jar test*, saringan/ayakan *mesh*, *Vacuum Pumps and Compressors*, mikroskop tipe *BA210 Series*, instrumen *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*, kapsul *magnetic stirrer*, sekop, wadah bak dan *coolbox*. Jumlah alat disesuaikan dengan kebutuhan selama penelitian berlangsung.

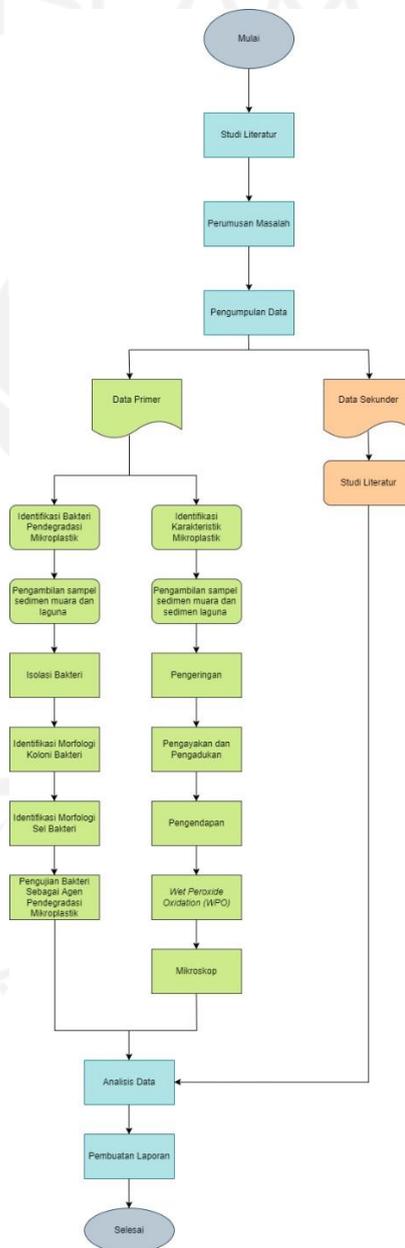
### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah kapas, kertas coklat, kertas saring *glass microfibre (GF/B)* whatman CAT No. 1821-047, karet gelang, tisu, label, *aluminium foil*, aquadest, alkohol 70%, spiritus, *Nutrient Broth*, *Nutrient Agar*, *Bacto Agar*, plastik steril, NaCl, *crystal violet*, larutan iodine, alkohol 96%, safranin, zat warna *congo red*, larutan Hidrogen Peroksida ( $H_2O_2$ ) 30%, kertas pH universal, spidol permanen, plastik *ziplock* kecil dan besar. Jumlah bahan disesuaikan dengan kebutuhan selama penelitian berlangsung.

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam metode penelitian diperlukan diagram alir penelitian untuk memberikan gambaran mengenai prosedur metode penelitian dan analisis data yang di dalamnya terdiri dari langkah-langkah kegiatan yang akan dilakukan selama proses penelitian berlangsung. Adapun diagram alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

### 3.3.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terbagi menjadi 3 yaitu variabel bebas, terikat dan kontrol sebagai berikut.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang berubah-ubah atau mempengaruhi penelitian yaitu suhu, waktu inkubasi, media pertumbuhan bakteri dan waktu pengeringan sampel sedimen.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang diamati dan memiliki pengaruh dari variabel bebas yaitu *Total Plate Count (TPC)* (CFU/mL), morfologi koloni bakteri, jenis morfologi sel bakteri dan karakteristik mikroplastik.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang tidak berubah dalam penelitian yaitu suhu dan rpm pada *shaker incubator*, berat mikroplastik dalam media degradasi metode dengan media *DNB*, jenis polimer plastik, konsentrasi media tumbuh untuk degradasi, 10% kultur bakteri dalam media degradasi, konsentrasi Hidrogen Peroksida ( $H_2O_2$ ) 30%, zat warna, berat sampel sedimen, konsentrasi NaCl, perlakuan pengadukan sampel dan perlakuan *Wet Peroxide Oxidation (WPO)*.

### 3.4 Persiapan dan Teknik Sampling

Persiapan yang dilakukan meliputi studi literatur dan persiapan pengujian laboratorium. Persiapan ini meliputi alat dan bahan yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Persiapan ini dilakukan agar hasil yang didapatkan maksimal dan memperkecil kemungkinan kegagalan dalam penelitian.

Dengan memperhatikan keberadaan sampah plastik, diambil 3 titik sampling. titik sampling yang terpilih adalah 2 titik sedimen muara dan 1 titik sedimen laguna (area muara sungai). Lokasi pengambilan titik sampling untuk identifikasi bakteri pendegradasi terbagi menjadi 2 titik sedimen muara dan 1 titik sampel sedimen laguna yang masing-masing memiliki titik koordinat sebagai berikut :

1. Titik 1 (Sedimen Laguna) :  $7^{\circ}58'49''\text{S } 110^{\circ}12'21''\text{E}$
2. Titik 2 (Sedimen Muara) :  $7^{\circ}58'52''\text{S } 110^{\circ}12'21''\text{E}$
3. Titik 3 (Sedimen Muara) :  $7^{\circ}58'54''\text{S } 110^{\circ}12'22''\text{E}$

#### 3.4.1 Sampel Sedimen

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* menggunakan alat sekop. Pada saat pengambilan alat sekop harus dipastikan dalam kondisi steril. Kemudian sedimen yang telah diambil dimasukkan ke dalam plastik *ziplock*, diberi label dan dilakukan pencatatan agar sampel tidak tertukar dan dilakukan pengecekan pH dengan menggunakan kertas pH universal. Semua sampel sedimen disimpan dalam *cool box* untuk dibawa ke laboratorium dan dimasukkan ke dalam kulkas dengan suhu  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ .



**Gambar 3. 3** Pengambilan Sampel Sedimen Muara di Titik 1  
*Sumber : Dokumentasi Pribadi*



**Gambar 3. 4** Pengambilan Sampel Sedimen Muara di Titik 2  
*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

الجمهورية الإسلامية اندونيسية  
الاستاذ الدكتور



**Gambar 3. 5** Pengambilan Sampel Sedimen Laguna di Titik 1  
*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

### **3.5 Media**

Media yang digunakan untuk isolasi dan *screening* proses degradasi adalah media *Nutrient Agar (NA)*, *Nutrient Broth (NB)* dan *Bacto Agar*. *NA* merupakan salah satu media bakteri yang berbentuk padat yang kaya akan nutrisi, didalamnya terdapat perpaduan bahan alami dan senyawa kimia. Media ini terbuat dari campuran *beef extract*, pepton dan agar sebagai pematat agar tidak mudah diuraikan oleh mikroorganisme. Media *NA* memiliki juga sumber protein, nitrogen, vitamin dan karbohidrat yang digunakan sebagai nutrisi tumbuh kembang mikroorganisme (Fatmariza, *et.al.*, 2017).

*Nutrient Broth (NB)* merupakan media umum yang berbentuk cair yang digunakan untuk menumbuhkan bakteri secara general. Media *NB* terdiri dari kandungan *beef extract* sebagai sumber karbon dan pepton sebagai sumber nitrogen. Kedua kandungan tersebut diformulasikan sehingga dapat memberikan nutrisi pada mikroorganisme (Wahyuningsih, *et.al.*, 2018).

*Bacto Agar* adalah media khusus yang dibuat sehingga dapat mereduksi kemungkinan masuknya zat organik dan anorganik, pigmen pengotor dan kandungan garam serendah mungkin. *Bacto Agar* memiliki fungsi untuk

memadatkan suatu media cair, salah satunya seperti media *NB*. Media ini biasanya digunakan sebagai media tumbuh mikroorganisme (Shantika, *et.al.*, 2019).

### **3.6 Pengujian Degradasi Bakteri Pada Mikroplastik**

Pengujian degradasi bakteri pada mikroplastik dilakukan identifikasi jenis bakteri pendegradasi mikroplastik menggunakan sampel sedimen laguna dan muara. Pengujian ini termasuk isolasi bakteri, *Total Plate Count (TPC)*, identifikasi jenis morfologi bakteri, *reculture* bakteri, pewarnaan gram dan uji degradasi pada mikroplastik. Uji degradasi menggunakan media padat *Nutrient Agar (NA)* pada cawan petri dengan parameter terbentuknya *clear zone* dan menggunakan zat warna *congo red*.

#### **3.6.1 Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen**

Isolasi bakteri dilakukan untuk menumbuhkan bakteri-bakteri yang terdapat pada sampel sedimen menggunakan media tertentu sehingga berbagai jenis bakteri dengan karakteristik berbeda dapat tumbuh dan berkembang. Proses isolasi bakteri terdiri dari *serial dilution* atau pengenceran hingga inokulasi bakteri dilakukan dengan menggunakan metode *pour plate*.

##### **3.6.1.1 Pengenceran/*Serial Dilution***

Pertama yang dilakukan adalah pengenceran/*serial dilution* pada sampel sedimen. Pengenceran dilakukan untuk mengurangi jumlah mikroba yang tersuspensi di dalam cairan. Cara kerjanya adalah pertama menyiapkan 7 buah tabung reaksi yang didalamnya telah terdapat aquadest steril sebanyak 9 mL. Kemudian, tabung reaksi telah diberikan label yaitu  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  dan  $10^{-7}$ .



**Gambar 3. 6** Persiapan *Serial Dilution* Pada Sampel

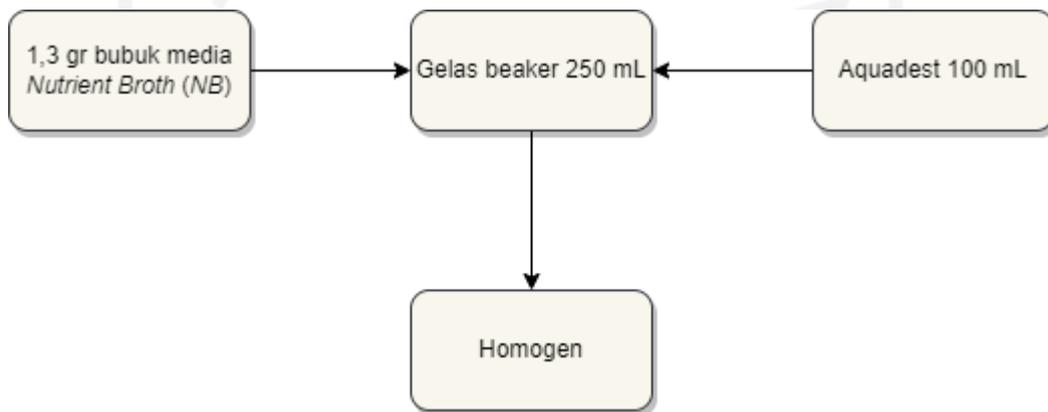
Sampel sedimen diambil sebanyak 5 gram yang kemudian diambil 1 mL dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi dengan label  $10^{-1}$  dengan menggunakan pipet ukur 5 mL lalu dihomogenkan. Pengenceran dilanjutkan dengan mengambil 1 mL sampel dari tabung reaksi  $10^{-1}$  dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi  $10^{-2}$ . Kemudian dilakukan hal yang sama dengan mengambil sampel dari tabung reaksi  $10^{-2}$  dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi  $10^{-3}$ . Tahapan terus dilakukan hingga sampai ke tabung reaksi  $10^{-7}$  dan dalam proses pengerjaan dilakukan secara aseptik dan dekat dengan api untuk meminimasi kontaminasi.



**Gambar 3. 7** *Serial Dilution* Sampel Sedimen  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

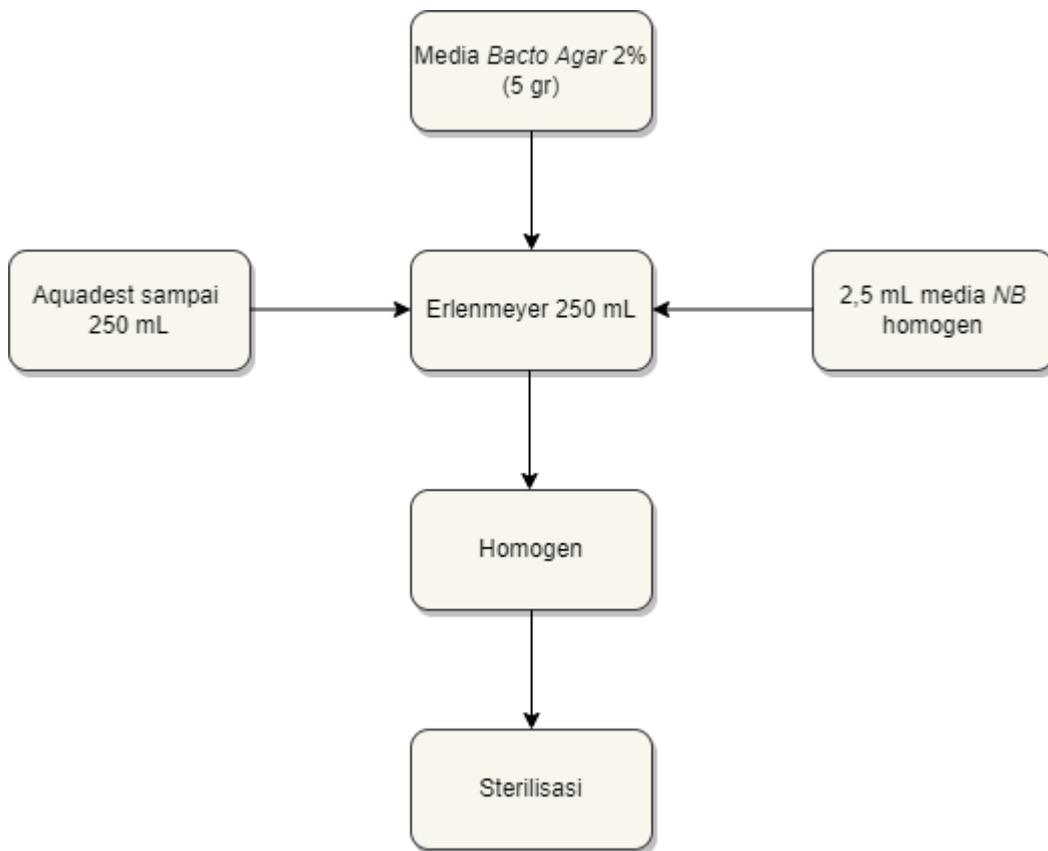
### 3.6.1.2 Pembuatan Media *Dilute Nutrient Broth (DNB) Agar*

Media yang digunakan adalah media *Dilute Nutrient Broth (DNB) Agar*. Langkah-langkah dalam pembuatan media yaitu dengan membuat media *Nutrient Broth (NB)* yang terlebih dahulu diencerkan 100x hingga menjadi media *DNB*. Kemudian dicampur dengan media *bacto agar* sebanyak 2% dari 250 mL media *DNB*. Cara pembuatan media *DNB* dapat dilihat pada gambar 3.8 sebagai berikut



**Gambar 3. 8** Diagram Alir Proses Pembuatan Media *DNB*

Dalam proses pembuatannya media *DNB Agar*, mulut erlenmeyer ditutup dengan *aluminium foil* dan dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 65- 75 °C. Kemudian, media disterilisasi dengan menggunakan alat autoklaf dan didapatkan media *DNB Agar*. Proses pembuatannya dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.9 sebagai berikut.



**Gambar 3. 9** Diagram Alir Proses Pembuatan Media *DNB Agar*

### 3.6.1.3 Metode *Pour Plate*

Metode isolasi bakteri yang digunakan adalah metode *pour plate*. Metode ini adalah metode lanjutan dari pengenceran. Metode *pour plate* dilakukan sehingga didapatkan beberapa jenis koloni tunggal. Tahapan dalam metode ini adalah setelah dilakukan pengenceran diambil tabung reaksi dengan label  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  dan  $10^{-7}$ .

Suspensi dari kedua sampel dilakukan perlakuan isolasi dengan metode *pour plate*. Cawan petri disterilisasi terlebih dahulu. Cawan petri disiapkan dan diberi label  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  dan  $10^{-7}$ . Kemudian diambil 1 mL suspensi pada tabung reaksi  $10^{-4}$  menggunakan pipet ukur 5 mL dan dimasukkan ke dalam cawan petri  $10^{-4}$ .

Kemudian media *DNB* dituang dengan suhu  $\pm 55^{\circ}\text{C}$  sebanyak  $\pm 20\text{mL}$ . Hal yang sama dilakukan pada suspensi pengenceran lainnya dan dilakukan dengan

adanya pengulangan (duplo). Kultur dalam cawan petri diinkubasikan dengan posisi terbalik pada suhu 30°C selama ± 30 hari. Hasil Inkubasi pada cawan petri dapat dilihat pada gambar di bab 4.

### 3.6.2 *Total Plate Count (TPC)*

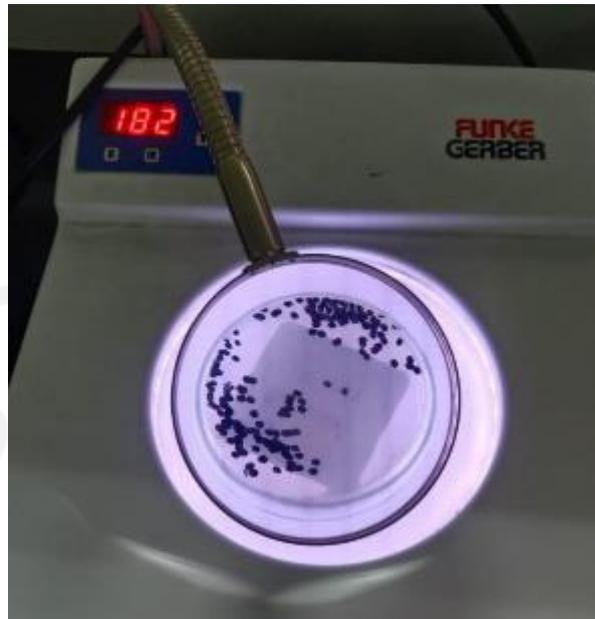
Perhitungan jumlah koloni bakteri menggunakan alat *colony counter*. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui keseluruhan jumlah koloni bakteri yang didapatkan dari kultur cawan petri yang merupakan hasil isolasi bakteri dari sampel sedimen. Perhitungan dilakukan menggunakan metode *Total Plate Count (TPC)* yang digunakan untuk mengetahui densitas/kerapatan sel mikroba dalam CFU/mL sehingga dapat diketahui populasi bakteri. Syarat-syarat perhitungan yaitu

1. Jumlah koloni adalah 30-300 (jika tidak memenuhi diambil angka yang terdekat).
2. Koloni *spreader* tidak dipakai
3. Pengenceran  $\leq 2$  hasil di rata-rata
4. Pengenceran  $> 2$  dipakai pengenceran yang lebih kecil
5. Jika ada ulangan maka jumlah koloni di rata-rata.

Kemudian dari jumlah koloni dilakukan perhitungan densitas/kerapatan sel mikroba dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kerapatan} \frac{\text{mikroba}}{\text{ml}} = \text{Jumlah koloni} \times \text{Faktor Pengenceran} \left( \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right)$$

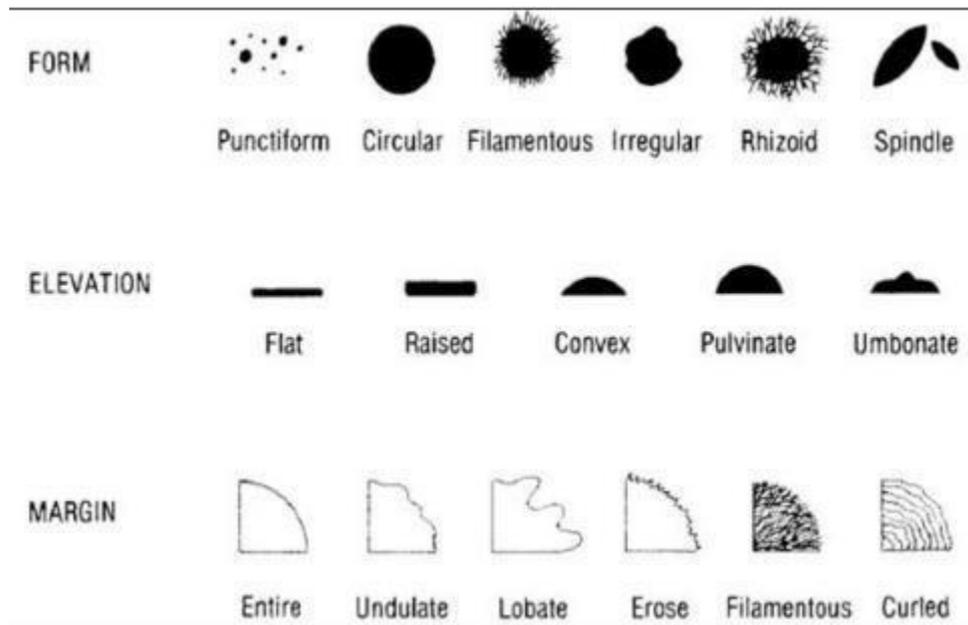
Sumber : Lathifah, et al., 2020



**Gambar 3. 10** Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri Menggunakan *Colony Counter*  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

### 3.6.3 Identifikasi Morfologi Koloni Bakteri

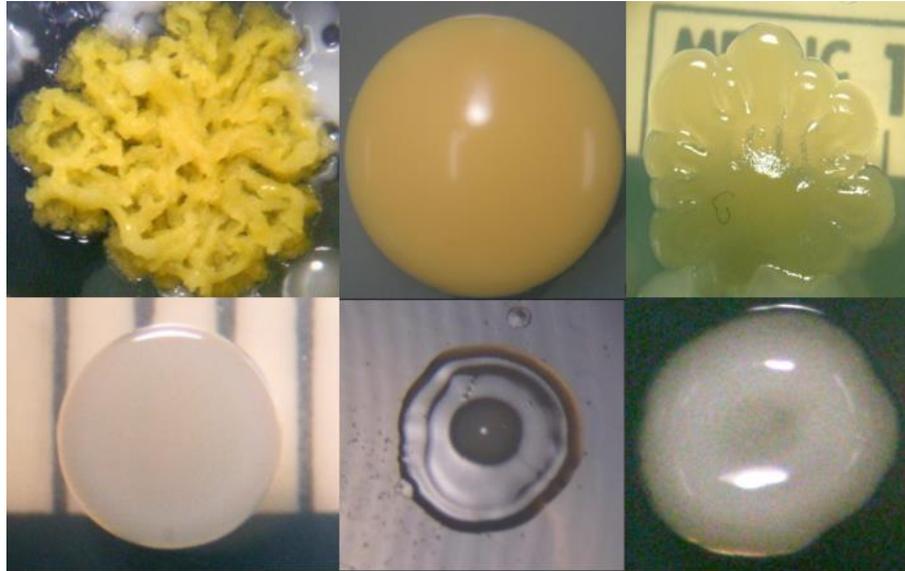
Identifikasi morfologi dilakukan untuk mengetahui morfologi koloni yang tumbuh pada media padat di cawan petri. Kemudian dilakukan pencatatan pada semua kultur cawan petri. Dalam mengidentifikasi bakteri dapat dilihat berdasarkan bentuk morfologinya. Morfologi bakteri biasanya terdiri dari *form*, *elevation*, *margin*, *size*, *shape*, *colour*, *texture*, *surface*, *opacity* dan lain sebagainya. Dalam penelitian ini morfologi yang digunakan adalah *colour*, *form*, *elevation*, dan *margin*. Dasar dalam melakukan identifikasi karakteristik morfologi koloni bakteri menggunakan gambar 3.11 sebagai berikut.



Sumber : (Lathifah, et al., 2020)

**Gambar 3. 11** Morfologi Koloni Pada Media Padat di Cawan Petri

*Form* untuk morfologi koloni terdiri dari beberapa tipe dimana memiliki ciri khas masing-masing yaitu *punctiform* dengan berbentuk bulat-bulat kecil tetapi saling berdekatan, *circular* dengan bentuk bulat penuh, *filamentous* dengan bentuk seperti berbenang, *irregular* dengan bentuk seperti tidak beraturan, *rhizoid* dengan bentuk seperti akar-akaran dan *spindle* dengan bentuk seperti kumparan dan terlihat lonjong memanjang. Kemudian untuk *elevation* terdiri dari beberapa tipe yaitu *flat* dengan elevasi yang rata, *raised* dengan elevasi timbul dan datar, *convex* dengan elevasi bulat melengkung, *pulvinate* dengan elevasi bulat dan memiliki bantalan yang tebal serta *umbonate* dengan elevasi cembung dengan bagian tengah yang menonjol. Terakhir adalah *margin* dengan tipe *entire* dengan tepi yang utuh dan jelas, *undulate* dengan tepi yang berombak kecil, *lobate* dengan tepi yang terbelah, *erose* dengan tepi bergerigi, *filamentous* dengan tepi berbenang dan *curled* dengan tepi keriting.

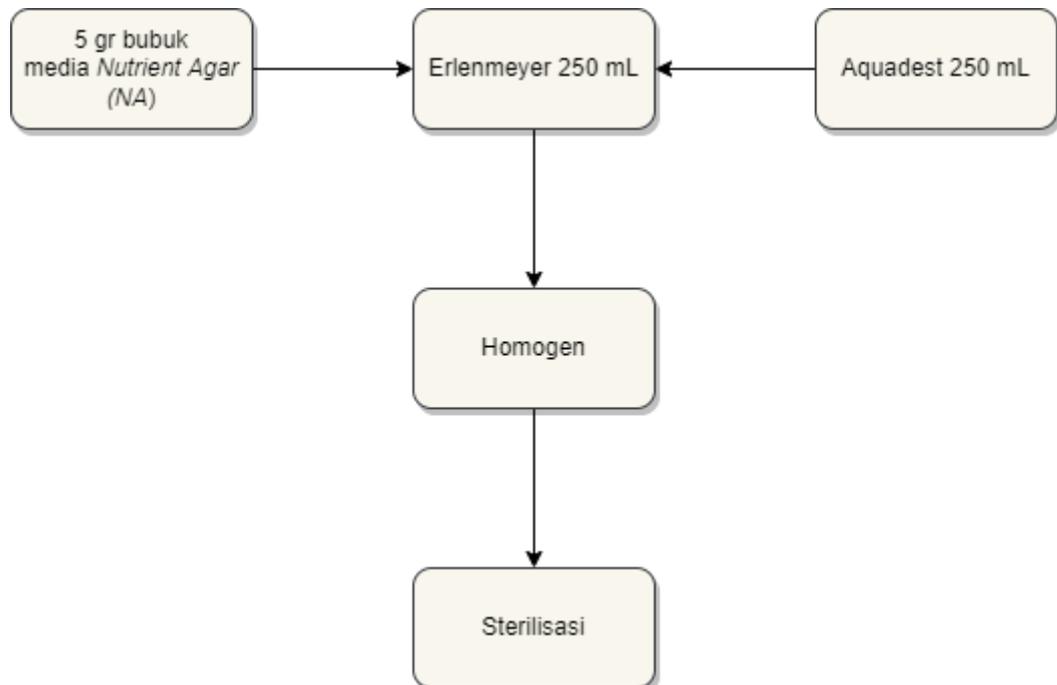


**Gambar 3. 12** Contoh Morfologi Koloni Bakteri  
*Sumber : Baker College Research Guides, 2022*

### **3.6.4 Pemindahan/Re-culture Bakteri**

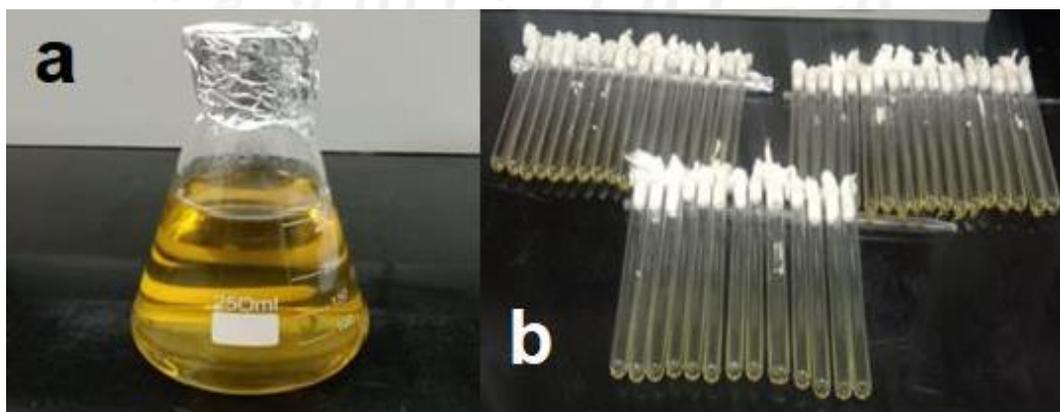
#### **3.6.4.1 Persiapan Media**

Pemindahan kultur bakteri dilakukan untuk menumbuhkan kultur murni setiap bakteri yang tumbuh dalam agar miring. Media yang digunakan adalah media *Nutrient Agar (NA)*. Media ini dipilih karena memberikan nutrisi yang baik dan cocok untuk bakteri. Metode ini juga dilakukan untuk melakukan verifikasi terjadinya kontaminasi pada kultur bakteri.



**Gambar 3. 13** Proses Pembuatan Media NA

Dalam proses pembuatannya, mulut erlenmeyer ditutup dengan *aluminium foil* dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* pada suhu  $\pm 120^{\circ}\text{C}$  hingga cairan terlihat bening atau jernih. Tabung reaksi disiapkan kemudian media NA dituang sebanyak  $\pm 5$  mL dan pemindahan dilakukan secara aseptik di dalam *Laminar Air Flow (LAF)* dan disterilisasi. Tabung reaksi dimiringkan dan media ditunggu hingga mengeras dan terbentuk media NA miring. Inkubasi dilakukan selama 24 jam dengan suhu  $\pm 30^{\circ}\text{C}$  sebagai pengecekan kontaminasi pada media sebelum digunakan.



**Gambar 3. 14** (a) Media NA, (b) NA Miring Pada Tabung Reaksi

Sumber : Dokumentasi Pribadi

### 3.6.4.2 Inokulasi Bakteri Pada Agar Miring

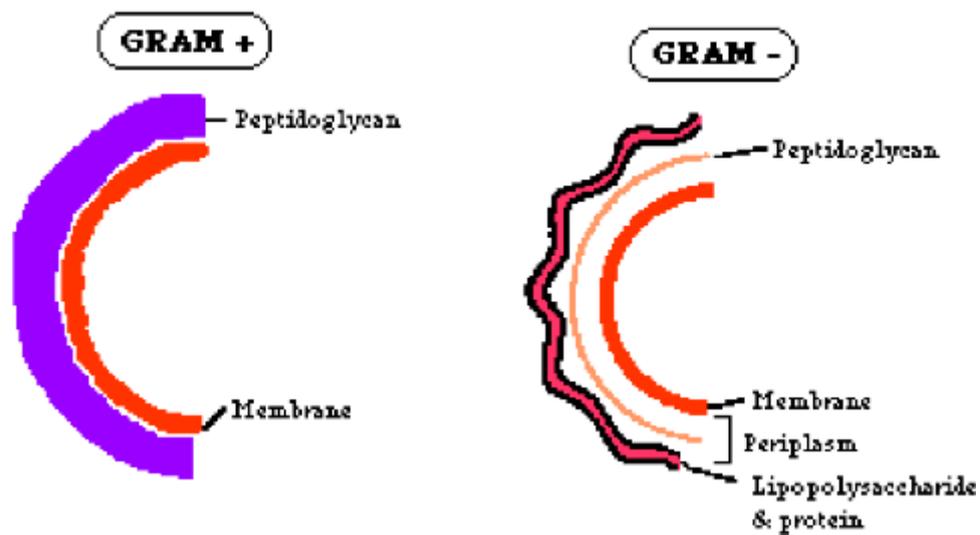
Isolasi mikroba dengan teknik ini bertujuan untuk meremajakan kultur sehingga didapatkan koloni terpisah dari campurannya atau koloni tunggal dengan warna dan morfologi yang sama serta merupakan biakan murni. Pekerjaan dilakukan secara aseptik dan suspensi dipindahkan pada agar miring media *Nutrient Agar (NA)*. Penggoresan dilakukan secara zig-zag. Terakhir akan dilakukan inkubasi selama  $\pm 24$  jam pada suhu  $\pm 37^{\circ}\text{C}$  dan akan tumbuh koloni dari 1 sel mikroba.



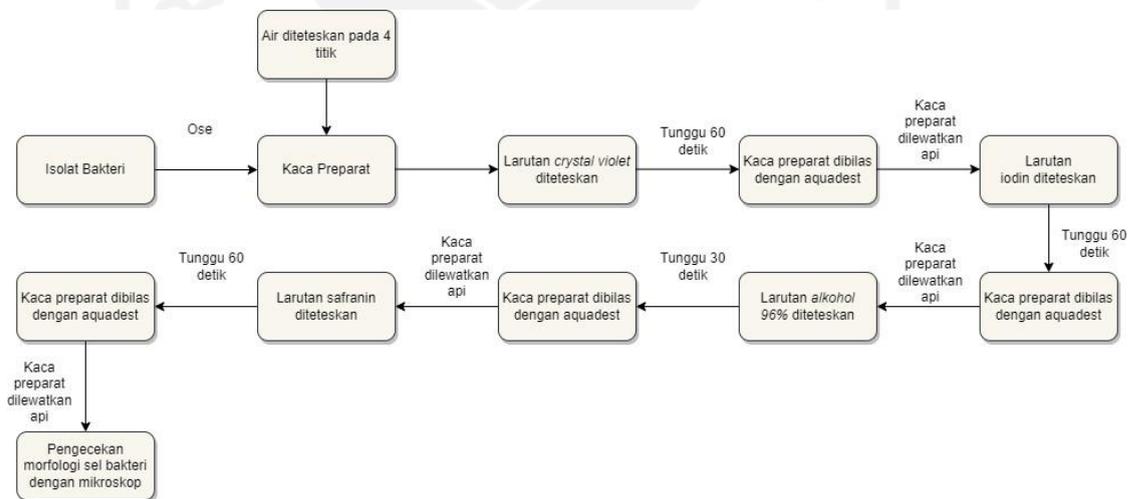
**Gambar 3. 15** Inokulum Bakteri Pada Media Agar Miring  
*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

### 3.6.5 Pewarnaan Gram

Pewarnaan gram dilakukan untuk identifikasi morfologi sel bakteri. Dalam pewarnaan gram akan didapatkan bakteri gram positif dan bakteri gram negatif. Ciri-ciri dari masing-masing gram bakteri adalah, bakteri gram positif berwarna ungu dan bakteri gram negatif berwarna merah yang disebabkan adanya perbedaan ketebalan dan letak peptidoglikan pada bakteri. Bakteri gram positif memiliki peptidoglikan yang lebih tebal dan berada di bagian terluar, sedangkan bakteri gram negatif memiliki peptidoglikan lebih tipis dan berada di bagian tengah.



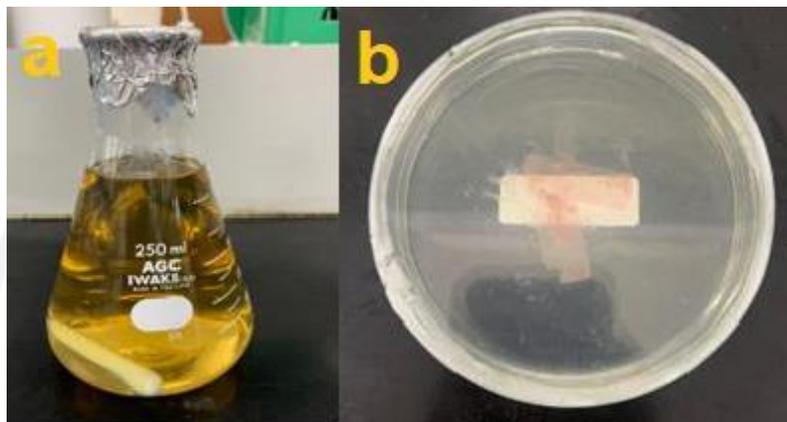
**Gambar 3. 16** Ilustrasi Jenis Gram Bakteri  
 Sumber : Lathifah, et al., 2020



**Gambar 3. 17** Langkah Kerja Pewarnaan Gram

Pewarnaan gram bakteri menggunakan 4 jenis larutan yaitu *crystal violet*, iodine, alcohol 96% and safranin. In the process of its implementation, it must be very careful about the time at the time of giving the solution. Especially at the time of giving alcohol 96% because it is very important to determine the morphology of the cells that are obtained from the bacteria. The morphology of the bacterial cells is checked using a microscope with a magnification of 40X.

### 3.6.6 Pengujian Degradasi Mikroplastik Dengan Bakteri



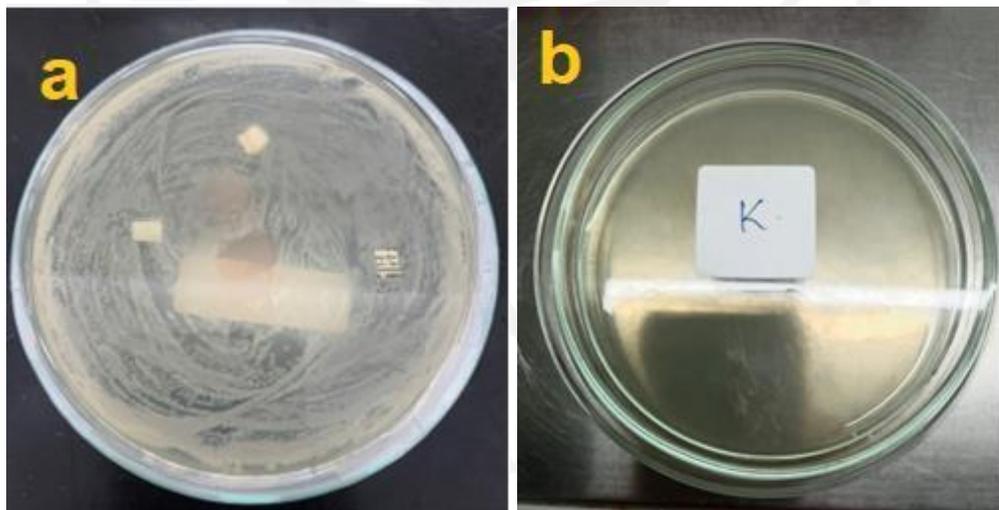
**Gambar 3. 18** (a) Pembuatan Media NA, (b) Media NA Pada Cawan Petri  
*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

Dalam pengujian ini, dilakukan dengan menggunakan 4 jenis plastik yang memiliki polimer yang berbeda. Jenis polimer yang digunakan adalah *Polyethylene (PE)*, *Polypropylene (PP)*, *Polystyrene (PS)* dan *Polyethylene Terephthalate (PET)* berdasarkan analisis menggunakan *FTIR*. Masing-masing plastik disiapkan dan dilakukan penimbangan menggunakan neraca analitik untuk mengetahui *initial weight* dari mikroplastik. Mikroplastik yang digunakan harus steril dengan dilakukan perendaman pada alkohol 70% terlebih dahulu dan dilakukan pengeringan dengan oven pada suhu  $\pm 50^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 20$  jam.



**Gambar 3. 19** Jenis Polimer Plastik Yang Digunakan Dalam Uji Degradasi (a), Polyethylene (PE), (b) Polypropylene (PP), (c) Polystyrene (PS), (d) Polyethylene Terephthalate (PET)

Sumber : Dokumentasi Pribadi



**Gambar 3. 20** Inokulum Uji Degradasi Mikroplastik Dalam Media Cawan Petri Inokulum Dengan Kultur Bakteri, (b) Kontrol

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Dalam melakukan pengujian, dilakukan persiapan kultur dengan melakukan inokulasi isolat bakteri terpilih dalam media *Nutrient Broth (NB)* sebanyak 9 mL dimana terdiri dari 1-2 tabung. Kemudian kultur media diinkubasi di dalam *shaker incubator* selama  $\pm 48$  jam, suhu 30 °C, 100 rpm dengan suhu 30°C. Inokulum disiapkan dengan menginokulasikan kultur bakteri terpilih.

Kultur bakteri diambil sebanyak 0.1 mL yang sebelumnya dihomogenkan dengan *vortex mixer* menggunakan pipet yang selanjutnya dimasukkan ke dalam media padat cawan petri *NA*. Kultur bakteri kemudian disebar menggunakan *spreader* dengan gerakan memutar dan dalam kondisi aseptik. Setelahnya diletakkan potongan plastik di atas media *NA* yang telah terdapat kultur bakteri.

### 3.7 Identifikasi Karakteristik Mikroplastik

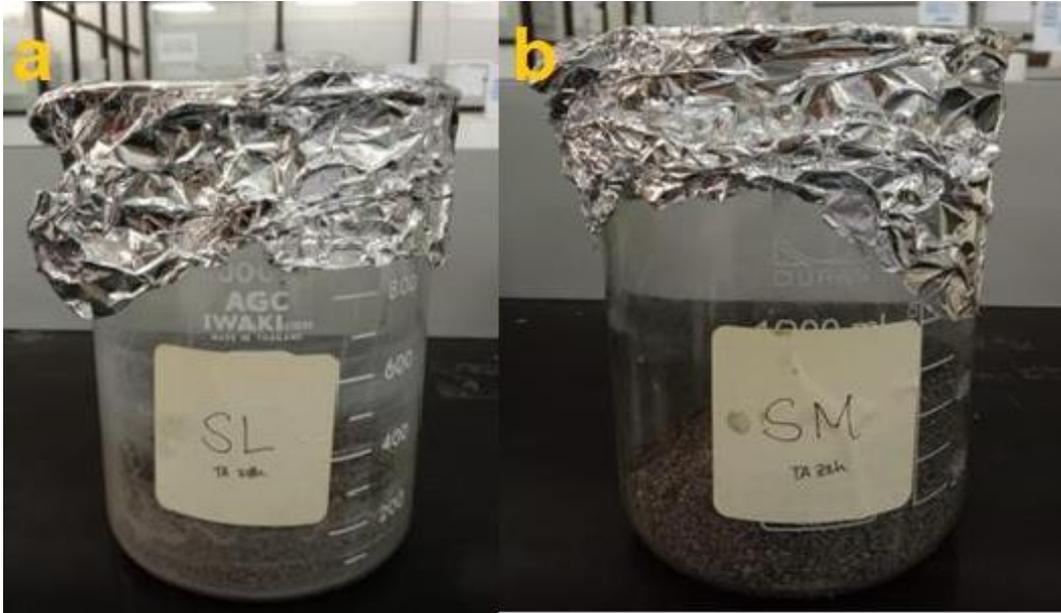
Dalam melakukan identifikasi jenis mikroplastik dilakukan tahapan-tahapan dari perlakuan pada sampel sedimen. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut.

#### 3.7.1 Pengeringan Sampel

Pada pengeringan sampel sedimen, waktu pengeringan dilakukan hingga sedimen benar-benar kering selama  $\pm$  3-4 minggu. Pengeringan dilakukan dengan tujuan mendapatkan berat kering dari sedimen. Berikut adalah diagram alir proses pengeringan sampel pada gambar 3.21.



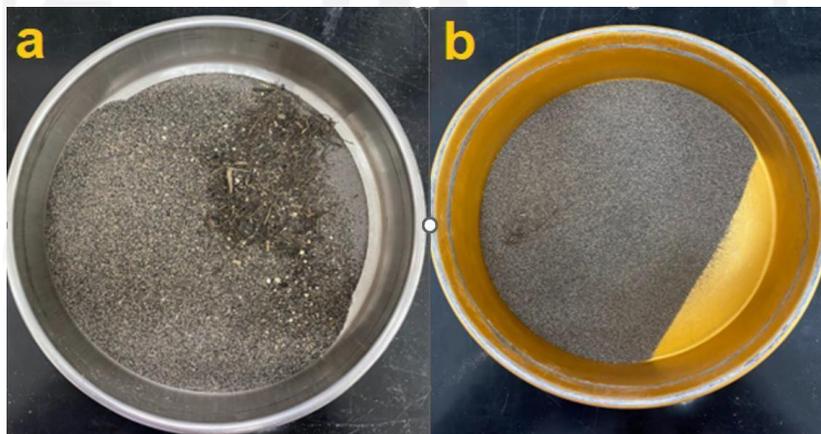
**Gambar 3. 21** Proses Pengeringan Sampel



**Gambar 3. 22** Hasil Pengeringan Sampel (a) Sampel Sedimen Laguna, (b) Sedimen Muara

*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

Setelah sedimen kering, sedimen dihancurkan dengan mortar. Selanjutnya diayak dengan saringan *mesh* untuk memisahkan sedimen dengan sampah plastik serta memperkecil ukuran partikel pada sedimen.



**Gambar 3. 23** (a) Hasil penghancuran Sampel Sedimen, (b) Pengayakan Sampel Sedimen

*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

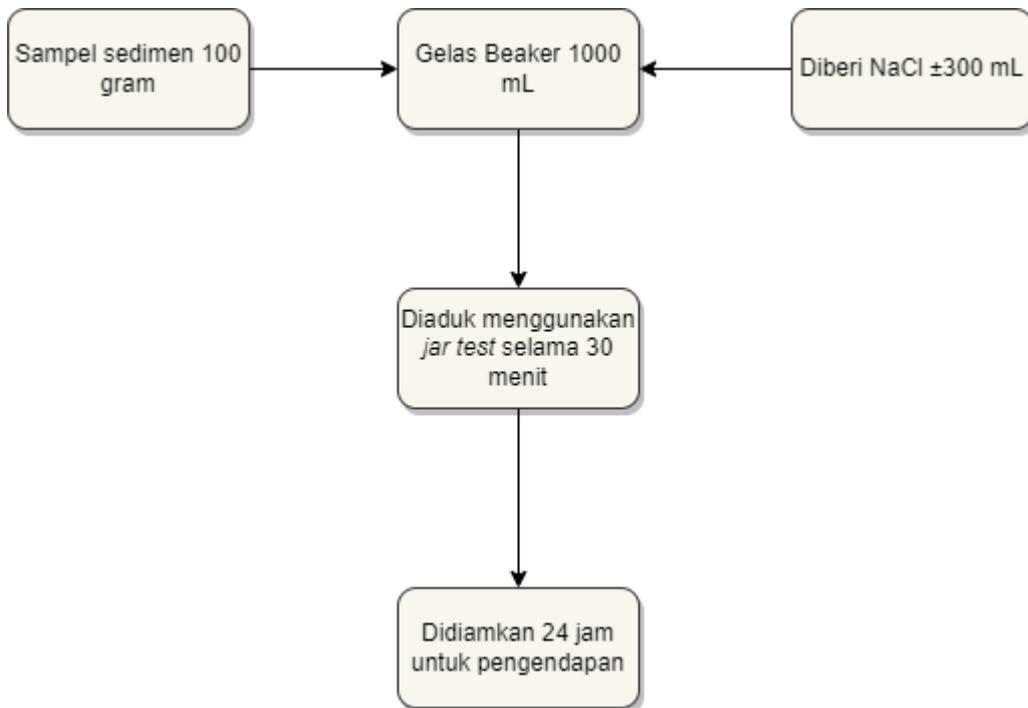
### 3.7.2 Pengadukan dan Pengendapan Sampel

Dalam proses ini diperlukan larutan NaCl yang akan dicampur dengan sampel. Larutan NaCl dibuat dengan campuran bubuk NaCl dan aquadest yang dihomogenkan dengan suhu  $\pm 50^{\circ}\text{C}$  dengan tujuan agar lebih mudah dilarutkan. Tahapan pembuatan NaCl dapat dilihat pada gambar 3.24 sebagai berikut.

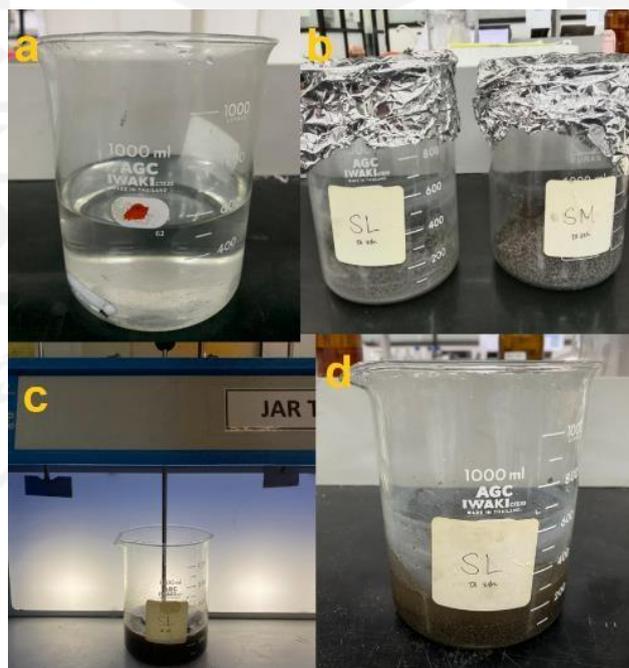


**Gambar 3. 24** Langkah Pembuatan Larutan NaCl

Pengadukan pada sampel sedimen menggunakan *jar test* dilakukan dengan tujuan agar sampel dengan NaCl bercampur dan mikroplastik yang terkandung dalam sedimen dapat terbawa ke NaCl yang memiliki densitas lebih tinggi. Kemudian pengendapan dilakukan dengan tujuan untuk mengendapkan sedimen sehingga cairan dan sedimen dapat terpisah. Tahapan ini akan mempermudah proses selanjutnya dan dapat dilihat pada gambar 3.25.



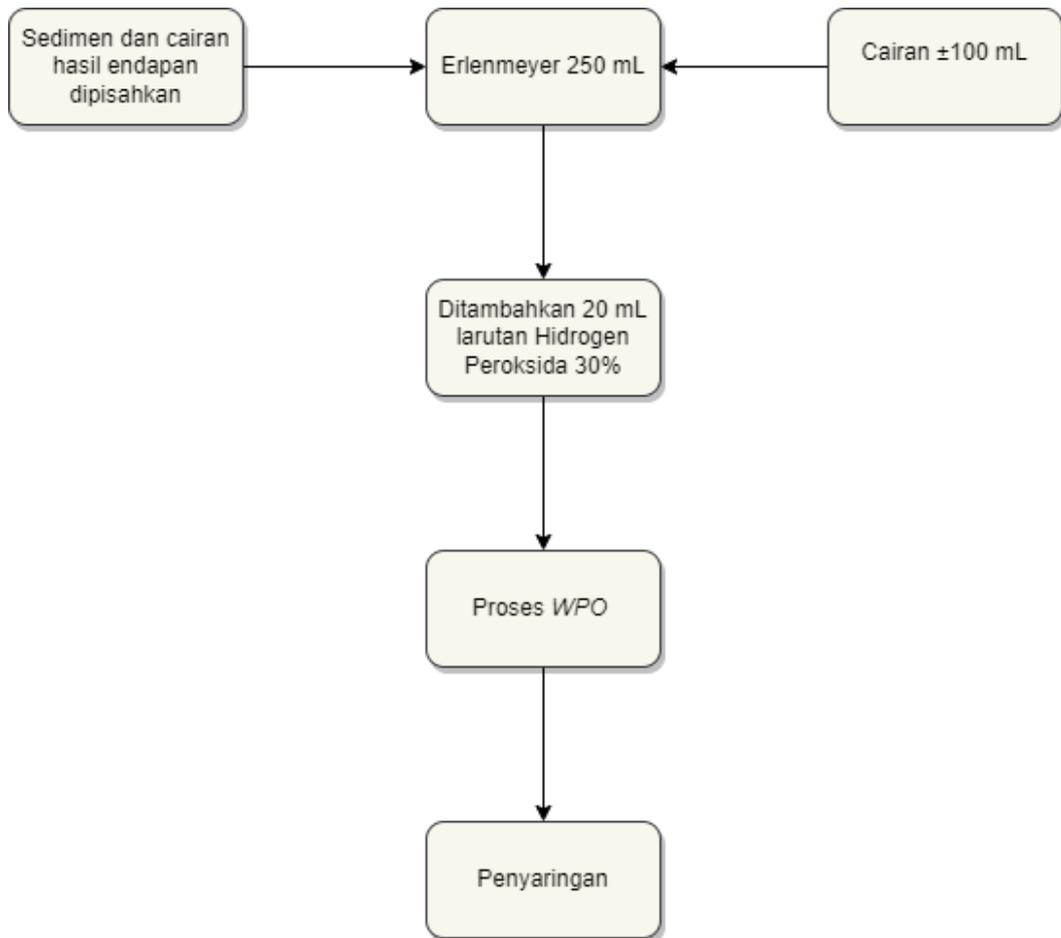
**Gambar 3. 25** Proses Pengadukan dan Pengendapan Pada Sampel Sedimen



**Gambar 3. 26** (a) Larutan NaCl, (b) Sampel Sedimen 100 gr, (c) Pengadukan campuran Sampel dan larutan NaCl Dengan Jar Test, (d) Proses Pengendapan Sampel Sedimen

*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

### 3.7.3 *Wet Peroxide Oxidation (WPO)* dan Penyaringan

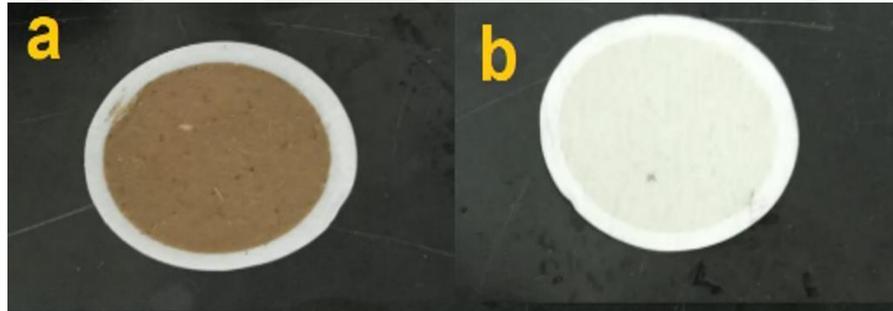


**Gambar 3. 27** Proses *WPO* dan Penyaringan

Sampel sedimen yang telah melewati pengendapan, dilakukan perlakuan *WPO* dan penyaringan yang cara kerjanya dapat dilihat pada gambar 3.27. Sedimen dan cairan di dalam gelas *beaker* dipisahkan secara perlahan-lahan agar sedimen tidak tercampur kembali dengan cairan. Selanjutnya tutup mulut erlenmeyer dengan *aluminium foil* dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* pada suhu 75°C dan 120 rpm selama 24 jam (Li *et al.*, 2016). Setelah dilakukan *WPO* saring cairan dalam erlenmeyer dengan menggunakan *Vacuum pumps and compressors* dan kertas saring whatman, kemudian hasil sampel dikeringkan sebelum dilakukan analisis data (Cutroneo *et al.*, 2020).



**Gambar 3. 28** (a) Proses WPO, (b) Proses Penyaringan Menggunakan *Vacuum pumps and compressors*  
 Sumber : Dokumentasi Pribadi



**Gambar 3. 29** Sampel Fibre (a) Sedimen Laguna (SL), (b) Sedimen Muara (SM),  
 Sumber : Dokumentasi Pribadi

#### 3.7.4 Mikroskop

Dalam tahapan ini dilakukan pengujian mikroskopis sehingga dapat diketahui jenis dan karakteristik dari mikroplastik. Karakteristik dan pengkategorian berdasarkan *Guidelines for sampling microplastics on sandy beaches*, (2018) dimana pembagian jenis yaitu mikroplastik jenis *foam, fragment, fibre/filament, film* dan *pellet* dengan menggunakan fotomikroskop Tipe BA210 Series. Dalam tahapan ini dilakukan pencatatan jumlah, bentuk, warna dan foto

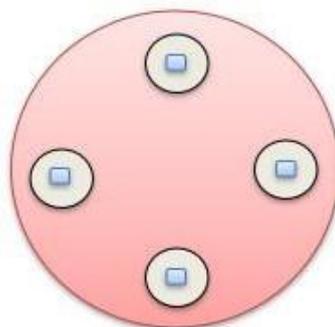
mikroplastik yang didapatkan (Marine Debris Program, 2015).

### 3.8 Analisis Data

#### 3.8.1 Degradasi Mikroplastik Dengan Bakteri Berdasarkan Terbentuknya *Clear Zone* Menggunakan Indikator *Congo Red*.

Semua bakteri terpilih yang diisolasi dilakukan pengujian untuk mengetahui potensi dengan memanfaatkan mikroplastik jenis *PE*, *PP*, *PS* dan *PET* sebagai sumber karbon dan energi bagi pertumbuhan bakteri. Dengan menginokulasikan kultur bakteri pada media cawan petri *NA* yang dilengkapi dengan adanya 4 jenis mikroplastik dengan rentang berat tertentu, dilakukan inkubasi selama  $\pm 2$  minggu dalam suhu  $30^{\circ}\text{C}$ . Pengujian dilakukan secara duplo disertai kontrol (tidak diinokulasikan kultur bakteri).

Setelah dilakukan inkubasi, inokulum cawan petri diberi zat warna *congo red* dengan pH 6,7 melalui pengaturan pH yang dilakukan dengan memberikan larutan HCL encer. Pemberian zat warna ini dimaksudkan untuk memperjelas *clear zone* sehingga lebih mudah untuk dianalisis. Aktivitas degradasi dilihat berdasarkan terbentuknya *clear zone* disekitar koloni. Diameter *clear zone* diukur dan dicatat setelah 20 hari dan dilakukan perhitungan diameter rata-rata *clear zone* dan luas rata-rata *clear zone*. Berikut adalah cara menghitung diameter rata-rata *clear zone* dan luas rata-rata *clear zone*.



**Gambar 3. 30** Ilustrasi Hasil Pengujian Degradasi Berdasarkan *Clear Zone*

Keterangan gambar 3.37 =

 = Media NA cawan petri

 = Area *clear zone*

 = Potongan plastik

**a. Diameter (D) Clear Zone**

$$D = D \text{ clear zone} - D \text{ potongan plastik}$$

terdapat 4 potongan plastik, maka

$$\text{Rata - rata } D = \frac{DI + DII + DIII + DIV}{4}$$

**b. Luas (L) Clear Zone**

$$L = L \text{ clear zone} - L \text{ potongan plastik}$$

terdapat 4 potongan plastik, maka

$$\text{Rata - rata } L = \frac{LI + LII + LIII + LIV}{4}$$

Berikut adalah dasar dalam penentuan diameter dan sifat bakteri pendegradasi mikroplastik.

**Tabel 3. 1** Penentuan Diameter *Clear Zone* dan Sifat Bakteri

Diameter (mm)	Sifat Bakteri
$\geq 2.5$ mm	Rentan
1.0-2.5 mm	Cukup Resisten
<1.00 mm	Kurang/Lemah

(Auta, 2018).

### 3.8.2 Analisis Kemungkinan Jenis Bakteri Pendegradasi Mikroplastik

Berdasarkan dari karakteristik dan jenis morfologi sel yang telah ditemukan, nantinya didapatkan klasifikasi bakteri pendegradasi mikroplastik dengan menggunakan pendekatan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan data dari identifikasi jenis morfologi bakteri dan morfologi sel yang telah dilakukan dalam pengujian laboratorium sehingga didapatkan karakteristik dari bakteri. Kemudian dilakukan studi literatur untuk menganalisis dan mengkaji bakteri sesuai dengan karakteristiknya masing-masing (Oktavianti *et al*, 2020).

### 3.8.3 Identifikasi Karakteristik Mikroplastik

#### 3.8.3.1 Jumlah dan Kelimpahan Mikroplastik

Keberadaan dan kelimpahan mikroplastik dihitung menggunakan mikroskop secara manual berdasarkan jumlah mikroplastik per 100 gram sedimen kering dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Jumlah Mikroplastik} \left( \frac{\text{Partikel}}{100 \text{ Gram Sedimen Kering}} \right) = \frac{\text{Jumlah Mikroplastik Pada Sedimen (Partikel)}}{100 \text{ Gram Sedimen Kering (Gram)}}$$

Kemudian menghitung kelimpahan mikroplastik menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik} \left( \frac{\text{Partikel}}{\text{kilogram}} \right) = \frac{\text{Jumlah Mikroplastik Pada Sedimen (Partikel)}}{100 \text{ Gram Sedimen Kering (Gram)}} \times 10$$

#### 3.8.3.2 Jenis dan Warna Mikroplastik

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Jumlah Partikel Jenis atau Warna (Partikel)}}{\text{Jumlah Keseluruhan Partikel Jenis atau Warna (Partikel)}} \times 100\%$$

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Deskripsi Daerah Penelitian

Lokasi penelitian berada di Laguna dan Muara Sungai Progo D.I. Yogyakarta. Di sekitar lokasi penelitian terdapat area danau pemancingan, tambak ikan nila, area persawahan dan terdapat tempat wisata konservasi penyu. Daerah lokasi pengambilan sampel juga sangat dekat dengan pemukiman. Dengan kondisi seperti ini, mengakibatkan banyak ditemukan limbah plastik dan limbah lainnya yang semakin meningkatkan potensi adanya mikroplastik.



**Gambar 4. 1** (a) Area Danau Pemancingan, (b) Tambak Ikan Nila, (c) Area Persawahan, (d) Tempat Wisata Konservasi Penyu

*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

##### 4.1.1 Muara Sungai Progo

Muara Sungai adalah pertemuan hilir sungai dengan pantai, dengan salah satu muara berlokasi Pantai Trisik, Kulon Progo. Pantai Trisik terletak di bagian paling timur dari Kabupaten Kulon Progo yang berbatasan langsung dengan muara

Sungai Progo dan Pantai Pandansimo, Bantul yang membentang dari perbatasan di Desa Banaran, Kecamatan Galur dan Desa Karangsewu hingga ke muara Sungai Progo. Pantai Trisik memiliki karakteristik pasir yang berwarna hitam, sedikit berbatu dan landai. Dari tahun ke tahun muara Sungai Progo terus mengalami perubahan karena adanya erosi yang sangat parah yang mengakibatkan aliran air terkonsentrasi ke arah kiri hingga menjadi penyebab banjir (Herawati, 2016).



**Gambar 4. 2** Pantai Trisik, Kulon Progo, D.I. Yogyakarta  
*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

#### 4.1.2 Laguna Pantai Trisik, Kulon Progo



**Gambar 4. 3** Laguna (Pantai Trisik), Kulon Progo, D.I. Yogyakarta  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Laguna yang merupakan lokasi penelitian ini terletak di sebelah barat dari muara Sungai Progo, tepatnya di Dusun Sidorejo, Desa Banaran, Kulon Progo dengan luas Laguna 33.523 m<sup>2</sup>. Laguna ini terbentuk secara alami di pesisir Pantai Trisik dikarenakan adanya luapan dari muara Sungai Progo dan gelombang Pantai Trisik. Sayangnya, tidak diketahui pasti kapan terbentuknya Laguna di pesisir pantai.

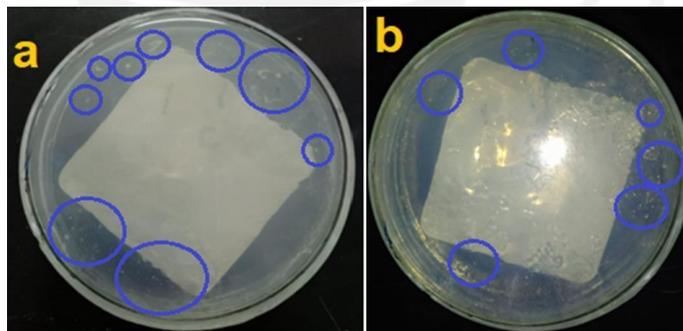
Saat ini, laguna digunakan sebagai tempat pembuangan akhir dari limbah tambak yang ada di sekitar area Laguna. Air Laguna menjadi tercemar hingga berwarna kehitaman dan menimbulkan bau yang tidak sedap (Herawati, 2016). Hal ini sesuai dengan hasil observasi langsung yang dilakukan di lokasi penelitian, yaitu terganggunya produktivitas ikan yang dibudidayakan di Laguna. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan adanya ikan mati dan timbunan sampah plastik dalam jumlah besar di sekitar laguna.

## 4.2 Karakteristik Bakteri Pendegradasi Mikroplastik

Karakteristik bakteri didapatkan melalui analisis yang dilakukan berdasarkan bakteri yang tumbuh pada isolat bakteri. Isolat bakteri terdiri dari 2 sampel yaitu sedimen laguna dan sedimen muara. Masing-masing isolat terdiri dari pengenceran  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  dan  $10^{-7}$ . Bakteri yang didapatkan kemudian dilakukan pengecekan morfologi bakteri yang selanjutnya dilakukan pewarnaan gram.

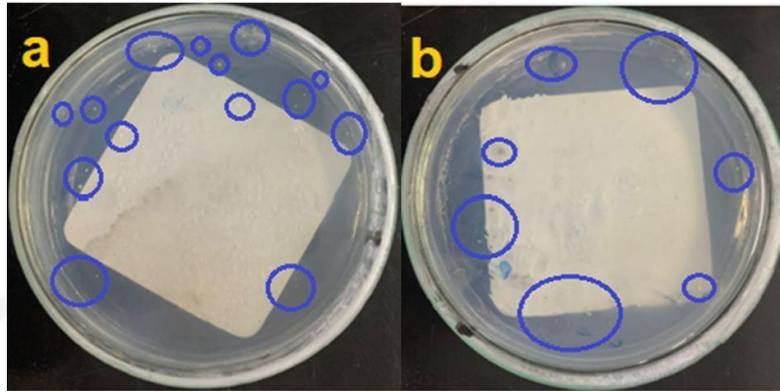
### 4.2.1 Isolasi dan Identifikasi Koloni Bakteri

Sampel sedimen laguna dan sedimen muara dilakukan isolasi menggunakan teknik *pour plate* selama  $\pm 30$  hari pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$ . Isolasi bakteri dilakukan pada pengenceran  $10^{-4}$  hingga  $10^{-7}$  dan dilakukan secara duplo. Hasil dari isolasi bakteri juga dilakukan perhitungan jumlah total koloni bakteri menggunakan *colony counter*.



**Gambar 4. 4** Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Laguna Kode (a) SL 10-4 dan (b) SL 10-4 (2)

Pada hasil inkubasi untuk sedimen laguna, dengan kode SL  $10^{-4}$  didapatkan rata-rata koloni bakteri sebanyak 150 koloni bakteri. Kemudian, untuk hasil inkubasi dengan kode SL  $10^{-5}$  didapatkan rata-rata koloni sebanyak 57 koloni bakteri. Isolat bakteri dengan kode SL  $10^{-6}$  didapatkan rata-rata koloni sebanyak 69 koloni bakteri. Terakhir, isolat bakteri dengan kode SL  $10^{-7}$  didapatkan rata-rata koloni sebanyak 32 koloni bakteri.



**Gambar 4. 5** Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Muara Kode (a) SM 10<sup>-4</sup> dan (b) SM 10<sup>-4</sup> (2)

Selanjutnya adalah isolat dari sedimen muara, untuk isolat bakteri dengan kode SM 10<sup>-4</sup> didapatkan rata-rata koloni bakteri sebanyak 77 koloni bakteri. Pada isolat bakteri dengan kode SM 10<sup>-5</sup> didapatkan rata-rata koloni sebanyak 22 koloni bakteri. Selanjutnya, pada isolat bakteri dengan kode SM 10<sup>-6</sup> didapatkan rata-rata koloni sebanyak 3 koloni bakteri. Terakhir, pada hasil inkubasi untuk isolat kode SM 10<sup>-7</sup> dan duplonya tidak ditemukan bakteri yang tumbuh.

Hal ini kemungkinan diakibatkan oleh pengaruh waktu isolasi pada sampel yang dilakukan setelah 2 minggu dari pengambilan sampel muara. Sehingga, populasi bakteri yang ada pada sampel sedimen muara telah berkurang jika dibandingkan dengan hasil isolasi yang dilakukan pada sedimen laguna. Untuk sedimen laguna perlakuan isolasi sampel dilakukan 1 hari setelah pengambilan sampel dilakukan.

Penyebab adanya perbedaan jenis dan jumlah bakteri dari hasil isolasi dikarenakan kemungkinan adanya perbedaan jumlah zat organik antara laguna dan muara, kemudian jauhnya jarak aktivitas manusia dari kedua lokasi memberikan pengaruh kelimpahan bakteri. Kondisi lokasi pengambilan sampel muara yang terdapat gelombang air cukup besar juga memberikan pengaruh karena terjadi pengadukan dalam perairan oleh gelombang tinggi. Hal ini dikarenakan kemungkinan terjadi resuspensi pada sedimen sehingga bakteri pada sedimen akan naik ke permukaan air laut dan menyebabkan jumlah kelimpahan di sedimen muara lebih sedikit daripada sedimen laguna dikarenakan pada laguna tidak terdapat gelombang tinggi air (Zhang *et al.*, 2021).

Berdasarkan hasil isolasi bakteri terdapat beberapa variasi bakteri yang dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut.

**Tabel 4. 1** Morfologi Bakteri Isolat Sedimen Laguna dan Sedimen Muara

Sedimen Laguna (SL)					
No.	Kode Isolat	<i>Colour</i>	<i>Form</i>	<i>Elevation</i>	<i>Margin</i>
1	SL1	Putih susu	<i>Filamentous</i>	<i>Flat</i>	<i>Filamentous</i>
2	SL2	Putih susu	<i>Rhizoid</i>	<i>Convex</i>	<i>Filamentous</i>
3	SL3	Putih susu	<i>Rhizoid</i>	<i>Flat</i>	<i>Filamentous</i>
4	SL4	Kuning kemerahan	<i>Spindle</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>
5	SL5	Putih bening	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>
6	SL6	Putih susu	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Erose</i>
7	SL7	Kuning	<i>Filamentous</i>	<i>Flat</i>	<i>Filamentous</i>
8	SL8	Kuning	<i>Rhizoid</i>	<i>Flat</i>	<i>Lobate</i>
9	SL9	Putih susu	<i>Irregular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
10	SL10	Putih kecoklatan	<i>Spindle</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
11	SL11	Kuning	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
12	SL12	Kuning	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Lobate</i>
13	SL13	Kuning	<i>Irregular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
14	SL14	Kuning	<i>Rhizoid</i>	<i>Flat</i>	<i>Filamentous</i>
15	SL15	Putih bening	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Erose</i>
16	SL16	Kuning Oranye	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>
17	SL17	Putih susu	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>
18	SL18	Putih susu	<i>Irregular</i>	<i>Convex</i>	<i>Undulate</i>
19	SL19	Putih susu	<i>Spindle</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
20	SL20	Putih kecoklatan	<i>Circular</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>
21	SL21	Putih kekuningan	<i>Irregular</i>	<i>Flat</i>	<i>Lobate</i>
22	SL22	Putih susu	<i>Rhizoid</i>	<i>Flat</i>	<i>Curled</i>
23	SL23	Putih susu	<i>Irregular</i>	<i>Flat</i>	<i>Undulate</i>
24	SL24	Putih susu	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Lobate</i>
25	SL25	Putih susu	<i>Rhizoid</i>	<i>Flat</i>	<i>Lobate</i>
26	SL26	Kuning	<i>Irregular</i>	<i>Convex</i>	<i>Undulate</i>

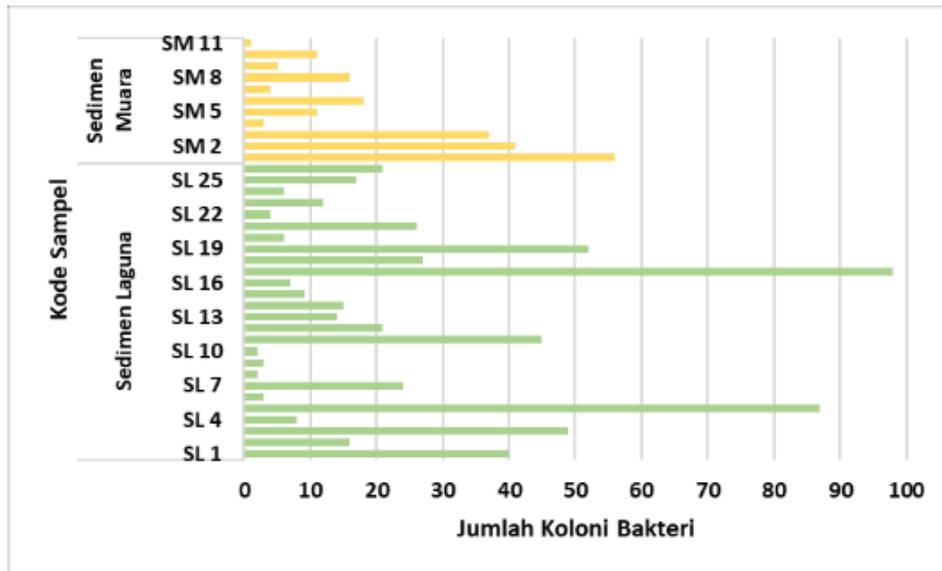
Sedimen Muara (SM)					
No.	Kode Isolat	<i>Colour</i>	<i>Form</i>	<i>Elevation</i>	<i>Margin</i>
1	SM1	Putih susu	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>
2	SM2	Putih susu	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
3	SM3	Kuning	<i>Spindle</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
4	SM4	Kuning	<i>Punctiform</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
5	SM5	Merah kekuningan	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>
6	SM6	Kuning jingga	<i>Spindle</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
7	SM7	Putih susu	<i>Irregular</i>	<i>Convex</i>	<i>Lobate</i>
8	SM8	Putih susu	<i>Spindle</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
9	SM9	Oranye	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>
10	SM10	Putih bening	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>
11	SM11	Coklat kemerahan	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Lobate</i>

Dengan menggunakan metode *TPC* dapat diketahui bakteri dominan serta jenis morfologi yang didapatkan dari keseluruhan hasil isolasi bakteri. Jumlah variasi bakteri untuk sedimen laguna sebanyak 26 jenis bakteri dan untuk bakteri muara sebanyak 11 bakteri. Dimana warna bakteri didominasi oleh warna putih susu dengan morfologi cawan petri yang paling banyak adalah *circular*, *flat* dan *entire*.

Bakteri dominan yang didapatkan untuk sedimen laguna adalah isolat dengan kode SL 17 dengan jumlah 98 koloni bakteri yang berwarna putih susu dan memiliki morfologi *circular*, *convex*, *entire*. Kemudian isolat kode SL 5 yang memiliki jumlah koloni bakteri sebanyak 87 koloni, berwarna putih bening dengan morfologi *circular*, *convex* dan *entire*. Terakhir, bakteri dominan adalah isolat dengan kode SL 19 yaitu sebanyak 52 koloni bakteri yang memiliki warna putih susu dengan morfologi *spindle*, *flat* dan *entire*.

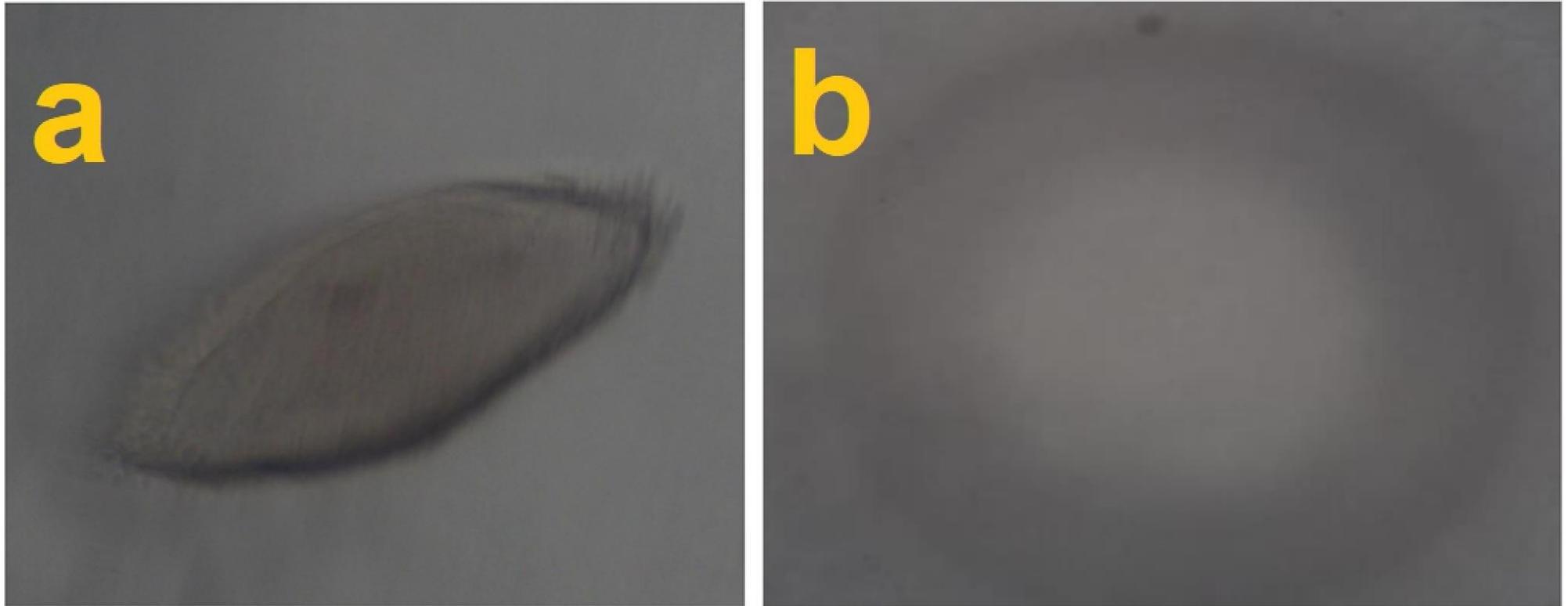
Selanjutnya untuk bakteri dominan pada sedimen muara yang pertama adalah isolat dengan kode SM 1 sebanyak 56 koloni bakteri yang berwarna putih susu dengan morfologi bakteri *circular*, *convex* dan *entire*. Kemudian isolat bakteri dengan kode SM 2 yang memiliki jumlah 41 koloni bakteri, berwarna putih susu dan morfologi bakterinya adalah *circular*, *flat*, dan *entire*. Terakhir, adalah isolat

bakteri dengan kode SM 3, berjumlah 37 koloni bakteri yang berwarna kuning dengan morfologi *spindle*, *flat* dan *entire*. Jumlah untuk morfologi koloni bakteri lainnya dapat dilihat pada gambar 4.6 sebagai berikut.



**Gambar 4. 6** Grafik Jumlah Koloni Bakteri dan Bakteri Dominan Pada Sedimen Laguna dan Sedimen Muara

Penentuan morfologi koloni bakteri pada cawan petri juga dilakukan dengan menggunakan mikroskop. Dengan menggunakan mikroskop dapat terlihat lebih jelas bentuk morfologi beserta warnanya. Contoh morfologi koloni bakteri dengan menggunakan mikroskop dapat dilihat pada gambar 4.7 - gambar 4.8 sebagai berikut.



**Gambar 4. 7** Morfologi Koloni Bakteri Dominan Pada Media NA Cawan Petri Dari Sedimen Laguna Kode (a) SL19 dan (b) SL5  
*Sumber : Dokumentasi Pribadi*



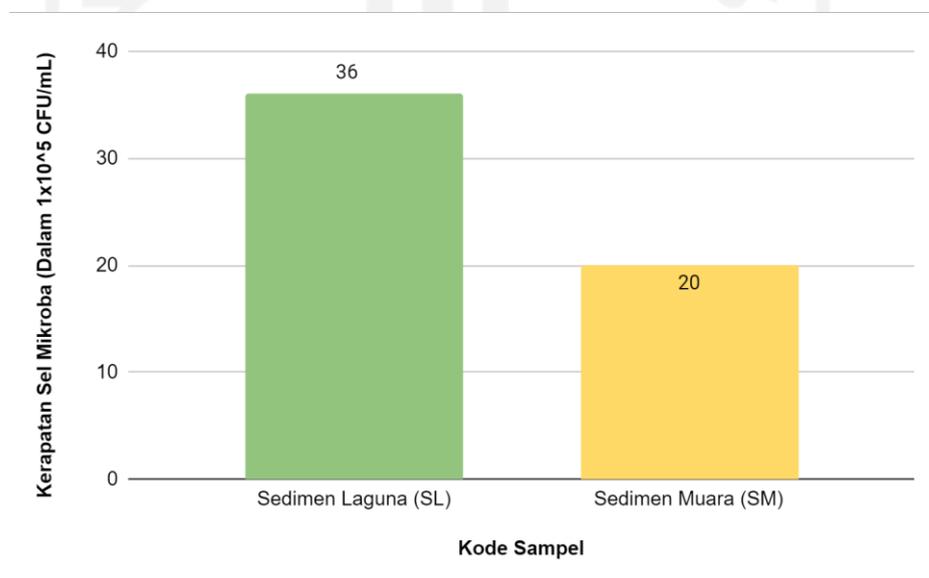
**Gambar 4. 8** Morfologi Koloni Bakteri Dominan Pada Media NA Cawan Petri Dari Sedimen Muara Kode (a) SM1, (b) SM2, dan (c) SM3

*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

#### 4.2.2 Kerapatan/Densitas Sel Mikroba (CFU/mL)

Kerapatan atau densitas sel mikroba didapatkan dari hasil menggunakan metode *Total Plate Count (TPC)*. Densitas bakteri dapat dipengaruhi oleh faktor fisik dan faktor kimia sampel sedimen atau habitat bakteri hidup serta faktor nutrisi yang didapatkan oleh bakteri. Faktor-faktornya seperti kondisi suhu, pH dan salinitas dari habitat bakteri. Berikut adalah hasil perhitungan yang didasarkan dengan syarat-syarat untuk penentuan kerapatan atau densitas sel mikroba pada hasil isolat sedimen laguna dan sedimen muara dengan pengenceran  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  dan  $10^{-7}$ .

Dalam isolasi diambil 4 pengenceran ( $>2$ ) sehingga berdasarkan syarat diambil pengenceran yang lebih kecil yaitu  $10^{-4}$  dan  $10^{-5}$ . Kemudian, berdasarkan jumlah koloni semua hasil pengenceran dan duplonya berada di antara 30-300 koloni bakteri sehingga dihitung rerata koloni bakteri untuk masing-masing pengenceran. Maka, densitas/kerapatan pada sedimen laguna yaitu 3575000 CFU/mL dan sedimen muara 2035000 CFU/mL. Kemudian, densitas/kerapatan pada sedimen laguna dan sedimen muara adalah rerata dari kedua pengenceran yaitu 2035000 CFU/mL berdasarkan grafik pada gambar 4.9 sebagai berikut.



**Gambar 4. 9** Grafik Kerapatan/Densitas Sel Mikroba (CFU/mL) Sedimen Muara Menggunakan Metode *Total Plate Count (TPC)*

### 4.2.3 Morfologi Sel Bakteri

Morfologi sel bakteri didapatkan dari hasil pewarnaan gram yang dilakukan pada 14 isolat bakteri. Isolat bakteri yang terpilih merupakan bakteri dominan, berwarna dan yang akan diuji kemampuan degradasi mikroplastiknya. Berikut adalah hasil morfologi sel yang dapat dilihat pada tabel 4.9.

**Tabel 4. 2** Morfologi Sel Bakteri

No.	Kode Isolat	Morfologi Sel	
Sedimen Laguna (SL)			
1	SL1	<i>Coccus</i>	Negatif (-)
2	SL3	<i>Coccus</i>	Positif (+)
3	SL4	<i>Bacillus</i>	Positif (+)
4	SL7	<i>Coccus</i>	Negatif (-)
5	SL11	<i>Coccus</i>	Positif (+)
6	SL13	<i>Bacillus</i>	Positif (+)
7	SL16	<i>Bacillus</i>	Negatif (-)
Sedimen Muara (SM)			
8	SM1	<i>Coccus</i>	Positif (+)
9	SM2	<i>Coccus</i>	Negatif (-)
10	SM3	<i>Bacillus</i>	Positif (+)
11	SM4	<i>Coccus</i>	Positif (+)
12	SM8	<i>Coccus</i>	Positif (+)
13	SM9	<i>Coccus</i>	Positif (+)
14	SM10	<i>Bacillus</i>	Negatif (-)

Berdasarkan hasil pada tabel 4.2 terdapat 7 isolat bakteri yang berasal dari sedimen laguna dan 7 bakteri yang berasal dari sedimen muara. Morfologi sel penting untuk diketahui dalam penelitian ini dikarenakan dapat memberikan pemahaman mengenai fisiologi mikroba dan mengidentifikasi bakteri berdasarkan

*genus* hingga *species*. Perbedaan jenis sel bakteri dipengaruhi oleh peptidoglikan dimana memberikan bentuk sel yang khas serta memberikan perlindungan pada bakteri.

Perbedaan sel juga disebabkan oleh komposisi yang menyusun dinding sel, di mana pada gram positif tersusun atas peptidoglikan yang di dalamnya terdapat *teichoic acids*, *theicuroni acids* dan berbagai macam polisakarida. Sedangkan pada bakteri gram negatif komposisi peptidoglikannya tersusun atas lipoprotein, fosfolipid dan polisakarida. *Teichoic acids* sampai saat ini hanya ditemukan pada jenis bakteri gram-positif dan belum ditemukan pada bakteri gram-negatif, sedangkan pada bakteri gram-negatif memiliki lipopolisakarida dimana sejauh ini hanya ada satu organisme gram-positif yang ditemukan mengandung lipopolisakarida yaitu *Listeria monocytogenes* (Silhavy *et al.*, 2010).

Sebagian besar bakteri gram-positif memiliki dinding sel yang relatif tebal dengan ukuran sekitar 20-80 nm dan sebagian besar terdiri dari peptidoglikan atau dikenal juga dengan sebutan mucopeptide atau murein. Pada dinding sel yang tebal, polimer dinding sel (*teichonic*, asam *theicuroni* dan polisakarida) terikat secara kovalen pada peptidoglikan. Sebaliknya pada bakteri gram-negatif, lapisan peptidoglikan hanya terdapat satu lapisan dengan tebal sekitar 5-10 nm dan struktur membran luarnya memiliki tebal sekitar 7,5-10 nm dengan kandungan lipid lebih tinggi. Berbeda dengan bakteri gram-positif, struktur membran pada gram-negatif terikat secara non-kovalen dengan molekul lipoprotein (Lazaroaie, 2010).

Perbedaan bentuk morfologi sel bakteri dapat memberikan pengaruh pada perlekatan bakteri pada objek (mikroplastik) dan luas pembentukan *biofilm* dan *clear zone* (Tripathi dan Sapra, 2021). Jenis gram bakteri juga memberikan pengaruh pada degradasi mikroplastik. Bakteri gram negatif lebih toleran kepada karbon dikarenakan membran luar gram negatif sangat permeabel dan secara umum dipercaya bahwa bakteri gram negatif lebih toleran daripada gram-positif. Sedangkan gram-positif lebih resisten. Sehingga biasanya degradasi mikroplastik terjadi lebih dulu pada bakteri gram negatif daripada bakteri gram positif (Lazaroaie, 2010).

### 4.3 Kemampuan Bakteri Pendegradasi Mikroplastik

#### 4.3.1 Terbentuknya *Clear Zone* Menggunakan Indikator *Congo Red*

Identifikasi kemampuan bakteri pendegradasi mikroplastik juga dilakukan dengan melakukan pengujian menggunakan media padat *Nutrient Agar (NA)* yang diberikan zat warna *congo red* dengan tujuan untuk memperjelas *clear zone* yang terbentuk karena terjadi proses degradasi. Pengujian dilakukan pada 10 jenis isolat bakteri yang sebanyak 5 isolat berasal dari sedimen laguna dan 5 isolat lagi berasal dari sedimen muara dengan duplo serta kontrol. Inkubasi dilakukan sampai hari ke-20 dengan hasil sebagai berikut.

Penentuan dan pengecekan *clear zone* dilakukan pada hari ke-2, 5, 7, 10, 14 dan 20. Sedangkan pengukuran *clear zone* dilakukan pada hasil inkubasi hari ke-2 dan hari ke-20. Dari ke-20 isolat bakteri, terdapat 11 bakteri yang menghasilkan *clear zone* setelah dilakukan inkubasi. *Screening* pembentukan *clear zone* dibantu dengan pemberian *congo red* dalam pH 6,7. Dimana *congo red* akan berikatan secara non kovalen dengan media sehingga dapat menunjukkan sisa media yang tidak terdegradasi dan memperjelas bentuk *clear zone* yang terbentuk.

**Tabel 4. 3** Hasil Pengukuran *Clear Zone*

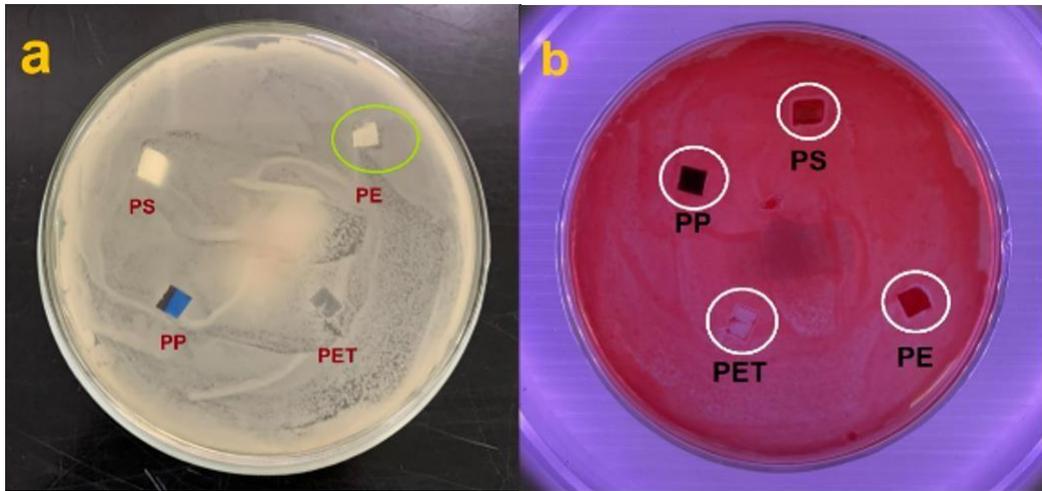
Kode Inokulum	Waktu inkubasi (hari)	Jenis plastik	Diameter ( $\pm$ mm)				Area ( $\pm$ mm <sup>2</sup> )			
			<i>Clear zone</i>	Potongan plastik	Diameter	Rata-rata	<i>Clear zone</i>	Potongan plastik	Area	Rata-rata
SL 3	2	PE	8.08	4.86	3.23	1.60	46.58	13.65	32.93	17.64
		PS	6.31	5.99	0.32		36.53	23.22	13.31	
		PET	6.28	5.02	1.26		31.77	25.09	6.68	
	20	PE	12.69	5.38	7.31	3.33	114.58	26.11	88.47	62.42
		PS	6.55	6.17	0.38		97.28	17.47	79.81	
		PET	9.08	6.79	2.30		47.32	28.33	19.00	
SL3(2)	2	Belum ada <i>clear zone</i> yang terbentuk								
	20	PP	8.10	6.28	1.82	2.14	40.33	26.74	13.59	18.49
		PS	7.13	4.66	2.47		38.77	15.37	23.39	

SL4	2	PE	6.39	5.32	1.06	1.06	30.33	17.33	13.00	13.00
	20	PE	7.57	5.75	1.82	1.45	51.23	29.97	21.25	18.45
		PP	6.06	4.97	1.09		40.69	27.76	12.93	
		PS	7.60	5.77	1.83		58.44	34.00	24.44	
		PET	7.95	6.89	1.05		42.96	27.78	15.19	
SL4(2)	2	PE	6.19	5.65	0.54	0.63	17.97	13.97	4.00	3.79
		PP	5.25	4.68	0.57		22.87	18.06	4.81	
		PS	5.30	4.80	0.49		27.95	25.72	2.23	
		PET	6.29	5.40	0.90		19.25	15.12	4.12	
	20	PE	8.35	5.93	2.41	5.30	85.56	20.81	64.76	59.73
		PP	11.87	5.11	6.75		117.43	23.72	93.71	
		PS	6.80	4.96	1.84		43.83	28.11	15.72	
		PET	16.83	6.64	10.19		89.19	24.47	64.73	
SL11	2	PE	9.30	6.78	2.51	5.25	47.13	25.92	21.21	55.36
		PP	9.78	5.10	4.68		61.15	13.87	47.28	
		PS	13.18	6.29	6.89		115.35	28.06	87.29	
		PET	13.08	6.15	6.93		91.13	25.47	65.66	
	20	PE	8.98	6.23	2.74	4.03	54.69	30.05	24.64	48.68
		PP	9.61	5.45	4.15		60.52	18.88	41.64	
		PS	12.03	6.75	5.28		89.80	33.49	56.30	
		PET	11.27	7.32	3.95		102.93	30.81	72.12	
SL11(2)	2	PE	8.28	5.43	2.84	1.47	53.57	19.91	33.66	15.30
		PS	6.63	6.00	0.63		24.51	20.61	3.90	
		PET	6.92	5.99	0.94		31.69	23.35	8.33	
	20	PE	8.98	5.95	3.03	1.41	94.46	8.98	85.47	33.76
		PS	7.42	6.57	0.85		40.79	26.65	14.14	
		PET	7.53	7.17	0.36		39.47	37.79	1.67	
SL16(2)	2	PS	6.84	6.11	0.73	0.73	33.82	25.91	7.91	7.91
	20	PE	9.48	7.66	1.82	5.38	68.06	37.66	30.40	69.54
		PS	14.76	6.05	8.71		168.44	37.33	131.10	
		PET	12.07	6.45	5.62		76.35	29.24	47.11	
SM1	2	PE	12.05	5.64	6.41	4.62	96.51	17.51	78.99	64.55

		PS	8.65	5.02	3.62		102.43	21.64	80.79		
		PET	8.65	4.82	3.83		53.94	20.08	33.86		
	20		PE	13.44	5.96	7.48	7.57	70.85	24.31	46.54	69.50
			PP	6.55	5.22	1.33		44.08	24.31	19.77	
			PS	20.39	5.09	15.30		182.79	21.67	161.1 <sub>1</sub>	
			PET	11.26	5.11	6.15		76.19	25.61	50.58	
SM1(2)	2	Belum ada <i>clear zone</i> yang terbentuk									
	20	PP	6.41	4.95	1.46	0.86	39.17	23.00	16.18	14.14	
		PS	5.80	5.54	0.26		32.95	20.84	12.10		
SM3(2)	2	Belum ada <i>clear zone</i> yang terbentuk									
	20	PS	12.31	6.89	5.41	5.41	96.93	35.04	61.89	61.89	
SM10(2)	2	PET	6.09	5.02	1.07	1.07	27.80	21.37	6.43	6.43	
	20	PE	12.82	7.14	5.68	4.13	124.23	40.08	84.14	60.05	
		PS	6.77	4.79	1.98		68.14	26.89	41.25		
		PET	11.47	6.73	4.74		89.25	34.50	54.75		

Berdasarkan tabel 4.3 dapat dilihat bahwa untuk polimer plastik *PE*, isolat bakteri SL3, SL11, SL11(2), SM1 dan SM10(2) memiliki diameter lebih  $\geq 2.5$  mm dimana diameter *clear zone* paling besar adalah SM1 dengan diameter  $\pm 7.48$  mm. Kemudian untuk polimer *PP* *clear zone* paling besar adalah SL4(2) dengan diameter  $\pm 6.75$  mm. Selanjutnya untuk polimer plastik *PS* diameter terbesar berasal dari isolat SM1 dengan diameter  $\pm 15.30$  mm. Terakhir, pada polimer plastik *PET* diameter terluas berasal dari isolat SL4(2) dengan diameter  $\pm 10.19$  mm.

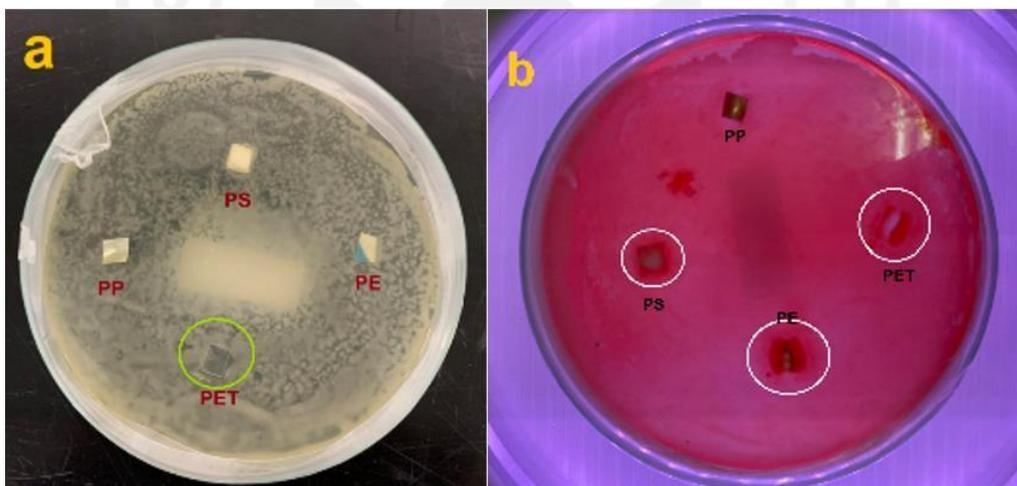
Pada isolat kode SL3(2), SM1(2) dan SM3(2) *clear zone* baru terlihat di inkubasi hari ke-20. Berdasarkan hasil yang didapatkan, contoh hasil inkubasi yang menunjukkan terbentuknya *clear zone* dapat dilihat pada gambar 4.16 untuk isolat bakteri dari sedimen laguna dan 4.17 untuk isolat bakteri dari sedimen muara.



**Gambar 4. 10** Hasil Inkubasi Inokulum Sedimen Laguna Kode SL4 (a) Hari ke-2, Hari ke-20

Sumber : Dokumentasi Pribadi

(b)



**Gambar 4. 11** Hasil Inkubasi Inokulum Sedimen Muara Kode SM10(2) (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada pengujian ini juga ditemukan bakteri yang tidak dapat mendegradasi mikroplastik jenis polimer *PE*, *PP*, *PS* dan *PET* yang ditunjukkan dengan tidak adanya pembentukan *clear zone*. Bakteri yang tidak menghasilkan *clear zone* pada penelitian ini adalah isolat SL1, SL1(2), SL16, SM2, SM2(2), SM3, SM8, SM8(2) dan SM10. Pada SL16, SM3 dan SM10 hasil dari ulangnya masih ditemukan terbentuknya *clear zone*. Tetapi untuk isolat SL1, SM2 dan SM8 semuanya tidak ditemukan terbentuknya *clear zone* baik untuk inokulum awal maupun ulangnya.

Dalam tahap inkubasi yang dilakukan selama 20 hari, bakteri yang memiliki tingkat degradasi tercepat untuk masing-masing polimer plastik dapat terlihat pada peningkatan diameter dan luas area dari *clear zone* yang terbentuk. Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan pada isolat bakteri pengukuran diameter bakteri dapat dihubungkan dengan sifat bakteri seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut. Pada *clear zone* dengan diameter  $\geq 2.5$  mm bakteri bersifat kuat, kemudian diameter antara 1.0-2.5 mm bakteri bersifat resisten dan pada *clear zone* dengan diameter  $< 1.0$  mm bakteri bersifat lemah.

**Tabel 4. 4** Sifat Bakteri Pendegradasi Mikroplastik Terhadap Jenis Mikroplastik

Inokulum Bakteri	PE	PP	PS	PET
Kontrol	--	--	--	--
SL1	--	--	--	--
SL1(2)	--	--	--	--
SL3	+++	--	+	++
SL3(2)	--	++	++	--
SL4	++	++	++	++
SL4(2)	++	+++	++	+++
SL11	+++	+++	+++	+++
SL11(2)	+++	--	+	+
SL16	--	--	--	--
SL16(2)	++	--	+++	+++
SM1	+++	++	+++	+++
SM1(2)	--	++	+	--
SM2	--	--	--	--
SM(2)	--	--	--	--
SM3	--	--	--	--
SM3(2)	--	--	+++	--
SM8	--	--	--	--
SM8(2)	--	--	--	--
SM10	--	--	--	--
SM10(2)	+++	--	++	+++

Kuat (+++) = diameter  $\geq 2.5$  mm, Resisten (++) = diameter antara 1.0-2.5 mm, Lemah (+) = diameter  $< 1.0$  mm, *no growth* (--)

Sifat bakteri kuat memiliki kemampuan yang besar dalam mendegradasi mikroplastik, di mana mikroplastik merupakan zat asing yang kemudian bakteri tersebut dapat mengambil kandungan karbon melalui proses enzimatik sebagai nutrisi. Kemudian pada bakteri dengan sifat resisten pada awalnya kemungkinan bakteri terganggu dengan keberadaan mikroplastik dan cenderung melemah, tetapi

bakteri kemudian beradaptasi dengan keberadaan mikroplastik dan mengubah mekanisme sehingga bakteri menjadi lebih kuat dan terus melakukan pertumbuhan hingga terjadi degradasi mikroplastik. Terakhir pada bakteri dengan sifat lemah, bakteri tidak dapat melawan keberadaan mikroplastik yang merupakan zat asing bagi bakteri sehingga tidak terjadi degradasi mikroplastik (Alfiah *et al.*, 2015).

Terdapat perbedaan tingkat degradasi dan luas *clear zone* yang terbentuk dikarenakan kemampuan setiap bakteri yang berbeda-beda. Setiap bakteri memiliki kompleks enzim yang berbeda seperti menghasilkan enzim ekstraseluler yang akan mengkatalisis saat biodegradasi terjadi, sehingga kecepatan pertumbuhannya pun juga berbeda. *Clear zone* yang terbentuk merupakan hasil dari enzim hidrolisis mikroplastik yang dihasilkan oleh bakteri pendegradasi pada media *NA*. Dengan adanya enzim dari bakteri, substansi hidrokarbon dalam polimer plastik akan menjadi lebih sederhana sehingga dapat diambil sebagai sumber karbon bagi bakteri untuk pertumbuhannya (Auta *et al.*, 2022).

Perbedaan jenis bakteri yang dapat mendegradasi jenis polimer plastik secara berbeda dikarenakan setiap bakteri membutuhkan sumber karbon yang berbeda-beda yang juga dipengaruhi oleh gen bakteri tersebut. Berikut adalah rentang diameter *clear zone* pada masing-masing polimer plastik yang digunakan dalam pengujian selama 20 hari menggunakan media *Nutrient Agar (NA)*. Dengan pemberian zat warna *congo red* dalam suhu inkubasi 30°C menggunakan 10 jenis isolat bakteri dengan ulangan atau duplonya.

**Tabel 4. 5** Rentang Diameter Clear Zone Dari Hasil Degradasi

Jenis Polimer Mikroplastik	Diameter <i>clear zone</i> ( $\pm$ mm)
<i>PE</i>	0.00-7.48
<i>PP</i>	0.00-6.75
<i>PS</i>	0.00-15.30
<i>PET</i>	0.00-10.19

### 4.3.2 Jenis Bakteri Pendegradasi Mikroplastik

Dari hasil pengujian pada sedimen laguna dan sedimen muara yang dimulai dari identifikasi morfologi bakteri, identifikasi morfologi sel bakteri hingga uji degradasi pada polimer plastik *PE*, *PP*, *PS* dan *PET* maka didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 4. 6** Hasil *Screening* Degradasi Mikroplastik

No.	Kode Isolat Bakteri	Morfologi Koloni Bakteri					Morfologi Sel Bakteri		Hasil Uji Degradasi Mikroplastik			
		<i>Colour</i>	<i>Form</i>	<i>Elevation</i>	<i>Margin</i>	<i>Surface</i>	Bentuk	Gram Bakteri	<i>PE</i>	<i>PP</i>	<i>PS</i>	<i>PET</i>
1	SL3	Putih susu	<i>Rhizoid</i>	<i>Flat</i>	<i>Filamentous</i>	<i>Rough</i>	<i>Coccus</i>	+	✓	✓	✓	✓
2	SL4	Kuning kemerahan	<i>Spindle</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	<i>Bacillus</i>	+	✓	✓	✓	✓
3	SL11	Kuning	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	<i>Coccus</i>	+	✓	✓	✓	✓
4	SL16	Kuning oranye	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	<i>Bacillus</i>	-	✓	-	✓	✓
5	SM1	Putih susu	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	<i>Coccus</i>	+	✓	✓	✓	✓
6	SM3	Kuning	<i>Spindle</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	<i>Bacillus</i>	+	-	-	✓	-
7	SM10	Putih bening	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	<i>Bacillus</i>	-	✓	-	✓	✓

Dari hasil pengujian, hasil dari inokulum awal dan ulangnya diambil kesimpulan mengenai hasil pengujian degradasi. Dapat dilihat pada tabel diatas, isolat bakteri SL3, SL4, SL11 dan SM1 memiliki kemungkinan dapat mendegradasi mikroplastik pada semua jenis polimer. Selanjutnya, bakteri dilakukan identifikasi berdasarkan hasil *screening* dari tabel 4.6 dengan menentukan jenis bakteri di tingkat *genus*. Jenis bakteri dibandingkan dengan penelitian sebelumnya melalui studi literatur dengan hasil sebagai berikut.

**Tabel 4. 7** Perbandingan Bakteri Pendegradasi Mikroplastik Dengan Penelitian Sebelumnya

No.	Kode Isolat Bakteri	Jenis Bakteri Berdasarkan <i>Genus</i>	Sumber Studi Literatur
1	SL3	<i>Ruminococcus</i>	<i>Tamargo et.al., 2022</i>
2	SL4	<i>Mycobacterium</i>	<i>Bao et.al., 2019</i>
3	SL11	<i>Micrococcus</i>	<i>Ojha et al., 2017</i>
4	SL16	<i>Enterobacter</i>	<i>Sapkota, 2021</i>
5	SM1	<i>Staphylococcus</i>	<i>Paramita et.al., 2020</i>
6	SM3	<i>Bacillus</i>	<i>Javed et al., 2017</i>
7	SM10	<i>Citrobacter</i>	<i>Mohan et al., 2016</i>

*Ruminococcus* merupakan *genus* bakteri yang masuk dalam kelas *clostridia* dengan sifat anaerobik yang dapat memecah selulosa. *Ruminococcus* memiliki kemampuan mendegradasi yang dibuktikan dengan kemampuannya yang dapat mendegradasi berbagai jenis polisakarida tanaman termasuk selulosa. *Genus* ini dapat ditemukan di dalam proses digester anaerobik yang terdapat pada instalasi pengolahan air limbah. Contoh *species* bakteri yang ditemukan adalah *Ruminococcus albus*.

*Mycobacterium* merupakan *genus* bakteri yang banyak ditemukan lingkungan terutama di tanah dan air. *Genus* ini telah terbukti dapat mendegradasi polutan organik termasuk hidrokarbon. *Genus* ini telah dipertimbangkan sebagai aplikasi bioremediasi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, *genus* ini ditemukan pada sedimen mangrove yang dapat mendegradasi mikroplastik jenis *PS*, *PE*, *LDPE*.

*Micrococcus* adalah *genus* bakteri yang masuk ke dalam *family Micrococcaceae* yang tersebar di alam. *Genus* ini tidak bersifat patogen dapat ditemukan di tanah (*M. denitrificans*) dan di perairan laut (*M. colpogenes*). Berdasarkan penelitian sebelumnya, bakteri ini dapat mendegradasi jenis polimer plastik *PUR*, *PE* dan memiliki kemungkinan dapat mendegradasi mikroplastik jenis *PP*, *PS* dan *PET*.

*Enterobacter* adalah salah satu bakteri patogen dan fakultatif anaerob yang termasuk dalam *family Enterobacteriaceae*. Berdasarkan penelitian sebelumnya, salah satu jenis bakteri yang terbukti dapat mendegradasi mikroplastik adalah *species E. asburiae*. Jenis polimer yang dapat didegradasi adalah *PE* dan *LDPE*.

*Staphylococcus* adalah *genus* bakteri merupakan bakteri yang tumbuh seperti buah anggur dengan diameter 0.5-1.5  $\mu\text{m}$ . Jenis bakteri yang dapat mendegradasi mikroplastik adalah *S. aureus* dan *S. epidermidis*. Kedua bakteri tersebut dapat mendegradasi jenis polimer *PUR*, *PE*, *PP* dan *PET*.

*Bacillus* adalah *genus* bakteri aerobik yang paling sering ditemukan dalam penelitian dapat mendegradasi mikroplastik. Bakteri dengan *genus* ini dijumpai di tanah dan air terutama di perairan laut, tanah, sedimen mangrove, air terkontaminasi

dan lain sebagainya. Berdasarkan penelitian sebelumnya, bakteri jenis ini yang dapat mendegradasi mikroplastik adalah *B. subtilis*, *B. brevis*, *B. flexus*, *B. sphericus*, *B. pumilus* dan *B. cereus*. Jenis polimer mikroplastik yang dapat didegradasi adalah *HIPS*, *PET*, *PS*, *PE*, *LDPE*, *PU*, *PP*, *PLA*, *PVC* dan *PUR*.

*Citrobacter* adalah salah satu bakteri yang dapat mendegradasi hidrokarbon. *Citrobacter* adalah salah satu bakteri *coliform* yang biasanya telah digunakan untuk melakukan bioremediasi logam berat seperti logam berat, senyawa sianida dan limbah tailing. Contoh bakteri yang dapat melakukan degradasi adalah *C. freundii*.

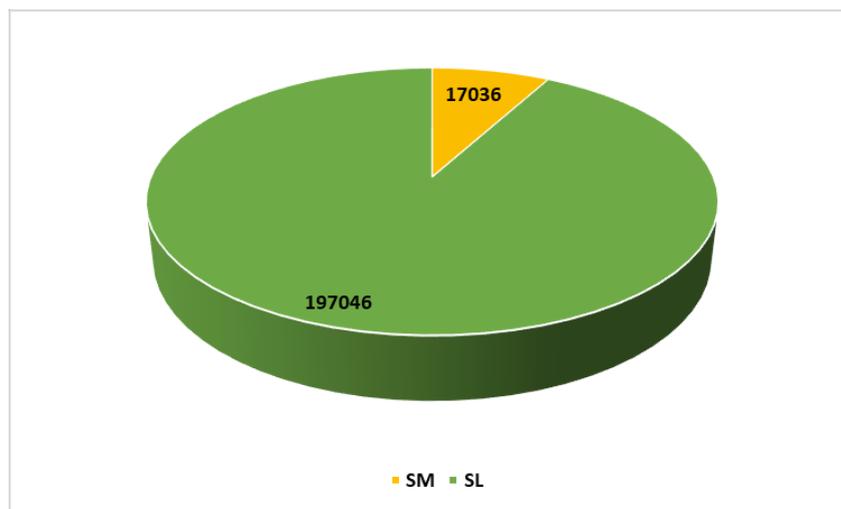
Berdasarkan penelitian sebelumnya, bakteri *genus* yang telah disebutkan sebelumnya, memanfaatkan *fluoranthene* dan naftalena sebagai salah satu sumber karbon dan energi dan memiliki dinding sel yang unik karena kaya akan asam mikolat sehingga dapat melekat dengan kuat pada senyawa hidrofobik (Dushyant *et al.*, 2018). *Genus* jenis ini memiliki enzim hidrolisis serta komponen pelengkap seperti pilin, glikokaliks, selulosom dan pengikat karbohidrat, yang kemudian terlibat dalam perlekatan bakteri (Christopherson *et al.*, 2014). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dikarenakan hal tersebut maka akan terjadi perubahan fisik pada mikroplastik polimer akibat reaksi kimia yang mencakup pemutusan ikatan dalam rantai ikatan makromolekul.

#### **4.3.3 Identifikasi Karakteristik Mikroplastik**

Dalam penelitian ini, juga dilakukan identifikasi karakteristik mikroplastik di mana pengujian dilakukan untuk mengetahui kelimpahan, jenis dan warna yang ada di wilayah lokasi penelitian bioremediasi mikroplastik. Keberadaan dan kelimpahan mikroplastik dengan warna dan jenis yang berbeda-beda dapat membuktikan adanya proses degradasi di lokasi penelitian yang salah satunya disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme. Hasil mikroplastik didapatkan dari sedimen Muara Sungai Progo dan sedimen Laguna di Pantai Trisik yang terbentuk secara alami dari luapan muara Sungai Progo.

#### 4.3.3.1 Jumlah dan Kelimpahan Mikroplastik

Berdasarkan hasil pengujian, jumlah dan kelimpahan mikroplastik antara sedimen muara dan sedimen laguna memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hasil dapat dilihat pada grafik sebagai berikut.



**Gambar 4. 12** Grafik Jumlah Mikroplastik Teridentifikasi Pada Sampel Sedimen Laguna dan Sedimen Muara

Berdasarkan hasil pada grafik, partikel mikroplastik paling banyak berasal dari sedimen laguna sebanyak 197046 partikel dengan persentase 92.04%, kemudian terbanyak kedua berasal dari dan paling sedikit adalah sedimen muara dengan jumlah 17036 partikel mikroplastik dengan persentase 7.96%. Perbedaan kelimpahan mikroplastik dapat dihubungkan dengan ketersediaan organisme yang hidup di lingkungan, densitas mikroplastik, perilaku mikroplastik, karakteristik lokasi pengambilan sampel, aktivitas manusia dan lain sebagainya.

Dengan adanya hal tersebut maka akan terus-menerus meningkatkan jumlah partikel mikroplastik yang ada di lingkungan sehingga terjadi perbedaan jumlah mikroplastik antara sedimen dan air. Di sekitar Sungai Progo terdapat wilayah persawahan, tambak, pemukiman, tempat pemancingan, tempat wisata, fasilitas umum, pabrik penyamakan kulit, pabrik obat kimia, industri pengolahan pangan, industri bahan bangunan, industri logam, industri kerajinan, industri kecil kosmetika dan lainnya berdasarkan data dari DLH Kulon Progo dan Kota Yogyakarta.

Ketika sampah plastik masuk ke dalam badan air, sampah tersebut akan terfragmentasi menjadi mikroplastik yang kemudian akan terdistribusi di permukaan air hingga terbawa ke laut lepas. Pada dasarnya, densitas mikroplastik lebih rendah daripada air, tetapi kepadatan mikroplastik dapat menjadi lebih tinggi daripada air ketika terjadi *biofouling* di mana terjadi perlekatan dan akumulasi oleh mikroorganisme. Hal ini membuktikan bahwa degradasi mikroplastik dapat terjadi secara alami di alam lepas karena ketika terjadi perlekatan mikroorganisme pada mikroplastik *biofilm* akan terbentuk dan membuat mikroplastik bersifat hidrofilik (Zhang, 2021).

Kemudian mikroplastik yang lebih ringan dan memiliki densitas yang lebih rendah akan terakumulasi di dasar. Hal ini menyebabkan mikroplastik akan menumpuk, tenggelam dan mengendap dalam sedimen kemudian memiliki jumlah yang lebih besar daripada mikroplastik di air permukaan. Proses ini juga dibantu oleh kondisi gelombang, arus aliran, kedalaman laut, suhu dan iklim (Zhang, 2021).

Jika dibandingkan faktor-faktor penyebab perbedaan jumlah mikroplastik dengan kondisi pada saat pengambilan sampel berlangsung, kondisi gelombang di pesisir pantai cukup tinggi sekitar 3-5 m dengan curah hujan rendah sehingga terjadi peningkatan ketinggian gelombang laut di pesisir laut. Hal ini menyebabkan mikroplastik yang ada di sedimen muara cukup kecil. Dikarenakan adanya proses pengadukan oleh gelombang air.

Sedimen laguna memiliki jumlah yang sangat besar dikarenakan pada laguna tidak terdapat gelombang dan arus air sehingga cenderung lebih tenang. Di sekitar laguna terdapat banyak sekali sampah plastik dan *styrofoam*. Air dari laguna juga berwarna hitam dengan bau yang tidak sedap dikarenakan laguna merupakan tempat pembuangan akhir dari saluran pembuangan tambak ikan nila yang ada di sekitar laguna. Oleh karena itu, terjadi penumpukan mikroplastik yang besar dan jumlah keberagaman bakteri pada sedimen laguna juga lebih besar karena mikroplastik dapat mengalami fragmentasi oleh keberadaan bakteri.

#### **4.3.3.2 Jenis dan Warna Mikroplastik**

Jenis mikroplastik diidentifikasi berdasarkan *National Oceanic and*

*Atmospheric Administration (NOAA)* yang terbagi menjadi *pellet*, *fragment*, *fibre*, *film* dan *foam*. Kemudian untuk warna mikroplastik terbagi menjadi warna hitam, merah, biru, kuning, hijau, *multicolours*, coklat dan lain sebagainya.

**Tabel 4. 8** Jumlah Keseluruhan Mikroplastik Berdasarkan Jenis dan Warna

Sedimen Muara											
Jenis MPS	Warna										Total
	Black	Blue	Transparent	Red	Green	Brown	Purple	Multicolours	Others	Description	
<i>Pellet</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
<i>Fragment</i>	11800	0	334	4282	0	15	0	0	0	-	16431
<i>Fibre/Filament</i>	9	2	111	8	0	0	0	0	0	-	130
<i>Film</i>	34	0	426	15	0	0	0	0	0	-	475
<i>Foam</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Total	11843	2	871	4305	0	15	0	0	0	-	17036
Sedimen Laguna											
Jenis MPS	Warna										Total
	Black	Blue	Transparent	Red	Green	Brown	Purple	Multicolours	Others	Description	
<i>Pellet</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
<i>Fragment</i>	141250	3	536	36479	1	12271	0	0	0	-	190540
<i>Fibre/Filament</i>	30	1	130	10	0	3	0	0	0	-	174
<i>Film</i>	1172	0	264	3825	0	1070	0	0	0	-	6331
<i>Foam</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1
Total	142453	4	930	40314	1	13344	0	0	0	-	197046

Berdasarkan gambar tabel 4.8 dapat terlihat jumlah keseluruhan mikroplastik berdasarkan jenis pada sampel sedimen laguna dan sedimen muara. Pada jenis *pellet* tidak ditemukan pada kedua sampel sedimen, kemudian pada jenis *fragment* paling banyak ditemukan di sedimen laguna dengan jumlah 190540 partikel dan di sedimen muara dengan 16431 partikel. Pada jenis *fibre* paling banyak ditemukan di di sedimen laguna dengan 174 partikel sedimen muara dengan 130 partikel.

Pada jenis mikroplastik *film* paling banyak ditemukan di sedimen laguna dengan 6331 partikel dan sedimen muara dengan 475 partikel. Terakhir, pada jenis *foam* hanya ditemukan sedikit dengan sedimen laguna 1 partikel dan pada sedimen muara tidak ada ditemukan sama sekali jenis *foam*. Dari semua jenis didapatkan jenis *fragment*, *film* dan *fibre* merupakan jenis mikroplastik yang paling banyak ditemukan.

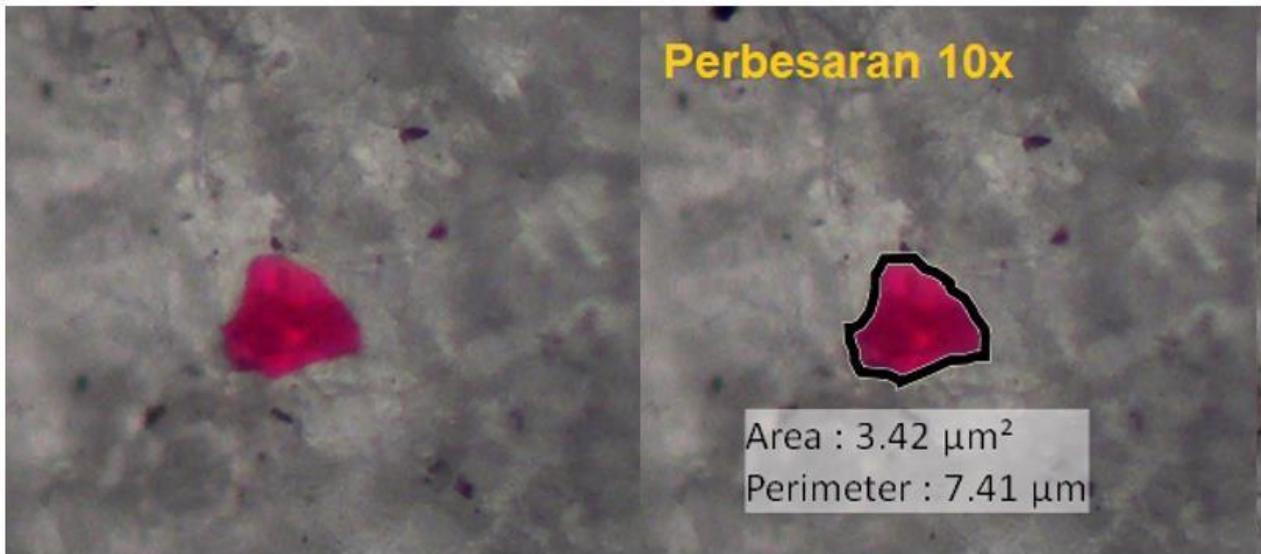
Baik pada sedimen laguna dan muara didominasi oleh jenis mikroplastik

*fragment* dengan masing-masing sebesar 96.45% dan 96.70%. Kemudian pada sedimen laguna persentase terbesar kedua adalah *film* dengan 3.21%, kemudian *fibre* dengan 0.09%, *foam* sebesar 0.001% dan *pellet* sebesar 0.00%. Sedangkan pada sedimen muara persentase terbesar kedua adalah *film* dengan 2.79%, *fibre* dengan 0.76% dan *foam* serta *pellet* dengan persentase sebesar 0.00%.

Mikroplastik memiliki warna yang bermacam-macam seperti warna hitam, biru, transparan, merah, hijau, coklat, *multicolours* dan lainnya. Setiap sampel memiliki variasi jumlah mikroplastik dengan warna yang berbeda. Pada semua jenis sampel didominasi oleh warna hitam dengan masing-masing jumlah sedimen muara sebanyak 11843 partikel dan sedimen laguna sebanyak 142453 partikel. Warna kedua yang mendominasi adalah warna merah dengan masing-masing jumlah sedimen muara sebanyak 4305 partikel dan sedimen laguna sebanyak 40314 partikel.

Kemudian warna ketiga yang mendominasi adalah warna transparan dengan sedimen muara sebanyak 871 partikel dan sedimen laguna sebanyak 930 partikel. Partikel mikroplastik yang berwarna coklat didominasi pada sampel sedimen laguna sebanyak 13344 partikel. Sementara untuk warna lainnya hanya ditemukan sedikit jika dibandingkan dengan warna hitam, merah dan transparan.

Berdasarkan dari hasil mikroskop dengan menggunakan perbesaran 4x dan 10x ditemukan jenis mikroplastik dengan variasi warna yang berbeda yang dapat dilihat pada gambar 4.13-4.16.



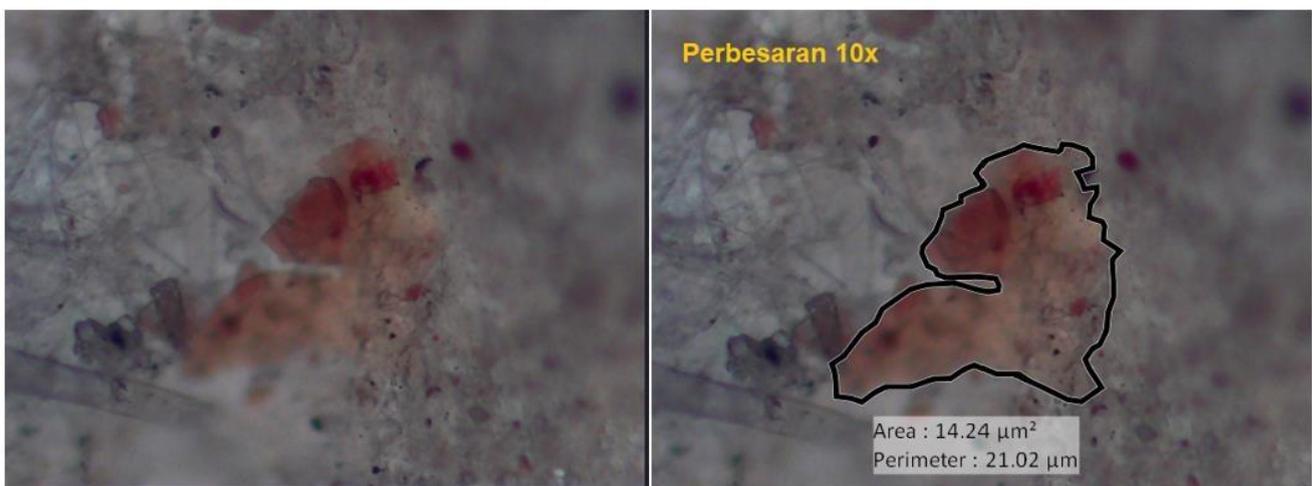
**Gambar 4. 13** Mikroplastik Jenis *Fragment*  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

*Fragment* adalah mikroplastik yang terbentuk akibat adanya serpihan plastik yang lebih besar kemudian terfragmentasi sehingga menyebabkan ukuran plastik menjadi lebih kecil dan biasa disebut mikroplastik. Fragmentasi dapat disebabkan oleh pengaruh lingkungan seperti gelombang air, sinar *UV* dan adanya aktivitas dari makhluk hidup yang mungkin memakan plastik-plastik tersebut. Dengan banyaknya sampah plastik yang ditemukan di dekat area pengambilan sampel dan ditambah dengan kondisi di mana lokasi berdekatan dengan laut yang menjadi akhir dari aliran air, maka mikroplastik jenis *fragment* paling banyak ditemukan.



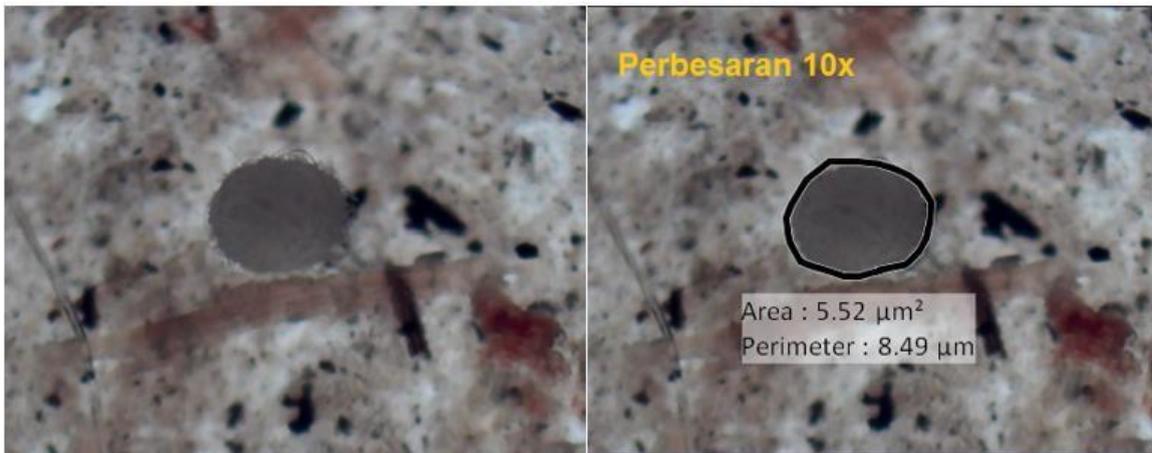
**Gambar 4. 14** Mikroplastik Jenis *Fibre/Filament*  
 Sumber : Dokumentasi Pribadi

Mikroplastik jenis *fibre/filament* merupakan jenis yang memiliki satuan panjang. Mikroplastik jenis ini biasanya sampah yang di dalamnya mengandung serat seperti tali, kain, jaring ikan akibat aktivitas perikanan, karung plastik dan lain sebagainya. Berdasarkan observasi langsung banyak ditemukan sampah karung dan kain di sekitar lokasi pengambilan sampel, sehingga mikroplastik jenis ini cukup banyak ditemukan.



**Gambar 4. 15** Mikroplastik Jenis *Film*  
 Sumber : Dokumentasi Pribadi

Mikroplastik jenis *film* kebanyakan berasal dari sampah kantong plastik atau plastik kemasan dengan densitas yang sangat rendah. Mikroplastik jenis *film* hampir sama dengan *fragment* tetapi tidak memiliki volume dan sangat tipis, cenderung seperti lembaran. *Film* cukup banyak ditemukan dikarenakan cukup banyak ditemukan sampah plastik kemasan yang ada di lokasi pengambilan sampel.



**Gambar 4. 16** Mikroplastik Jenis *Foam*

Mikroplastik jenis *foam* berasal dari jenis plastik *styrofoam* yang termasuk ke dalam jenis polimer plastik *polystyrene (PS)*. Dalam pengaplikasiannya, *styrofoam* banyak ditemukan sebagai bahan kemasan, wadah makanan, cangkir kopi dan lain sebagainya. Dari sampah ini kemudian terpecah menjadi potongan-potongan yang lebih kecil.

Warna pada mikroplastik yang berbeda dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti warna asal plastik yang berbeda dikarenakan tujuan pembuatan yang berbeda, terjadinya *photoaging*, perbedaan panjang gelombang penyerapan dan lain sebagainya. Warna plastik dapat memainkan peran dalam proses *photoaging* pada plastik, pembentukan mikroplastik, proses kolonisasi bakteri pada proses degradasi dan efek lingkungan terhadap mikroplastik (Zhao *et al.*, 2022).

Pengaruh warna berbeda dapat mempengaruhi *photoaging* plastik dengan mempengaruhi absorbansi matahari dan transmisi sinar *UV*. Pigmen merah dan kuning ketika memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dapat menyerap cahaya dengan panjang gelombang pendek dan energi yang tinggi. Kemudian pada pigmen biru dapat menyerap cahaya dengan memiliki panjang gelombang yang

panjang dan energi yang lebih rendah. Dapat disimpulkan, sinar *UV* memiliki panjang gelombang terpendek ketika jauh dari spektrum warna merah dan pigmen warna merah lebih mudah menyerap sinar *UV* karena memiliki panjang gelombang terpanjang (Zhao *et al.*, 2022).

Maka semakin panjang gelombangnya, semakin kuat absorbansi cahaya, kemudian semakin rendah transmitansi sinar *UV* dan dengan demikian semakin rendah tingkat *photoaging* yang terjadi. Dikarenakan warna merah lebih efektif dalam menyerap sinar *UV* menjadi alasan warna merah lebih sering memiliki ukuran yang lebih besar daripada warna biru. Hal ini juga menjadi alasan mengapa lebih banyak ditemukan warna hitam dikarenakan semakin gelap warna maka semakin kuat daya serap cahayanya (Zhao *et al.*, 2022).

Karena terdapat proses *photoaging* akan menyebabkan perubahan warna terutama pada tingkat kecerahan, semakin cerah warna dapat menjadi indikator umur plastik berdasarkan waktu paparan partikel mikroplastik. Biasanya warna akan berubah menjadi putih hingga transparan kemudian akan mulai menguning karena proses pelapukan. Hal ini dapat menjadi bukti mengenai alasan banyak ditemukan mikroplastik berwarna transparan, kemungkinan mikroplastik tersebut sudah cukup lama berada di lingkungan (Zhao *et al.*, 2022).

Warna dapat mempengaruhi kolonisasi mikroorganisme pada mikroplastik, proses adsorpsi, pelepasan dan degradasi mikroplastik. Warna yang dapat mempengaruhi penyerapan sinar *UV* juga dapat meningkatkan struktur komunitas dan keragaman fungsional mikroorganisme yang melekat pada mikroplastik. Berdasarkan studi yang dilakukan, *biofilm* yang mengolonisasi mikroplastik berwarna biru memiliki keragaman lebih tinggi daripada warna transparan dan kuning karena perbedaan kandungan cahaya dari pigmen mikroplastik. Oleh karena itu, terdapat kemungkinan jenis mikroplastik dengan tingkat kecerahan lebih rendah akan lebih mudah terbentuk *biofilm* dan lebih memungkinkan terjadinya degradasi mikroplastik (Zhao *et al.*, 2022).

Warna juga dapat mempengaruhi perilaku makhluk hidup, dikarenakan mereka dapat memangsa/memakan/mengonsumsi mikroplastik akibat memiliki warna yang sama dengan mangsa atau sumber makanannya. Konsumsi

mikroplastik karena kemiripan bentuk makanannya sering terjadi pada invertebrata pelagis karena merupakan pemangsa visual (Auta, 2018).

#### 4.3 Penerapan Hasil Penelitian Di Bidang Teknik Lingkungan

Berdasarkan hasil penelitian, perlu dilakukan pengaplikasian lanjutan dengan memanfaatkan teknologi yang sudah ada dan dikombinasikan dengan bakteri *indigenous* yang telah diidentifikasi dalam penelitian ini dan memiliki potensi dalam mendegradasi mikroplastik. Aplikasi teknologi ini tidak dilakukan langsung di lokasi dimana sampel penelitian ini diambil, tetapi diaplikasikan pada lokasi sumber pencemar mikroplastik. Sumber pencemar mikroplastik berasal dari tambak ikan nila, persawahan, pemukiman, IPAL, industri skala besar dan kecil, pertanian, fasilitas umum dan lain sebagainya berdasarkan hasil observasi langsung.

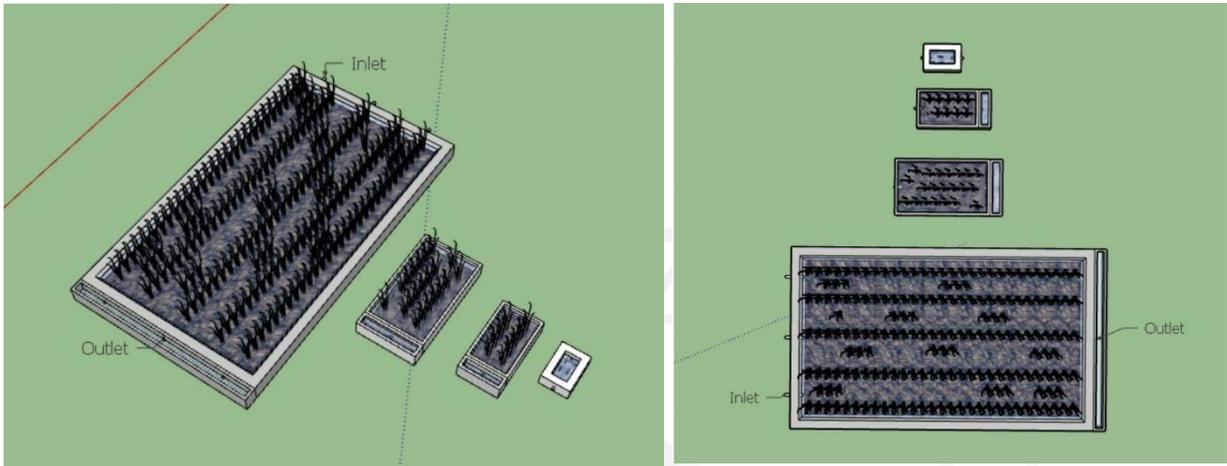
Pada dasarnya, mikroplastik pada sedimen berasal dari limbah yang kemudian masuk kedalam sungai dan terbawa hingga menumpuk di sedimen muara. Oleh karena itu, untuk limbah cair sebelum dibuang ke dalam badan air dapat diolah menggunakan teknologi *Subsurface Flow Constructed Wetland*. Teknologi ini disarankan digunakan karena memiliki keunggulan perawatannya mudah dilakukan dan tidak memerlukan banyak peralatan mekanis, energi dan operator tambahan, biaya perancangan, pengoperasian dan pemeliharaan yang murah, pengoperasian dapat dilakukan sepanjang tahun, tidak menghasilkan *biosolid* atau lumpur yang memerlukan pengolahan dan pembuangan lanjutan, serta tidak akan adanya gangguan dari nyamuk atau vektor lainnya (Weerakoon, *et al.*, 2021).

Dalam penelitian ini, diberikan contoh perencanaan pengolahan air limbah menggunakan teknologi *Subsurface Flow Constructed Wetland* yang merupakan pengolahan air limbah secara alamiah. Melalui tahapan desain dimana *wetland* dibuat dengan memperhatikan mekanisme fisik, kimia dan biologis. *Subsurface Flow Constructed Wetland* dirancang untuk memanfaatkan proses alami yang berguna dan mengoptimalkan kualitas air limbah. Teknologi ini dapat diaplikasikan pada air limbah domestik, pertanian, industri, perikanan hingga *run-off* dan dalam skala rumah kaca, sehingga dapat digunakan pada berbagai macam sumber

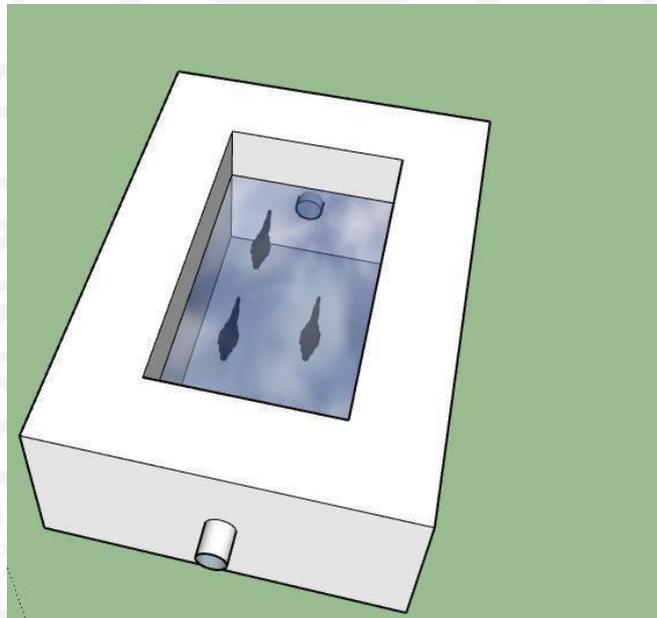
pencemar mikroplastik baik dari industri besar atau perumahan, IPAL, aktivitas perikanan, pertanian dan lain sebagainya.

Tanaman harus diaklimatisasi terlebih dahulu dengan tujuan mengadaptasi tanaman pada media dan lingkungan dan memaksimalkan akar tanaman sebagai pengimplementasian air limbah mengandung mikroplastik (Sa'adah, 2020). Bakteri diinokulasikan ke dalam *bed reactor* dalam jumlah besar dari bakteri yang telah dipreparasi dengan media *Lactose Broth* dan aquadest steril, kemudian dihomogenkan dan disentrifugasi. Endapan yang didapatkan diberi NaCl dan digunakan bakteri dengan nilai OD >0.6 A (Shehzadi, *et al.*, 2015). Jumlah suspensi bakteri yang perlu diinokulasikan dapat disesuaikan dengan kebutuhan, dengan 1 Liter limbah diperlukan 50 mL suspensi bakteri (Maharani, 2021).

Jenis tanaman yang dapat digunakan adalah jenis Canna Lily dengan jarak 10-20 cm dan *bed subsurface* terdiri dari *gravel*, *roots beds*, dan *water surface* dengan kedalaman *bed* 0.4-0.6 m. Berikut adalah gambar bak teknologi, mengikuti acuan buku *Natural Wastewater Treatment Systems* dengan bak dibuat sebanyak 3 buah dan *safety area* sebesar 20% untuk memaksimalkan degradasi dan pengurangan polutan pada mikroplastik. Desain ini juga disesuaikan dengan sistem *wetland* skala menengah sampai besar pada umumnya. Sehingga, teknologi ini juga dapat digunakan untuk pengolahan air limbah untuk menurunkan kadar BOD, TSS, Nitrat dan lain sebagainya (Ronald, 2006).



**Gambar 4. 17** Bak Pengolahan Teknologi *Subsurface Flow Constructed Wetland*  
*Sumber : Dokumentasi Pribadi*



**Gambar 4. 18** Bak Kolam Indikator  
*Sumber : Dokumentasi Pribadi*

Kemudian di akhir pengolahan terdapat kolam indikator dimana pengukuran kualitas air limbah diambil dari air kolam. Berdasarkan penelitian sebelumnya di tahun 2021 mengenai hubungan terjadinya degradasi mikroplastik dengan penurunan sifat fisikokimia pada air limbah. Sehingga, ketika air hasil pengolahan sudah sesuai baku mutu dan terdapat peningkatan kualitas air berdasar

parameter tersebut, air hasil pengolahan dapat dibuang ke badan air seperti Sungai Progo.

Perlu diperhatikan, teknologi ini akan mengendapkan mikroplastik yang akan diuraikan dengan bakteri. Jika bakteri yang digunakan merupakan *aerobic* maka dapat ditambahkan *upflow aerator* untuk aerasi supaya bakteri dapat hidup, kemudian bakteri dapat menempel pada lapisan paling atas yaitu *gravel* di *wetland*. Sehingga dapat terjadi pengendapan di *wetland* dan ketika endapan penuh, sedimen dapat diambil dan proses degradasi berhenti (Ronald, 2021).

Lumpur sedimen hasil dari proses *wetland* dapat dimanfaatkan dalam pembuatan *paving block*. Lumpur sedimen masih akan bercampur dengan sebagian kecil mikroplastik yang mengendap dan belum terdegradasi secara sempurna. Saat ini sudah banyak pemanfaatan lumpur hasil pengolahan air limbah yang dimanfaatkan lebih lanjut dengan penelitian limbah plastik yang dibuat menjadi *paving block*. Lumpur hasil pengolahan *wetland* masih memiliki kemungkinan mengandung mikroplastik sehingga dapat dibuat *paving block* dengan campuran pasir, lumpur dan semen (Muchtar, *et al*, 2021).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan suatu simpulan dan saran sebagai berikut.

#### 5.1 Kesimpulan

1. Sebanyak 26 bakteri dari sedimen laguna dan 11 bakteri dari sedimen muara dengan karakteristik morfologi yang berbeda diisolasi dari sampel. Dengan morfologi dominan pada sedimen laguna adalah isolat dengan kode SL17 dengan jumlah 98 koloni bakteri yang berwarna putih susu dan memiliki morfologi *circular, convex, entire*. Kemudian isolat kode SL5 yang memiliki jumlah koloni bakteri sebanyak 87 koloni, berwarna putih bening dengan morfologi *circular, convex* dan *entire*. Terakhir, bakteri dominan adalah isolat dengan kode SL19 yaitu sebanyak 52 koloni bakteri yang memiliki warna putih susu dengan morfologi *spindle, flat* dan *entire*. Selanjutnya untuk bakteri dominan pada sedimen muara yang pertama adalah isolat dengan kode SM1 sebanyak 56 koloni bakteri yang berwarna putih susu dengan morfologi bakteri *circular, convex* dan *entire*. Kemudian isolat bakteri dengan kode SM2 yang memiliki jumlah 41 koloni bakteri, berwarna putih susu dan morfologi bakterinya adalah *circular, flat*, dan *entire*. Terakhir, adalah isolat bakteri dengan kode SM3, berjumlah 37 koloni bakteri yang berwarna kuning dengan morfologi *spindle, flat* dan *entire*. Pewarnaan gram hanya dilakukan pada 14 isolat bakteri yang akan di uji kemampuan degradasi mikroplastiknya. Jenis morfologi sel terdiri dari bentuk *coccus* dan *bacillus* dengan jenis gram positif (+) dan negatif (-)
2. Dalam pengujian degradasi pada mikroplastik dilakukan dengan terbentuknya *clear zone* dalam tahap inkubasi yang dilakukan selama 20 hari, bakteri yang memiliki tingkat degradasi tercepat untuk masing-masing polimer plastik dapat terlihat pada peningkatan diameter dan luas area dari

*clear zone* yang terbentuk. Untuk polimer *PE*, isolat bakteri SL3, SL11, SL11(2), SM1 dan SM10(2) memiliki diameter lebih  $\geq 2.5$  mm di mana diameter *clear zone* paling besar adalah SM1 dengan diameter  $\pm 7.48$  mm. Kemudian untuk polimer *PP* *clear zone* paling besar adalah SL4(2) dengan diameter  $\pm 6.75$  mm. Selanjutnya untuk polimer plastik *PS* diameter terbesar berasal dari isolat SM1 dengan diameter  $\pm 15.30$  mm. Terakhir, pada polimer plastik *PET* diameter terluas berasal dari isolat SL4(2) dengan diameter  $\pm 10.19$  mm. Dari semua hasil pengujian di atas, bakteri dengan kemampuan terbaik adalah SL4(2) dan terdapat 7 jenis bakteri yang dapat mendegradasi mikroplastik yaitu *Ruminococcus*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Enterobacter*, *Staphylococcus*, *Bacillus* dan *Citrobacter*.

3. Dari penemuan potensi bakteri dalam mendegradasi mikroplastik dapat dikorelasikan dengan kelimpahan mikroplastik di lokasi penelitian di mana mikroplastik paling banyak ditemukan di sedimen laguna sebanyak 197046 partikel dan sedimen muara dengan jumlah 17036 partikel mikroplastik. Jenis yang paling banyak ditemukan adalah jenis *fragment*, *film* dan *fibre* dan untuk warna pada mikroplastik juga bervariasi dengan dominasi warna hitam, merah, transparan dan coklat (pada sedimen laguna).

## 5.2 Saran

Saat ini pencemaran mikroplastik menjadi cukup serius ditambah lagi kadar pencemar mikroplastik belum masuk ke dalam baku mutu. Dapat dilihat dalam penelitian ini pencemaran mikroplastik dapat diatasi menggunakan metode *eco-friendly* dengan memanfaatkan bakteri khusus. Untuk penelitian selanjutnya disarankan dalam pengujian dilakukan secara lebih steril. Dengan belum banyaknya penelitian ini dilakukan lebih baik pengujian dilakukan secara lebih teliti dengan metode pengujian yang telah matang. Pada identifikasi karakteristik bakteri dapat ditambah pengujian karakteristik sel seperti motilitas dan sifat biokimia bakteri agar bakteri dapat diidentifikasi lebih mudah. Pada pengujian menggunakan zat *congo red*, inokulum dapat dibilas menggunakan NaCl sehingga *clear zone* dapat

terlihat lebih jelas dan inkubasi dapat dilakukan lebih lama. Apabila memungkinkan analisis kemampuan degradasi dapat dilakukan dengan instrumen *FTIR*. Kemudian pada identifikasi mikroplastik dapat ditambahkan pengujian dengan menggunakan instrumen *FTIR* sehingga dapat diketahui gugus fungsi kimia yang terdapat pada hasil mikroplastik.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan.”*



## DAFTAR PUSTAKA

- Alfisyahr, F. A. N. (2021). Studi Kemampuan Bakteri *Arthrobacter Chlorophenolicus* Sebagai Agen Bioremediasi Limbah Chromium (Vi).
- Amijaya, D.H. (2001). *Analisis neraca sedimentasi di pantai muara sungai Progo Yogyakarta dan penggunaannya sebagai bahan pertimbangan penataan wilayah pesisir* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Amin, B., Galib, M., & Setiawan, F. (2020). Preliminary investigation on the type and distribution of microplastics in the West Coast of Karimun Besar Island. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 430, No. 1, p. 012011). IOP Publishing.
- Anggiani, M. (2020). Potensi Mikroorganisme Sebagai Agen Bioremediasi Mikroplastik di Laut. *OSEANA*, 45(2), 40-49.
- Arora, P. K. (2020). Bacilli-mediated degradation of xenobiotic compounds and heavy metals. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 570307.
- Arpia, A. A., Chen, W. H., Ubando, A. T., Naqvi, S. R., & Culaba, A. B. (2021). Microplastic degradation as a sustainable concurrent approach for producing biofuel and obliterating hazardous environmental effects: a state-of-the-art review. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126381.
- Auta, H. S., Abioye, O. P., Aransiola, S. A., Bala, J. D., Chukwuemeka, V.I., Hassan, A., Aziz, A., & Fauziah, S. H. (2022). Enhanced microbial degradation of PET and PS microplastics under natural conditions in mangrove environment. *Journal of Environmental Management*, 304, 114273.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., Jayanthi, B., & Fauziah, S. H. (2018). Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodococcus* sp. isolated from mangrove sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 15–21.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165-176.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., Fauziah, S. H. (2017). Screening for polypropylene

- degradation potential of bacteria isolated from mangrove ecosystems in Peninsular Malaysia. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 7 (4). 245-251.
- Auta, H.S., Emenike, C.U. and Fauziah, S.H. (2017). Screening of Bacillus strains isolated from mangrove ecosystems in Peninsular Malaysia for microplastic degradation. *Environmental Pollution*, 231, pp.1552- 1559.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., Fauziah, S. H. (2017). Screening for polypropylene degradation potential of bacteria isolated from mangrove ecosystems in Peninsular Malaysia. International Conference on Chemical and Biological Sciences (ICCBS 2017). March 13-15, 2017, J. Heyrovský Institute of Physical Chemistry of the CAS Prague, Czech Republic.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., Fauziah, S. H. (2016). Screening for Microplastic Degradation Potential of Bacteria Isolated from Mangrove Ecosystems in Peninsular Malaysia. 21st Biological Sciences Graduate Congress (BSGC). 15th - 16th December 2016, Research Management & Innovation Complex (RMIC), IPPP, University of Malaya, Malaysia.
- Ayuningtyas, W.C., Yona, D., Julinda, S.H. and Iranawati, F. (2019). Kelimpahan mikroplastik pada perairan di Banyuurip, Gresik, Jawa Timur. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 3(1), pp.41-45.
- Azizah, P., Ridlo, A. and Suryono, C.A. (2020). Mikroplastik pada Sedimendi Pantai Kartini Kabupaten Jepara Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 9(3), pp.326-332.
- Bao, Y., Zhao, X., Wang, L., Qian, W., & Sun, J. (2019). Morphology-based classification of mycobacteria-infected macrophages with convolutional neural network: reveal EsxA-induced morphologic changes indistinguishable by naked eyes. *Translational Research*, 212, 1-13.
- Cahyani, A. N. (2021). Analisis Bakteri Dominan Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Dengan Tingkat Resiko Sangat Tinggi Di Kabupaten Sleman.
- Christopherson, M. R., Dawson, J. A., Stevenson, D. M., Cunningham, A. C., Bramhacharya, S., Weimer, P. J., ... & Suen, G. (2014). Unique aspects of fiber degradation by the ruminal ethanologen *Ruminococcus albus* 7 revealed by

- physiological and transcriptomic analysis. *BMC genomics*, 15(1), 1-13.
- Cordova, M.R. (2017). Pencemaran Plastik Di Laut. *Oseana*, 42(3), pp.21-30.
- Cordova, M.R., Purwiyanto, A.I.S. and Suteja, Y. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in the northern coastal waters of Surabaya, Indonesia. *Marine pollution bulletin*, 142, pp.183-188.
- Cutroneo, L., Reboa, A., Besio, G., Borgogno, F., Canesi, L., Canuto, S., Dara, M., Enrile, F., Forioso, I., Greco, G., Lenoble, V., Malatesta, A., Mounier, S., Petrillo, M., Rovetta, R., Stocchino, A., Tesan, J., Vagge, G., & Capello, M. (2020). Microplastics in seawater: sampling strategies, laboratory methodologies, and identification techniques applied to port environment. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 9, pp. 8938–8952). Springer.
- Dudhagara, D. R., & Dave, B. P. (2018). Mycobacterium as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) degrader. *Mycobacterium-Research and Development*.
- Fauziah, S., Fariani, A., & Abrar, A. (2008). *Kemampuan Degradasi Tanin oleh Berbagai Jenis Cairan Rumen* (Doctoral dissertation, Sriwijaya University).
- Fibrian, N., Sunoko, H. R., & Izzati, M. (2014). Aplikasi Sistem Vertical dan Horizontal Sub Surface Flow Wetland dalam Pengolahan Kembali Effluent IPAL Perusahaan Obat dan Obat Tradisional. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 5(1), 29-36.
- Firdausia, R. Z. (2021). Perbandingan Dinding Sel pada Bakteri Gram Negatif, Gram Positif, dan Sel Tumbuhan. Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
- Furoida, Y. (2014). Identifikasi Warna Koloni Bakteri Anaerob Pada Gingival Crevicular Fluid Pasien Gingivitis dan Periodontitis Kronis (Identification of Anaerobic Bacteria Colonies Color In Gingival Crevicular Fluid Of Gingivitis and Chronic Periodontitis Patients).
- Hanif, K.H., Suprijanto, J. and Pratikto, I. (2021). Identifikasi Mikroplastik di Muara Sungai Kendal, Kabupaten Kendal. *Journal of Marine Research*, 10(1), pp.1-6.
- Helen Shnada, A. (2018). *Bioremediation of microplastic using microbes isolated from*

- mangrove sediments/Helen Shnada Auta* (Doctoral dissertation, University of Malaya).
- Huang, D., Li, X., Ouyang, Z., Zhao, X., Wu, R., Zhang, C., Lin, C., Li, Y., & Guo, X. (2021). The occurrence and abundance of microplastics in surface water and sediment of the West River downstream, in the south of China. *Science of the Total Environment*, 756.
- Javed, R., Ahmed, I., Khalid, N., & Iqbal, M. (2017). Isolation, molecular identification and characterization of boron-tolerant bacterial strains from sewage treatment pond of Islamabad, Pakistan. *Applied ecology and environmental research*, 15(4), 1211-1226.
- Joesidawati, M.I. (2018). Pencemaran mikroplastik di sepanjang pantai Kabupaten Tuban. *Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat* 3,(September), pp.7-15.
- Kanjilal, T., Bhattacharjee, C., & Datta, S. (2015). Bio-degradation of acetamiprid from wetland wastewater using indigenous *Micrococcus luteus* strain SC 1204: Optimization, evaluation of kinetic parameter and toxicity. *Journal of Water Process Engineering*, 6, 21-31.
- Kane, I.A., Clare, M.A., Miramontes, E., Wogelius, R., Rothwell, J.J., Garreau, P. and Pohl, F. (2020). Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation. *Science*, 368(6495), pp.1140- 1145.
- Kaur, K., Dattajirao, V., Shrivastava, V., & Bhardwaj, U. (2012). Isolation and characterization of chitosan-producing bacteria from beaches of Chennai, India. *Enzyme research*, 2012.
- Kaur, P., Singh, K., & Singh, B. (2022). Microplastics in soil: Impacts and microbial diversity and degradation. *Pedosphere*, 32(1), 49–60.
- Kesy, K., Labrenz, M., Scales, B. S., Kreikemeyer, B., & Oberbeckmann, S. (2020). *Vibrio* colonization is highly dynamic in early microplastic-associated biofilms as well as on field-collected microplastics. *Microorganisms*, 9(1), 76.
- Kim, S. J., Kweon, O., & Cerniglia, C. E. (2010). Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Mycobacterium* strains. *Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology*.

- La Reau, A. J., & Suen, G. (2018). The Ruminococci: key symbionts of the gut ecosystem. *Journal of microbiology*, 56(3), 199-208.
- Lathifah et al. (2020). Modul praktikum mikrobiologi. Teknik Lingkungan UII.
- Laverty, A. L., Primpke, S., Lorenz, C., Gerds, G., & Dobbs, F. C. (2020). Bacterial biofilms colonizing plastics in estuarine waters, with an emphasis on *Vibrio* spp. and their antibacterial resistance. *PloS one*, 15(8), e0237704.
- Lee, C. S., Jung, Y. T., Park, S., Oh, T. K., & Yoon, J. H. (2010). *Lysinibacillus xylanilyticus* sp. nov., a xylan-degrading bacterium isolated from forest humus. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 60(2), 281-286.
- Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., & Shi, H. (2016). Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environmental Pollution*, 214, 177–184.
- Li, Y., Peng, X., Zhou, X., Ren, B., Xiao, L., Li, Y., ... & Guo, Q. (2020). Basic biology of oral microbes. In *Atlas of Oral Microbiology: From Healthy Microflora to Disease* (pp. 1-24). Springer, Singapore.
- Maharani, K. (2021). Identifikasi Bakteri Indigeneous Untuk Meningkatkan Degradasi Cod Pada Pengolahan Limbah Tenun Menggunakan Sistem Floating Treatment Wetland (Ftw).
- Mahdiya, N., Finansia, C., Purnamaningsih, N., Rysmawaty, I., & Setyawaty, D. C. N. (2021). Pengolahan Limbah Cair Industri Dengan Metode Constructed Wetland Menggunakan Tanaman *Echinodorus Radicans* di Kota Yogyakarta. *Jurnal Jarlit*, 17(1).
- Mardiyana, M., & Kristiningsih, A. (2020). Dampak Pencemaran Mikroplastik di Ekosistem Laut terhadap Zooplankton : Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(1), 29–36.
- Marine Debris Program, N. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*.

- Martí, E., Martin, C., Galli, M., Echevarría, F., Duarte, C. M., & Cózar, A. (2020). The colors of the ocean plastics. *Environmental Science & Technology*, 54(11), 6594-6601.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments.
- Matsuoka, M., Park, S., An, S. Y., Miyahara, M., Kim, S. W., Kamino, K., ... & Shoun, H. (2012). *Advenella faeciporci* sp. nov., a nitrite-denitrifying bacterium isolated from nitrifying–denitrifying activated sludge collected from a laboratory-scale bioreactor treating piggery wastewater. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 62(Pt\_12), 2986-2990.
- Niu, L., Li, Y., Li, Y., Hu, Q., Wang, C., Hu, J., Zhang, W., Wang, L., Zhang, C. and Zhang, H., (2021). New insights into the vertical distribution and microbial degradation of microplastics in urban river sediments. *Water Research*, 188, p.116449.
- Nugrahaeni, L., Gunawan, T., & Suharyadi, S. Perkembangan dan Pemanfaatan Lahan Sedimen di Muara Daerah Aliran Sungai Prrogo Hilir Yogyakarta. *Jurnal Kemaritiman: Indonesian Journal of Maritime*, 1(1), 25-32.
- Octavianda, F. T., Asri, M. T., & Lisdiana, L. (2016). Potensi Isolat Bakteri Pendegradasi Plastik Jenis Polietilen Oxo-Degradable dari Tanah TPA Benowo Surabaya. *Lentera Bio*, 5(1), 32-35.
- Ogunola, O.S. and Palanisami, T. (2016). Microplastics in the marine environment: current status, assessment methodologies, impacts and solutions. *J Pollut Eff Cont*, 4(161), p.2.
- Oktavianti, R., Rozirwan, R. and Melki, M., (2020). *Identifikasi Dan Uji Kemampuan Bakteri Pendegradasi Limbah Mikroplastik di Muara Sungai Musi* (Doctoral dissertation, Sriwijaya university).
- Paramdeep, K.A.U.R., Singh, K. and Singh, B., (2021). Microplastics in soil: Impacts and microbial diversity and degradation. *PEDOSPHERE*, 32(1), pp.49-60.
- Pedrotti, M.L., Petit, S., Elineau, A., Bruzard, S., Crebassa, J.C., Dumontet, B., Martí,

- E., Gorsky, G. and Cózar, A., (2016). Changes in the floating plastic pollution of the Mediterranean Sea in relation to the distance to land. *PloS one*, *11*(8), p.e0161581.
- Pratiwi, W. M., & Asri, M. T. (2022). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Indigenous Pendegradasi Pestisida Profenofos dan Klorantraniliprol di Jombang Jawa Timur. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, *11*(2), 300-309.
- Priambodo, R. Y. (2022). Identifikasi Mikroplastik Di Perairan Laut Dan Pesisir Pantai Kabupaten Pacitan & Kabupaten Wonogiri.
- Oluniyi Solomon, O., & Palanisami, T. (2016). Microplastics in the Marine Environment: Current Status, Assessment Methodologies, Impacts and Solutions. *Journal of Pollution Effects & Control*, *04*(02).
- Pikoli, M. R., Rahmah, F. A., Sari, A. F., Astuti, P., & Solihat, N. A. (2021). *MEMANCING MIKROBA DARI SAMPAH: Isolasi Mikroorganisme Pendegradasi Mikroplastik: Isolasi Mikroorganisme Pendegradasi Mikroplastik dari Tempat Pembuangan (TPA) Sampah*. Buku Amal Jariyah & Kinzamedia.
- Prayoga, E. (2013). Perbandingan Efek Ekstrak Daun sirih hijau (*Piper betle* L.) dengan metode difusi disk dan sumuran terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*.
- Putri, A. L., & Kusdiyantini, E. (2018). Isolasi dan identifikasi bakteri asam laktat dari pangan fermentasi berbasis ikan (Inasua) yang diperjualbelikan di Maluku-Indonesia. *Jurnal Biologi Tropika*, *1*(2), 6-12.
- Qi, R., Jones, D. L., Li, Z., Liu, Q., & Yan, C. (2020). Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review. *Science of the Total Environment*, *703*, 134722.
- Ru, J., Huo, Y., & Yang, Y. (2020). Microbial degradation and valorization of plastic wastes. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 442.
- Roudlotus, S. (2021). *Isolasi dan identifikasi bakteri pendegradasi Low Density Polyethylene (LDPE) dari tempat pemrosesan akhir Supit Urang, Malang* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Sabdaningsih, A., Budiharjo, A., & Kusdiyantini, E. (2013). Isolasi dan karakterisasi

- morfologi koloni bakteri asosiasi alga merah (Rhodophyta) dari perairan Kutuh Bali. *Jurnal Akademika Biologi*, 2(2), 11-17.
- Sari, S. P., Kartikaningsih, H., Yanuar, A. T., & Kurniawan, A. (2022). Analysis of Microplastics in Water and Biofilm Matrices in Metro River, East Java, Indonesia. *The Journal of Experimental Life Science*, 12(1), 23-29.
- Sendo, M. L., Mantiri, F. R., & Rumondor, M. J. (2022). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Potensial Pendegradasi Oli Mesin Bekas Dari Beberapa Lokasi Bengkel di Kota Manado. *PHARMACON*, 11(1), 1222-1230.
- Seniati, S., Marbiah, M., & Irham, A. (2019). Pengukuran kepadatan bakteri *Vibrio harveyi* secara cepat dengan menggunakan spektrofotometer. *Agrokompleks*, 19(2), 12-19.
- Silhavy, T. J., Kahne, D., & Walker, S. (2010). The bacterial cell envelope. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 2(5), a000414.
- Sims, G. K., Sommers, L. E., & Konopka, A. (1986). Degradation of pyridine by *Micrococcus luteus* isolated from soil. *Applied and environmental microbiology*, 51(5), 963-968.
- Sinaga, K. (2021). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Penghasil Biosurfaktan Asal Limbah Cair Rumah Potong Hewan (Rph).
- Singh, G., Singh, A. K., & Bhatt, K. (2016). Biodegradation of polythenes by bacteria isolated from soil. *Int J Res Dev Pharm Life Sci*, 5(2), 2056-2062.
- Sriningsih, A., & Shovitri, M. (2016). Potensi isolat bakteri *Pseudomonas* sebagai pendegradasi plastik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2).
- Sulistyo, E. N., Rahmawati, S., Putri, R. A., Arya, N., & Eryan, Y. A. (2020). Identification of the existence and type of microplastic in code river fish, special region of Yogyakarta. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 85-91.
- Suphia Rahmawati, S. T. (2020). Identifikasi Keberadaan dan Bentuk Mikroplastik pada Sedimen dan Ikan di Sungai Code, DI Yogyakarta.
- Supriyati, D. (2009). *Stappia aggregata* G1 dan *Alteromonas* sp. G2 Bakteri Pendegradasi Phenantrene Yang Diisolasi Dari Lingkungan Laut. *Berita Biologi*, 9(6), 665-672.
- Syachbudi, R. R. (2020). Identifikasi Keberadaan dan Bentuk Mikroplastik pada Air

- dan Ikan di Sungai Code, DI Yogyakarta.
- Syakti, A. D., Hidayati, N. V., Jaya, Y. V., Siregar, S. H., Yude, R., Asia, L., ... & Doumenq, P. (2018). Simultaneous grading of microplastic size sampling in the Small Islands of Bintan water, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, *137*, 593-600.
- Syam, F. (2018). *Upaya Biodegradasi Limbah Plastik Berwarna (Gelombang Pendek) Dengan Penambahan Bakteri Pseudomonas Aeruginosa Dan Bacillus Thuringiensis* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar).
- Tamargo, A., Molinero, N., Reinoso, J. J., Alcolea-Rodriguez, V., Portela, R., Bañares, M. A., ... & Moreno-Arribas, M. (2022). PET microplastics affect human gut microbiota communities during simulated gastrointestinal digestion, first evidence of plausible polymer biodegradation during human digestion. *Scientific Reports*, *12*(1), 1-15.
- Tanaka, K., & Takada, H. (2016). Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Scientific reports*, *6*(1), 1-8.
- Titah, H. S., Pratikno, H., Moesriati, A., Imron, M. F., & Putera, R. I. (2018). Isolation and Screening of Diesel Degrading Bacteria from Ship Dismantling Facility at Tanjungjati, Madura, Indonesia. *Journal of Engineering & Technological Sciences*, *50*(1).
- Tripathi, N., & Sapra, A. (2020). Gram staining.
- van Teeseling, M. C., de Pedro, M. A., & Cava, F. (2017). Determinants of bacterial morphology: from fundamentals to possibilities for antimicrobial targeting. *Frontiers in microbiology*, 1264.
- Tawaffani, Q. (2017). *Bioremediasi Air Tercemar Limbah Deterjen Menggunakan Sedimen Sungai Dalam Bioreaktor* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).
- Tuan, T. V. P. P. S. Jenis-Jenis Bakteri Gram Positif Potensial Patogen Pada Ikan Bandeng (Chanos Chanos) di Tambak Desa Tanjung Rejo Paluh Putri Percut Sei tuan.
- Tuhuloula, A. (2011). *Bioremediasi Lahan Terkontaminasi Minyak Bumi Dengan*

- Menggunakan Bakteri Bacillus cereus Pada Slurry Bioreactor* (Doctoral dissertation, Thesis, Jurusan Teknik Kimia, ITS Surabaya).
- Viljakainen, V. R., & Hug, L. A. (2021). New approaches for the characterization of plastic-associated microbial communities and the discovery of plastic-degrading microorganisms and enzymes. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 19, 6191-6200.
- Widyananto, P. A., Muchlissin, S. I., Sabdono, A., Yulianto, B., Hamid, F. S., & Radjasa, O. K. (2021). Biodegradation of Polyethylene Microplastic using Culturable Coral-Associated Bacteria Isolated from Corals of Karimunjawa National Park. *Indonesian Journal of Marine Sciences/Ilmu Kelautan*, 26(4).
- Wang, S., Xu, M., Jin, B., Wünsch, U. J., Su, Y., & Zhang, Y. (2022). Electrochemical and microbiological response of exoelectrogenic biofilm to polyethylene microplastics in water. *Water Research*, 211, 118046.
- Wicaksono, B. A., & Dwinanti, S. H. (2019). *Pengendalian Populasi Bakteri Vibrio sp. Koloni Hijau Pada Pemeliharaan Udang Vaname (Litopenaeus vannamei) Dengan Menggunakan Ekstrak Daun Pepaya (Carica papaya L)* (Doctoral dissertation, Sriwijaya University).
- Widianarko, Y. B., & Hantoro, I. (2018). Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa.
- Widodo, S. A. (2014). Identifikasi bentuk sel bakteri anaerob berdasarkan warna koloni pada gingival crevicular fluid pasien gingivitis kronis dan periodontitis kronis.
- Yusnia, E. D., Gunam, I. B. W., & Antara, N. S. (2019). Isolasi Dan Skrining Bakteri Selulolitik Dari Beberapa Tanah Hutan Di Bali. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri ISSN*, 2503, 488X.
- Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J. K. H., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. In *Environmental Pollution* (Vol. 274). Elsevier Ltd.
- Zhao, X., Wang, J., Yee Leung, K. M., & Wu, F. (2022). Color: An Important but Overlooked Factor for Plastic Photoaging and Microplastic Formation. *Environmental Science & Technology*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN PERHITUNGAN

#### *Lampiran 1* Perhitungan Densitas Bakteri Pada Sedimen Laguna

1. Pengenceran  $10^{-4}$

$$\text{Kerapatan} \frac{\text{mikroba}}{\text{ml}} = 150 \times 10000 \left( \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right)$$

$$\text{Kerapatan} \frac{\text{mikroba}}{\text{ml}} = 1500000 \left( \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right)$$

2. Pengenceran  $10^{-5}$

$$\text{Kerapatan} \frac{\text{mikroba}}{\text{ml}} = 56,5 \times 10000 \left( \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right)$$

$$\text{Kerapatan} \frac{\text{mikroba}}{\text{ml}} = 5650000 \left( \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right)$$

Maka, densitas/kerapatan pada sedimen laguna adalah rerata dari kedua pengenceran yaitu 3575000 CFU/mL.

#### *Lampiran 2* Perhitungan Densitas Bakteri Pada Sedimen Muara

1. Pengenceran  $10^{-4}$

$$\text{Kerapatan} \frac{\text{mikroba}}{\text{ml}} = 77 \times 10000 \left( \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right)$$

$$\text{Kerapatan} \frac{\text{mikroba}}{\text{ml}} = 770000 \left( \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right)$$

2. Pengenceran  $10^{-5}$

$$\text{Kerapatan} \frac{\text{mikroba}}{\text{ml}} = 33 \times 10000 \left( \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right)$$

$$\text{Kerapatan} \frac{\text{mikroba}}{\text{ml}} = 3300000 \left( \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right)$$

Maka, densitas/kerapatan pada sedimen muara adalah rerata dari kedua pengenceran yaitu 2035000 CFU/mL.

## LAMPIRAN TABEL

**Lampiran 3** Morfologi Koloni Bakteri Pada Isolat Bakteri Sedimen Laguna Kode SL 10<sup>-4</sup> dan SL 10<sup>-5</sup>

Kode isolat bakteri	<i>Colour</i>	<i>Form</i>	<i>Elevation</i>	<i>Margin</i>	<i>Surface</i>	
SL 10 <sup>-4</sup>	Kuning	Spindle	Flat	Entire	Smooth	
	Putih susu	Filamentous	Flat	Filamentous	Rough	
	Putih susu	Rhizoid	Convex	Filamentous	Rough	
	Putih susu	Rhizoid	Flat	Filamentous	Rough	
	Putih susu	Filamentous	Flat	Filamentous	Smooth	
	Putih susu	Circular	Flat	Entire	Smooth	
	Kuning kemerahan	Spindle	Convex	Entire	Smooth	
	Putih bening	Circular	Convex	Entire	Smooth	
	Kuning	Circular	Convex	Entire	Smooth	
	Merah	Circular	Convex	Entire	Smooth	
SL 10 <sup>-4</sup> (2)	Putih susu	Rhizoid	Convex	Filamentous	Smooth	
	Putih susu	Circular	Flat	Erose	Smooth	
	Kuning	Irregular	Convex	Undulate	Smooth	
	Kuning	Filamentous	Flat	Filamentous	Rough	
	Putih susu	Spindle	Flat	Entire	Smooth	
Kode isolat bakteri	<i>Colour</i>	<i>Form</i>	<i>Elevation</i>	<i>Margin</i>	<i>Surface</i>	
SL 10 <sup>-5</sup>	Putih susu	Irregular	Flat	Entire	Smooth	
	Kuning	Rhizoid	Flat	Lobate	Rough	
	Kuning	Circular	Flat	Undulate	Smooth	
	Putih susu	Circular	Convex	Entire	Smooth	
	Putih susu	Filamentous	Flat	Filamentous	Rough	
	Cokelat kemerahan	Filamentous	Flat	Filamentous	Rough	
	Putih kecokelatan	Spindle	Flat	Entire	Smooth	
	Putih susu	Rhizoid	Flat	Filamentous	Smooth	
	SL 10 <sup>-5</sup> (2)	Kuning	Circular	Flat	Entire	Smooth
		Putih susu	Circular	Convex	Entire	Smooth
Putih susu		Spindle	Flat	Entire	Smooth	
Putih kehijauan		Rhizoid	Flat	Filamentous	Smooth	
Putih susu		Punctiform	Convex	Entire	Rough	
Putih kekuningan	Circular	Flat	Entire	Smooth		

**Lampiran 4** Jenis Morfologi Koloni Bakteri Pada Isolat Bakteri Sedimen Laguna Kode SL 10<sup>-6</sup> dan SL 10<sup>-7</sup>

Kode isolat bakteri	Colour	Form	Elevation	Margin	Surface	
SL 10 <sup>-6</sup>	Kuning	Circular	Flat	Entire	Smooth	
	Kuning Oranye	Circular	Convex	Entire	Smooth	
	Kuning	Circular	Flat	Erose	Smooth	
	Oranye	Rhizoid	Flat	Filamentous	Smooth	
	Putih susu	Irregular	Convex	Undulate	Smooth	
	Kuning	Irregular	Raised	Lobate	Smooth	
	Kuning	Irregular	Convex	Entire	Smooth	
	Putih bening	Circular	Flat	Erose	Smooth	
	Kuning	Irregular	Flat	Entire	Smooth	
	Kuning	Spindle	Flat	Entire	smooth	
	Kuning	Rhizoid	Flat	Filamentous	Smooth	
	Putih kemerahan	Spindle	Raised	Entire	Smooth	
SL 10 <sup>-6</sup> (2)	Putih susu	Spindle	Flat	Entire	Smooth	
	Putih kecokelatan	Circular	Raised	Entire	Smooth	
	Kuning muda	Spindle	Flat	Entire	Smooth	
	Putih	Irregular	Convex	Undulate	Smooth	
	Putih kekuningan	Circular	Flat	Entire	Smooth	
	Putih	Rhizoid	Flat	Filamentous	Smooth	
	Putih	Spindle	Flat	Entire	Smooth	
	Putih	Irregular	Convex	Undulate	Smooth	
	Putih	Circular	Convex	Entire	Smooth	
Putih kekuningan	Irregular	Flat	Lobate	Smooth		
Kode isolat bakteri	Colour	Form	Elevation	Margin	Surface	
SL 10 <sup>-7</sup>	Putih susu	Rhizoid	Flat	Curled	Smooth	
	Putih susu	Irregular	Flat	Undulate	Smooth	
	Putih susu	Circular	Convex	Entire	Smooth	
	Putih susu	Irregular	Convex	Undulate	Smooth	
	Putih susu	Irregular	Convex	Undulate	Smooth	
	Putih susu	Irregular	Convex	Undulate	Smooth	
	SL 10 <sup>-7</sup> (2)	Putih susu	Irregular	Raised	Lobate	Smooth
		Putih susu	Rhizoid	Flat	Lobate	Smooth
		Kuning	Irregular	Convex	Undulate	Smooth
Putih susu		Irregular	Flat	Undulate	Smooth	
Putih susu		Rhizoid	Flat	Filamentous	Smooth	

**Lampiran 5** Jenis Morfologi Koloni Bakteri Pada Isolat Bakteri Sedimen Muara Kode SM 10<sup>-4</sup> dan SM 10<sup>-5</sup>

Kode isolat bakteri	<i>Colour</i>	<i>Form</i>	<i>Elevation</i>	<i>Margin</i>	<i>Surface</i>
SM 10 <sup>-4</sup>	Putih susu	Circular	Convex	Entire	Smooth
	Putih susu	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Kuning	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Putih susu	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Putih susu	Circular	Convex	Entire	Smooth
SM 10 <sup>-4</sup> (2)	Kuning	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Kuning	Irregular	Convex	Undulate	Smooth
	Merah kekuningan	Circular	Convex	Entire	Smooth
	Kuning jingga	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Kuning	Punctiform	Flat	Entire	Rough
	Putih susu	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Kuning	Spindle	Flat	Entire	Smooth
Putih susu	Circular	Flat	Entire	Smooth	
Kode isolat bakteri	<i>Colour</i>	<i>Form</i>	<i>Elevation</i>	<i>Margin</i>	<i>Surface</i>
SM 10 <sup>-5</sup>	Putih susu	Circular	Flat	Undulate	Smooth
	Kuning jingga	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Kuning jingga	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Putih susu	Irregular	Convex	Lobate	Smooth
	Putih susu	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Putih susu	Circular	Convex	Entire	Smooth
SM 10 <sup>-5</sup> (Duplo)	Kuning	Spindle	Flat	Entire	Smooth
	Oranye	Circular	Flat	Entire	Smooth
	Putih susu	Irregular	Flat	Lobate	Smooth
	Putih susu	Circular	Convex	Entire	Smooth

**Lampiran 6** Jenis Morfologi Koloni Bakteri Pada Isolat Bakteri Sedimen Muara Kode SM 10<sup>-6</sup>

Kode isolat bakteri	<i>Colour</i>	<i>Form</i>	<i>Elevation</i>	<i>Margin</i>	<i>Surface</i>
SM 10 <sup>-6</sup>	Putih bening	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>
SM 10 <sup>-6</sup> (2)	Putih susu	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Lobate</i>	<i>Smooth</i>

**Lampiran 7** Total Koloni Isolasi Bakteri, Nilai OD pada Bakteri Uji dan Densitas Sel Mikroba Bakteri

Kode sampel	Kode isolat bakteri	Jumlah koloni		Rata-rata
		1	2	
Sedimen Laguna (SL)	10 <sup>-4</sup>	118	182	150
	10 <sup>-5</sup>	54	59	56.5
	10 <sup>-6</sup>	66	72	69
	10 <sup>-7</sup>	44	19	31.5
Sedimen Muara (SM)	10 <sup>-4</sup>	86	68	77
	10 <sup>-5</sup>	33	10	21.5
	10 <sup>-6</sup>	1	5	3
	10 <sup>-7</sup>	0	0	0

No.	Kode Isolasi	Nilai OD (A)		
		1	2	Rata-rata
1	SL 1	0.456	0.471	0.464
2	SL 3	0.403	0.592	0.498
3	SL 4	0.468	0.578	0.523
4	SL 11	0.591	0.327	0.459
5	SL 16	0.086	0.087	0.087
6	SM 1	0.275	0.387	0.331
7	SM 2	0.316	0.547	0.432
8	SM 3	0.761	0.551	0.656
9	SM 8	0.565	0.566	0.566
10	SM 10	0.470	0.409	0.440

Sedimen Laguna (SL)				
Pengenceran	Jumlah Koloni		Rata-rata	Kerapatan Sel Mikroba (CFU/mL)
	1	2		
10 <sup>-4</sup>	118	182	150	1500000
10 <sup>-5</sup>	54	59	56.5	5650000
				3575000
Sedimen Muara (SM)				
Pengenceran	Jumlah Koloni		Rata-rata	Kerapatan Sel Mikroba (CFU/ml)
	1	2		
10 <sup>-4</sup>	86	68	77	770000
10 <sup>-5</sup>	33	10	-	3300000
				2035000

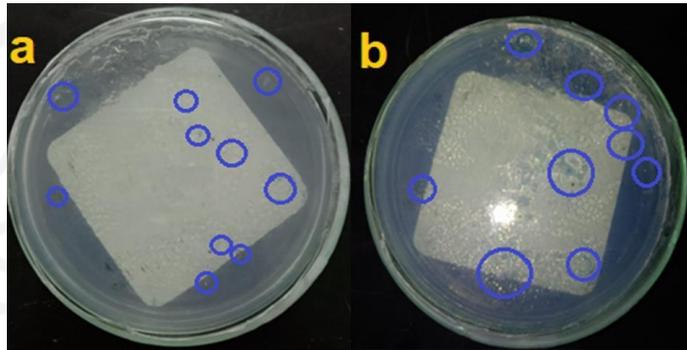
**Lampiran 8** Berat Mikroplastik Pada Inokulum Uji Degradasi Sedimen Laguna (SL) dan Sedimen Muara (SM)

No.	Kode Isolat	Jenis Plastik	Berat Plastik (W)
1	Kontrol	PE	0.002
		PP	0.002
		PS	0.003
		PET	0.006
2	SL 1	PE	0.002
			0.002
		PP	0.002
			0.002
		PS	0.003
3	SL 3	PE	0.002
			0.002
		PP	0.002
			0.002
		PS	0.003
4	SL 4	PE	0.002
			0.002
		PP	0.002
			0.002
		PET	0.006
5	SL 11	PS	0.003
			0.003
		PET	0.006
			0.006
		PE	0.002
6	SL 16	PE	0.002
			0.002
		PP	0.002
			0.002
		PS	0.003
1	SM 1	PE	0.002
			0.002
		PP	0.002
			0.002
		PS	0.003
2	SM 2	PE	0.003
			0.003
		PET	0.006
			0.006
		PE	0.002
3	SM 3	PE	0.002
			0.002
		PP	0.002
			0.002
		PS	0.003
4	SM 8	PE	0.002
			0.002
		PP	0.002
			0.002
		PET	0.006
5	SM 10	PS	0.003
			0.003
		PET	0.006
			0.006
		PE	0.002
5	SM 10	PE	0.002
			0.002
		PP	0.002
			0.002
		PS	0.003
5	SM 10	PS	0.003
			0.003
		PET	0.006
			0.006
		PET	0.006

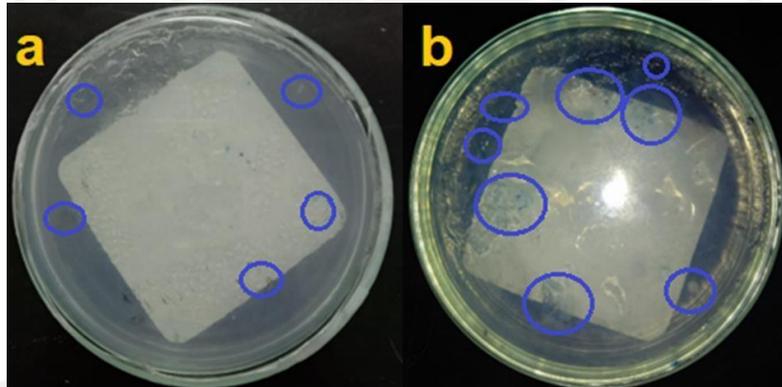
## LAMPIRAN GAMBAR

### *Lampiran 9* Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri

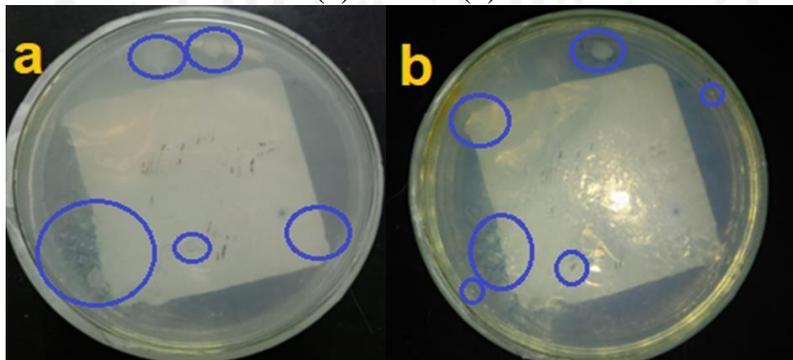
Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Laguna Kode (a) SL  $10^{-5}$  dan (b) SL  $10^{-5}$  (2)



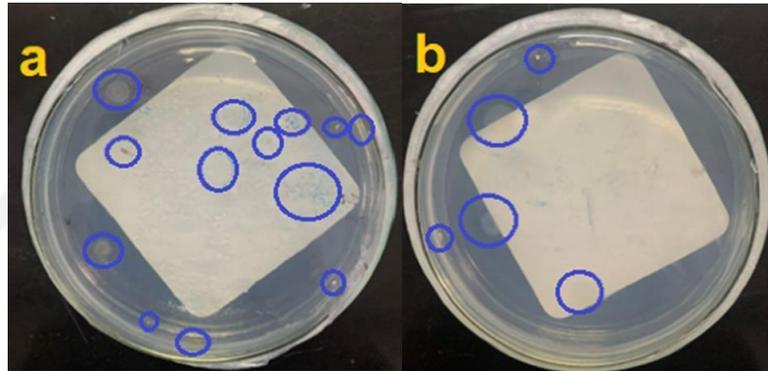
Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Laguna Kode (a) SL  $10^{-6}$  dan (b) SL  $10^{-6}$  (2)



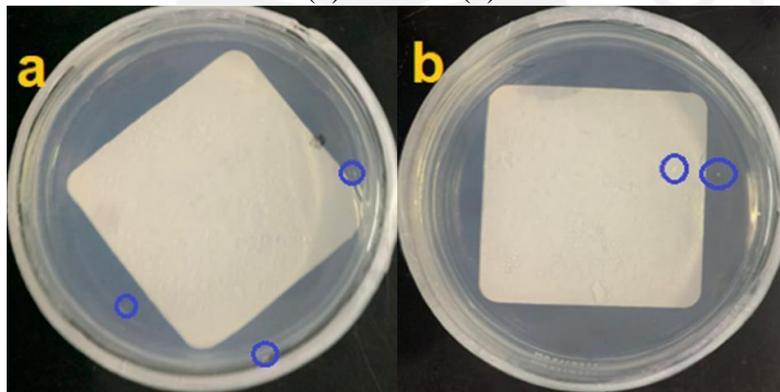
Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Laguna Kode (a) SL  $10^{-7}$  dan (b) SL  $10^{-7}$  (2)



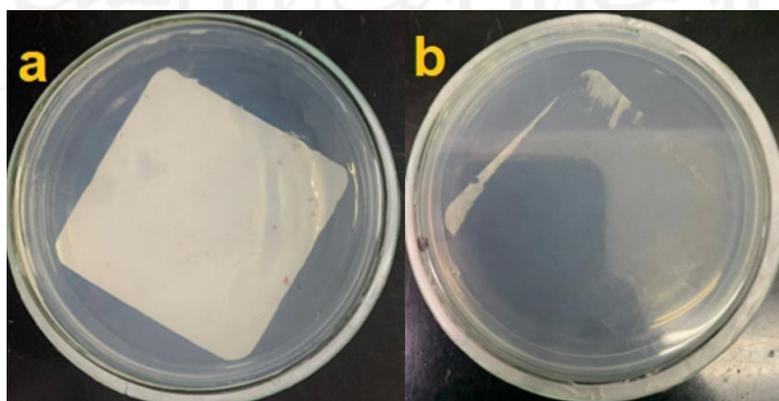
Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Muara Kode (a) SM  $10^{-5}$  dan (b) SM  $10^{-5}$  (2)



Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Muara Kode (a) SM  $10^{-6}$  dan (b) SM  $10^{-6}$  (2)

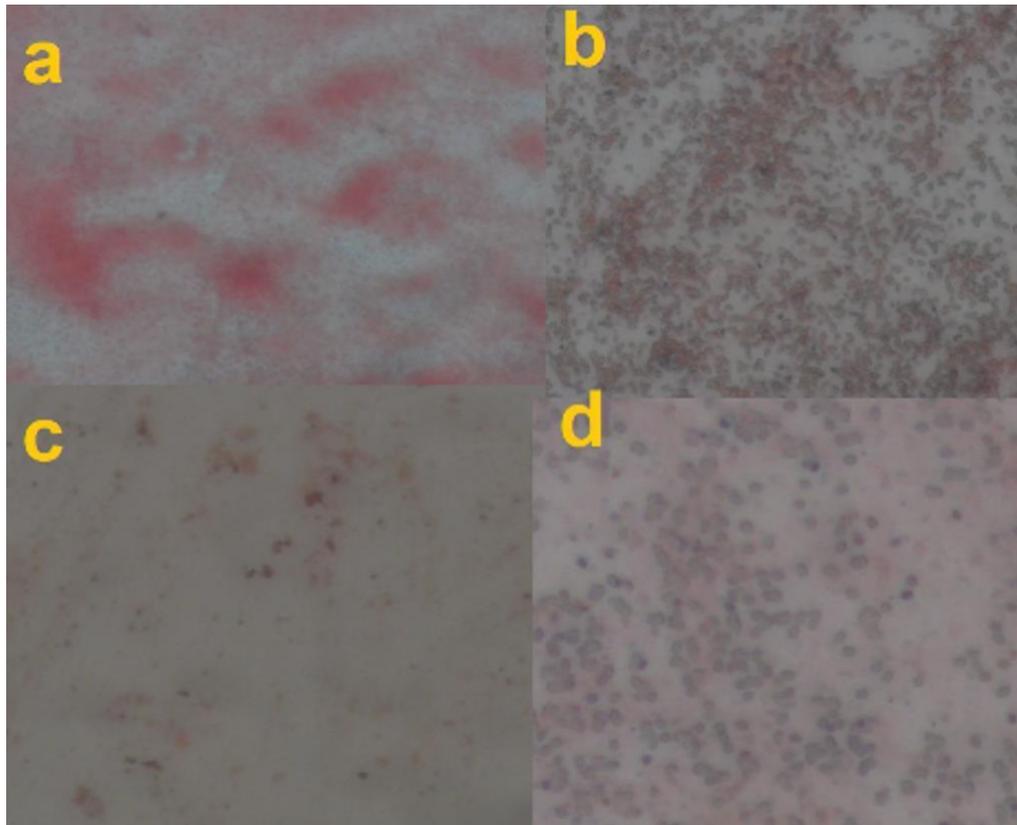


Hasil Inkubasi Isolasi Bakteri dari Sampel Sedimen Muara Kode (a) SM  $10^{-7}$  dan (b) SM  $10^{-7}$  (2)

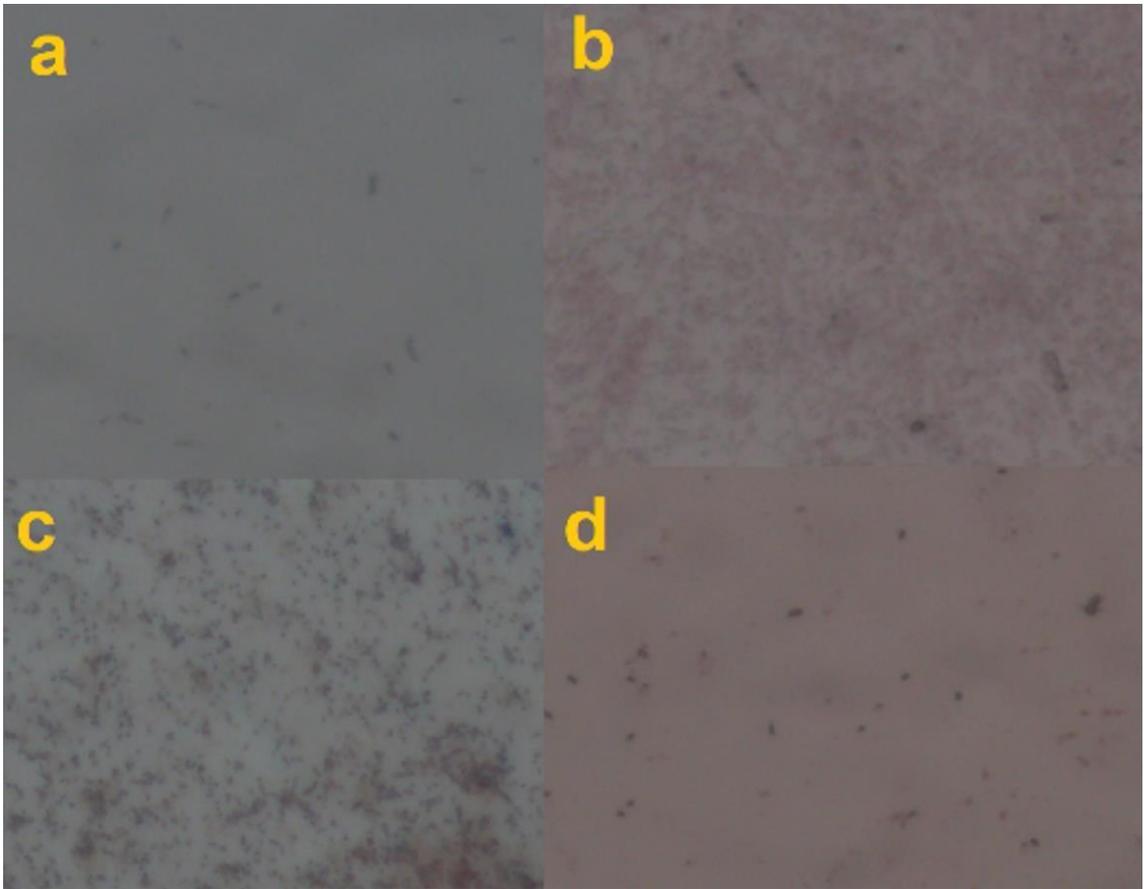


**Lampiran 10** Hasil Morfologi Sel Bakteri

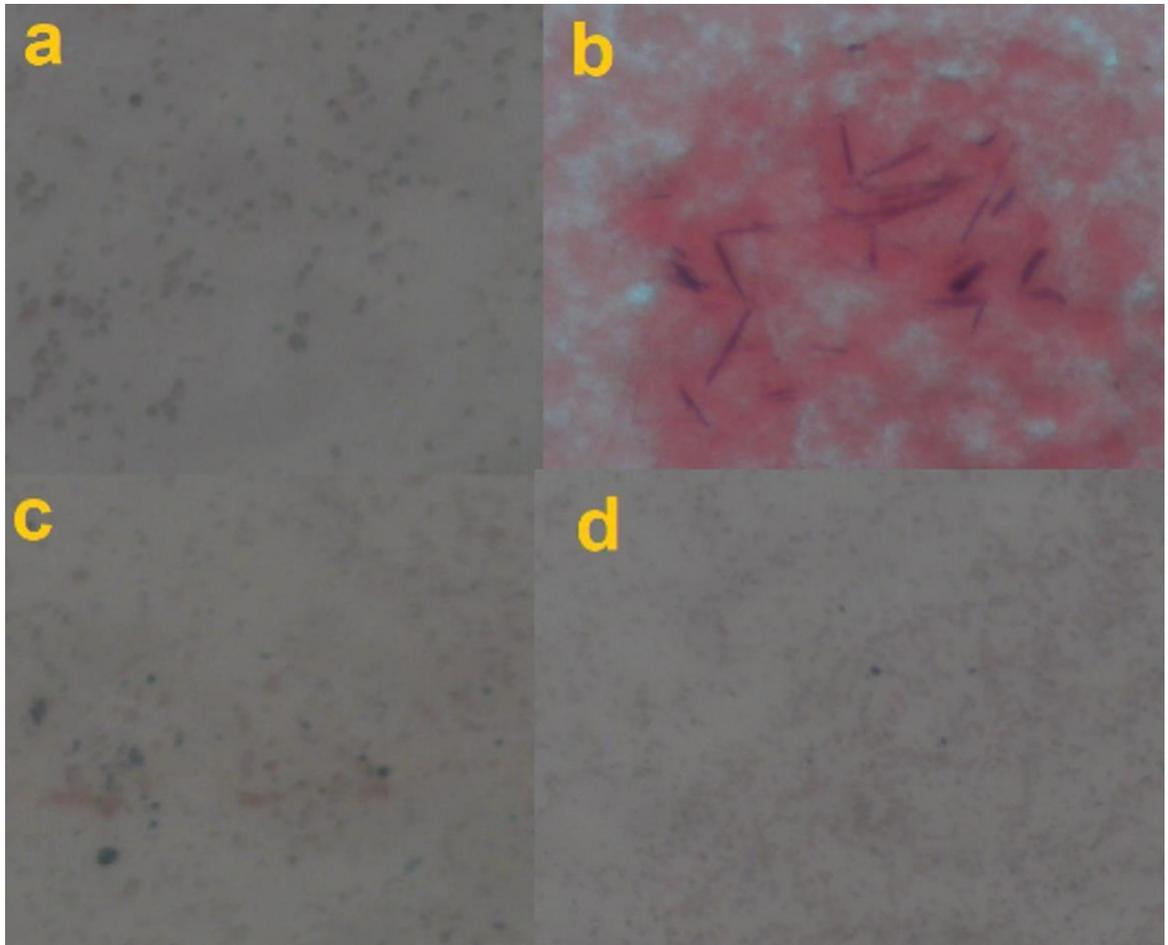
(a) SL11, (b) SL1, (c) SL16, (d) SL3



**Lampiran 11** Hasil Morfologi Sel Bakteri (a) SL4, (b) SL13, (c) SL7, (d) SM10



**Lampiran 12** Hasil Morfologi Sel Bakteri (a) SM1, (b) SM3, (c) SM9, (d) SM4

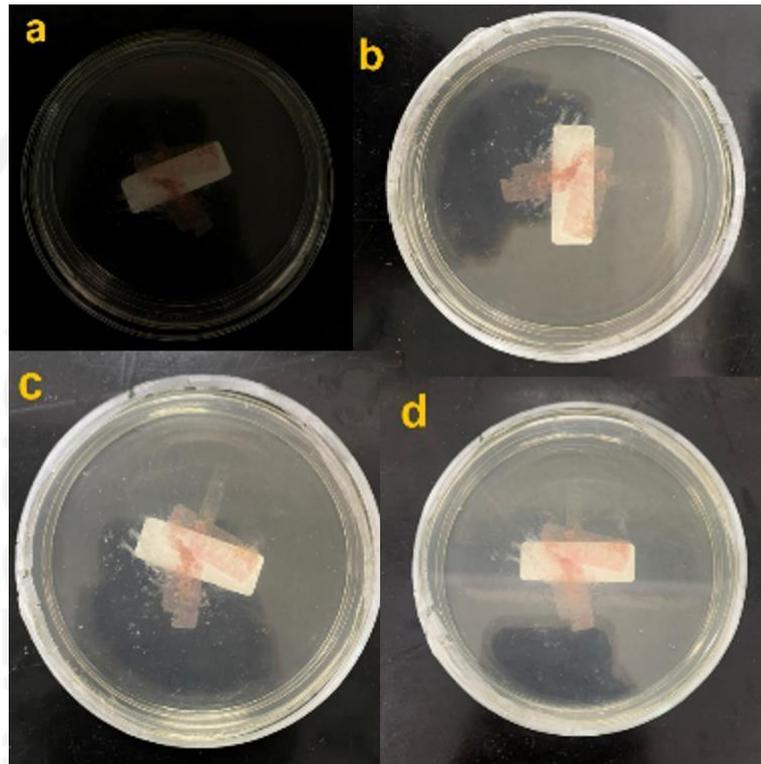


**Lampiran 13** Hasil Morfologi Sel Bakteri (a) SM2, (b) SM8

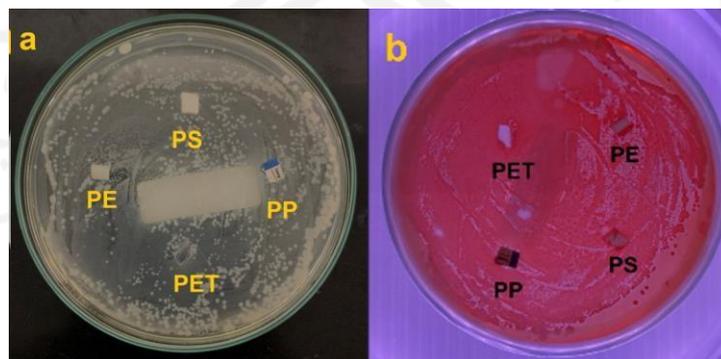


**Lampiran 14** Hasil Inkubasi Isolat Bakteri Pengujian Degradasi Mikroplastik

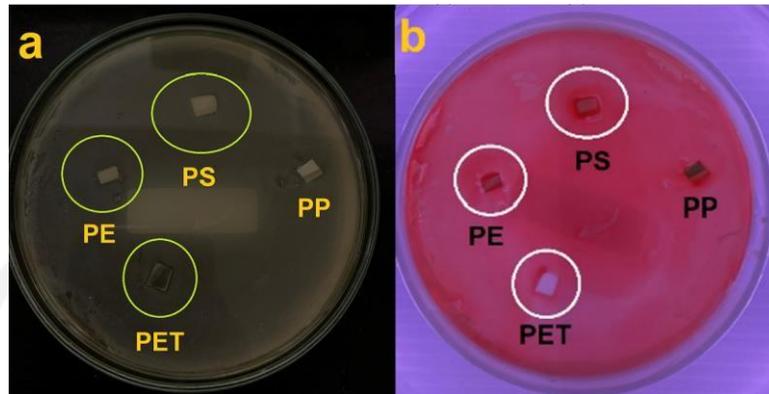
Kontrol, (a) hari ke-2, (b) hari ke-5, (c) hari ke-10, (d) hari ke-20



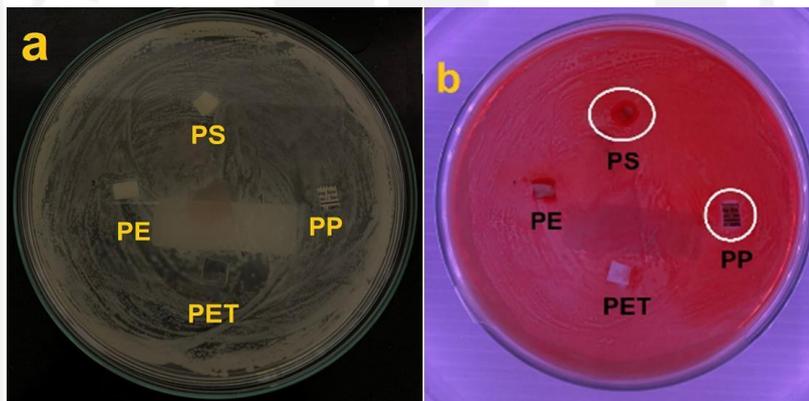
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SL1(2) (a) hari ke-2, (b) hari ke-20



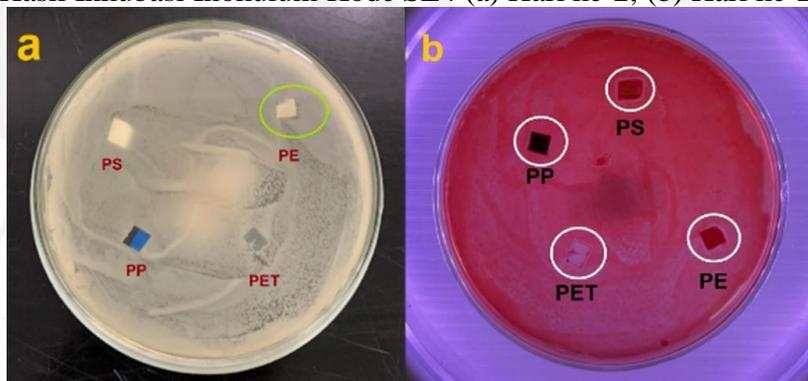
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SL3 (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



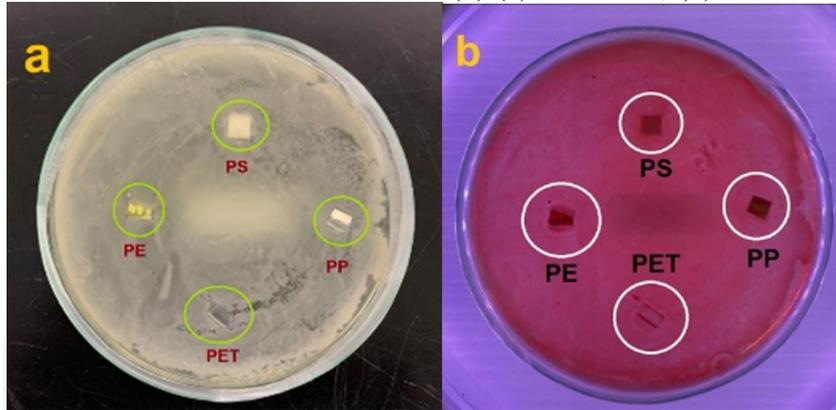
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SL3(2) (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



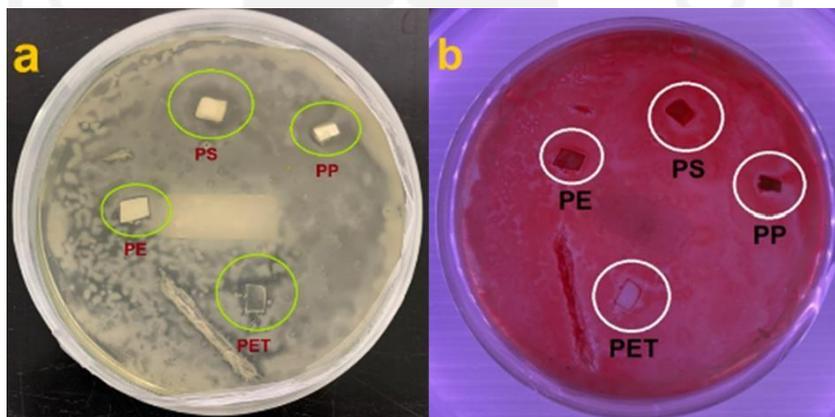
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SL4 (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



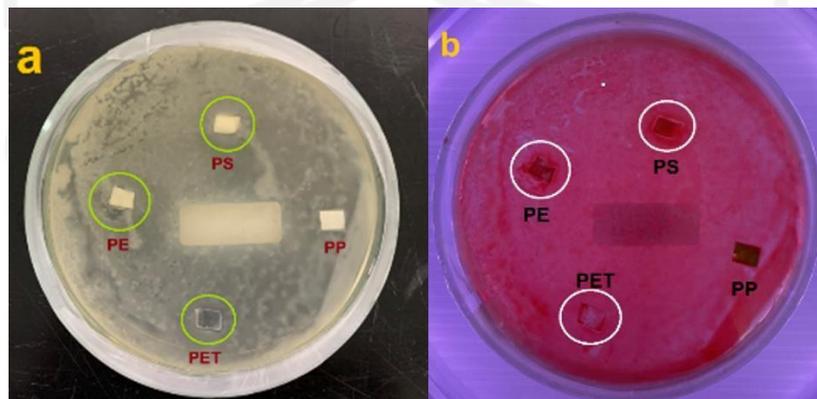
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SL4(2) (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



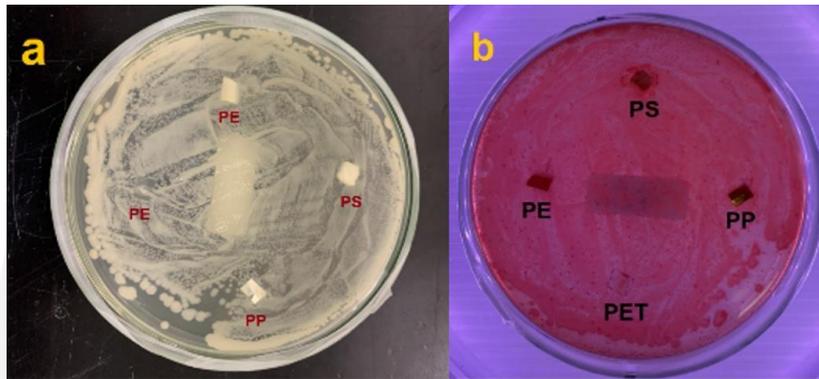
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SL11 (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



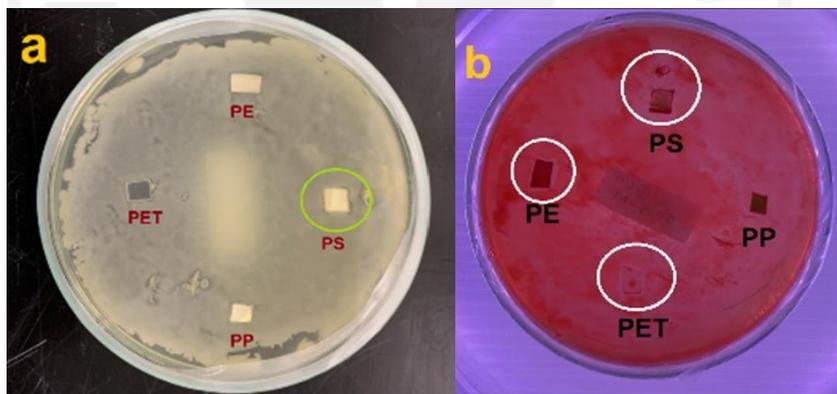
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SL11(2) (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



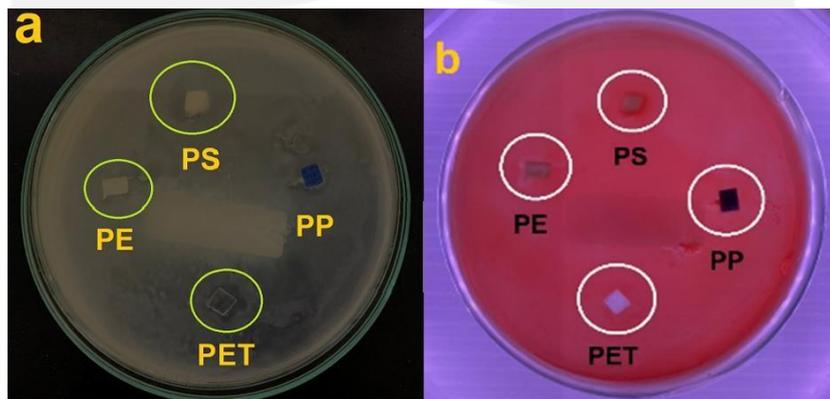
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SL16 (a) hari ke-2, (b) hari ke-20



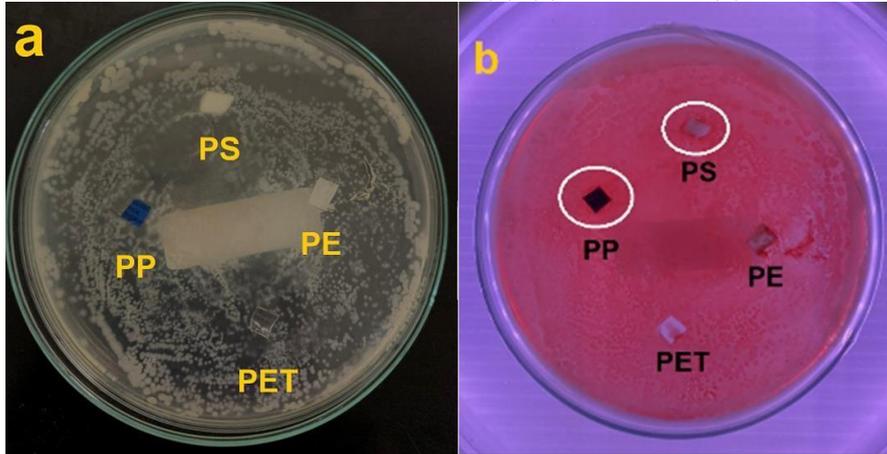
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SL16(2) (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



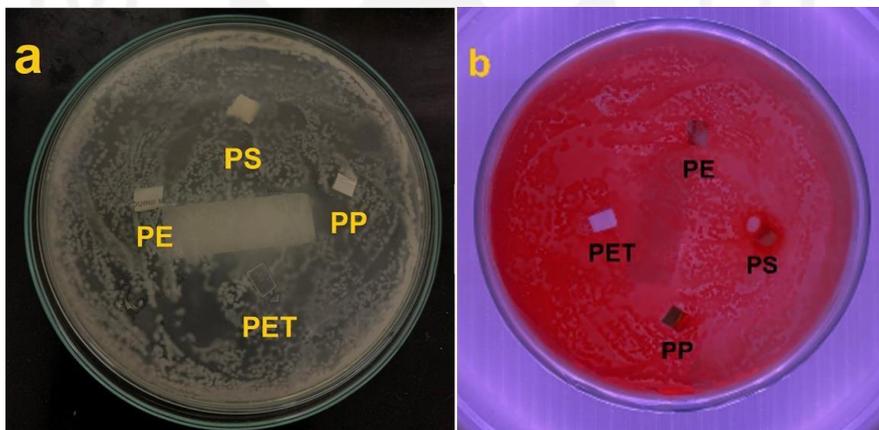
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM1 (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



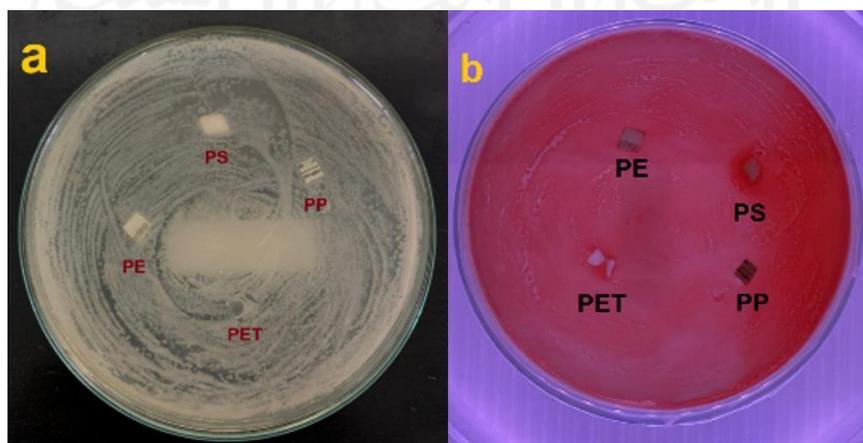
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM1(2) (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



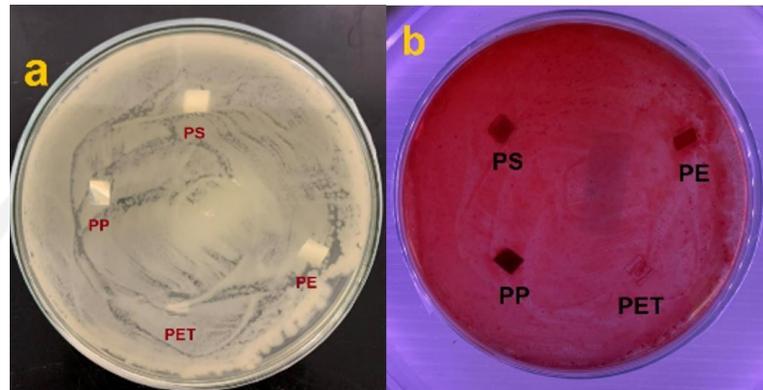
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM 2 (a) hari ke-2, (b) hari ke-20



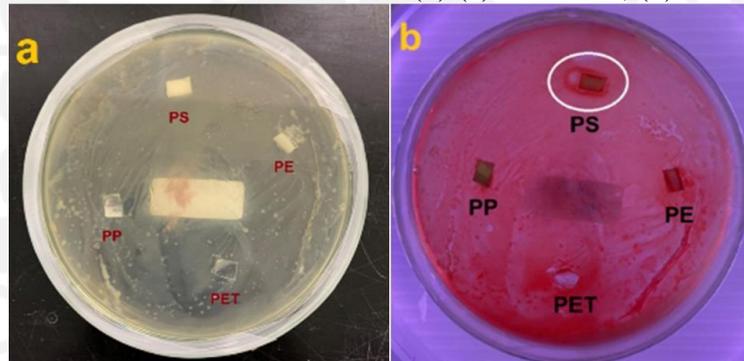
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM2(2) (a) hari ke-2, (b) hari ke-20



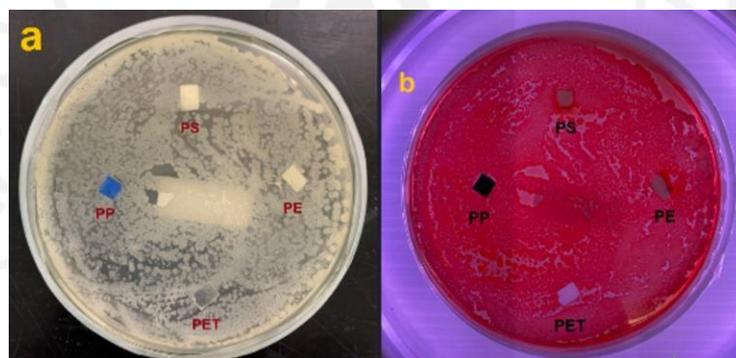
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM3 (a) hari ke-2, (b) hari ke-20



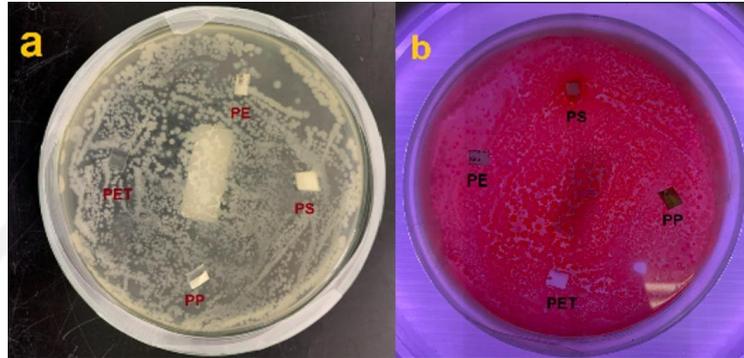
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM3(2) (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



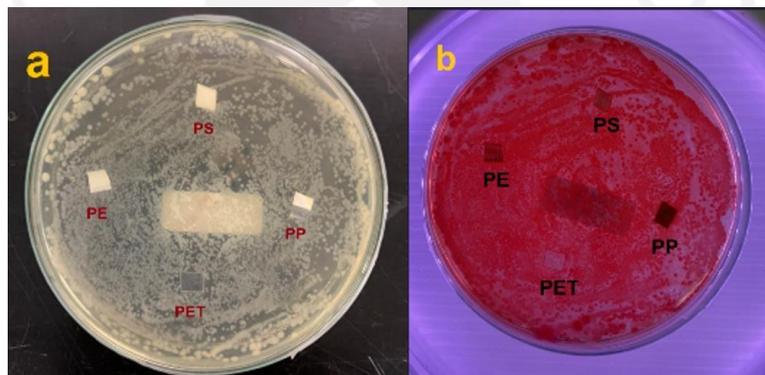
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM8 (a) hari ke-2, (b) hari ke-20



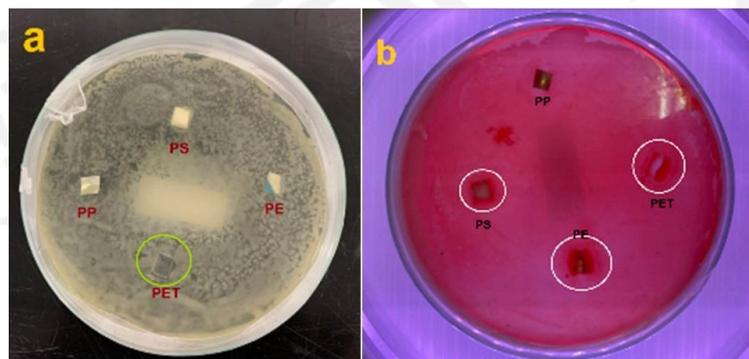
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM8(2) (a) hari ke-2, (b) Hari ke-20



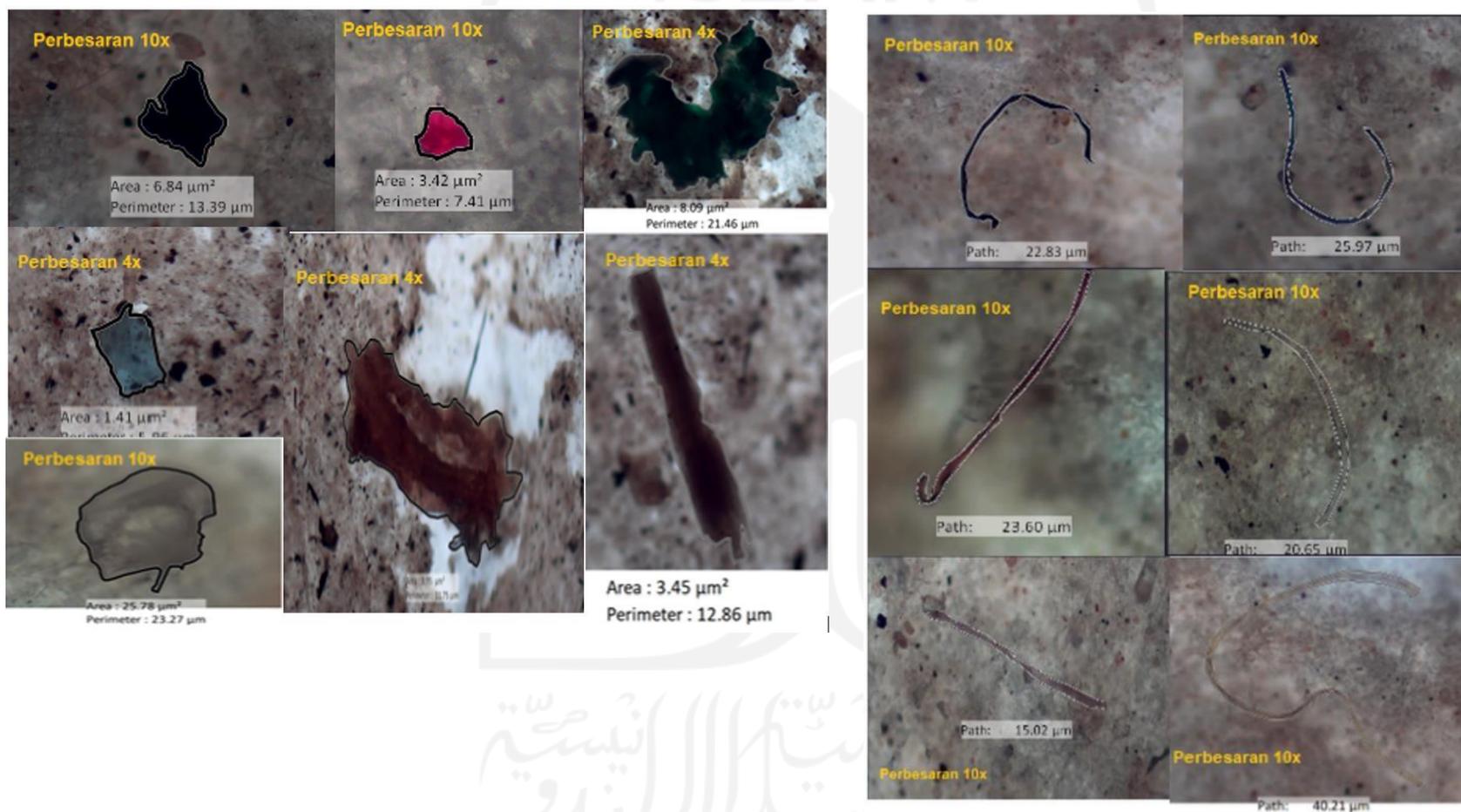
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM10 (a) hari ke-2, (b) hari ke-20



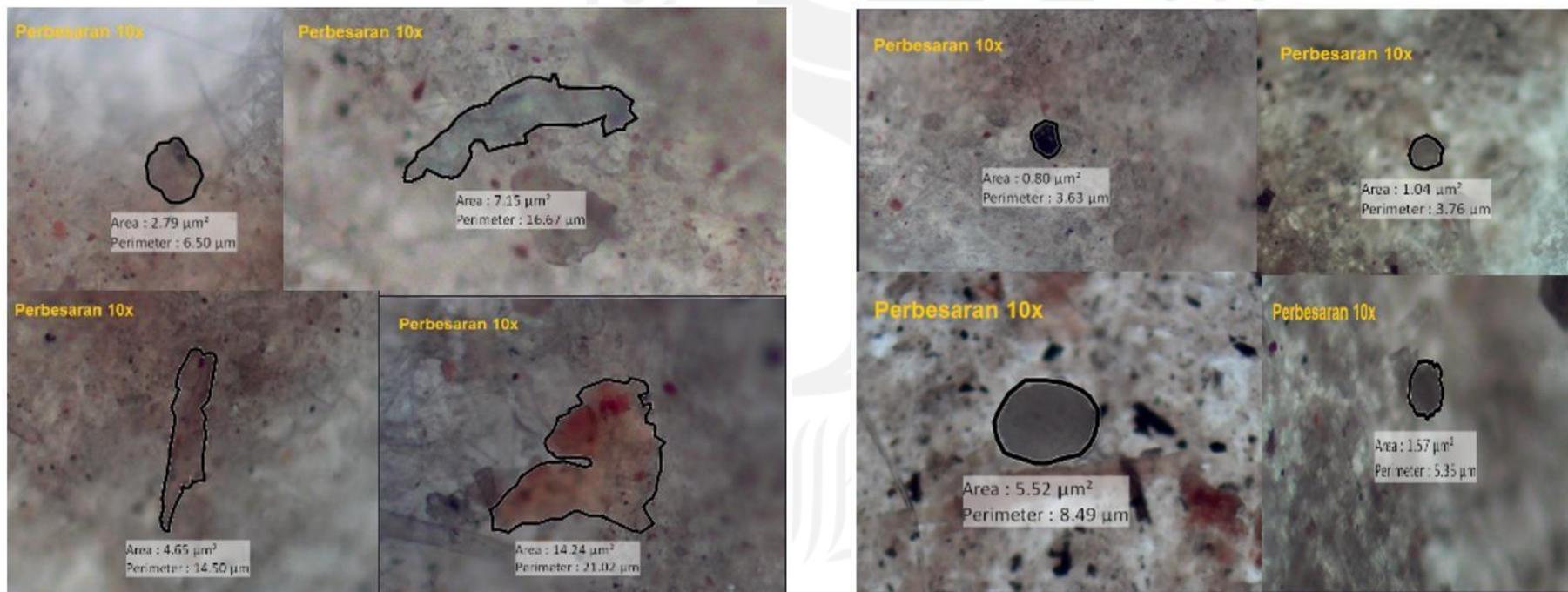
Hasil Inkubasi Inokulum Kode SM10(2) (a) Hari ke-2, (b) Hari ke-20



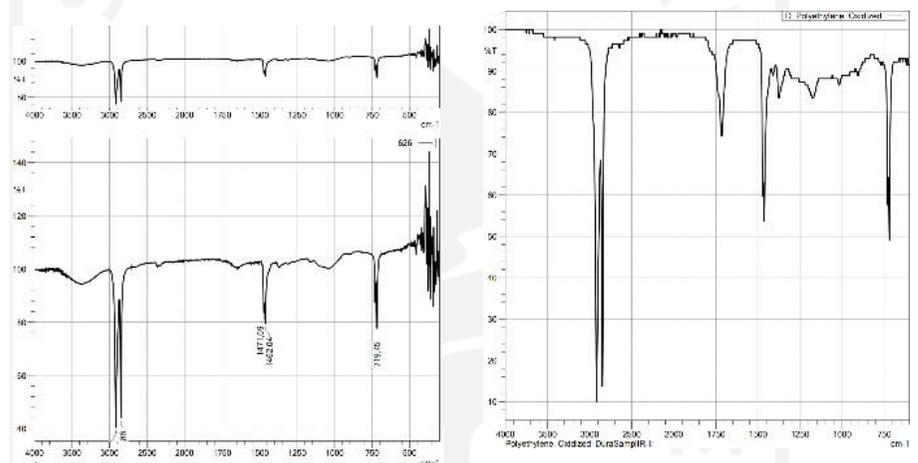
Lampiran 15 Hasil Mikroskop Mikroplastik Jenis *Fragment* dan *Fibre*



Lampiran 16 Hasil Mikroskop Mikroplastik Jenis *Film* dan *Foam*



Lampiran 17 Hasil Analisis F-TIR Sampel Plastik Uji PE

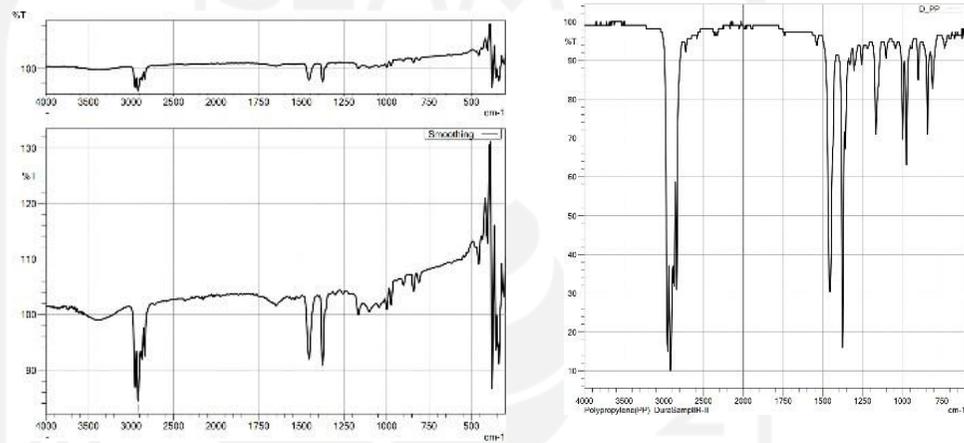


Detail		Value
1	Hit No.	1
2	Score	924
3	Library	146 - ATR-Polymer2
4	Name	D_Polyethylene_Oxidized
5	Comment	Polyethylene, Oxidized DuraSamplIR-II

Score	Library	Name	Comment
1 924	146 - ATR-Polymer2	D_Polyethylene_Oxidized	Polyethylene, Oxidized DuraSamplIR-II

Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	77,86	18,43	725,23	668,59	79,553	76,459	
2	79,40	9,94	1469,76	1438,90	261,092	31,928	
3	83,52	4,59	1485,19	1469,78	82,534	-8,387	
4	44,02	46,08	2870,08	2704,20	1211,784	324,120	
5	40,46	52,06	2997,38	2870,08	2378,888	1617,773	

Lampiran 18 Hasil Analisis F-TIR Sampel Plastik Uji PP

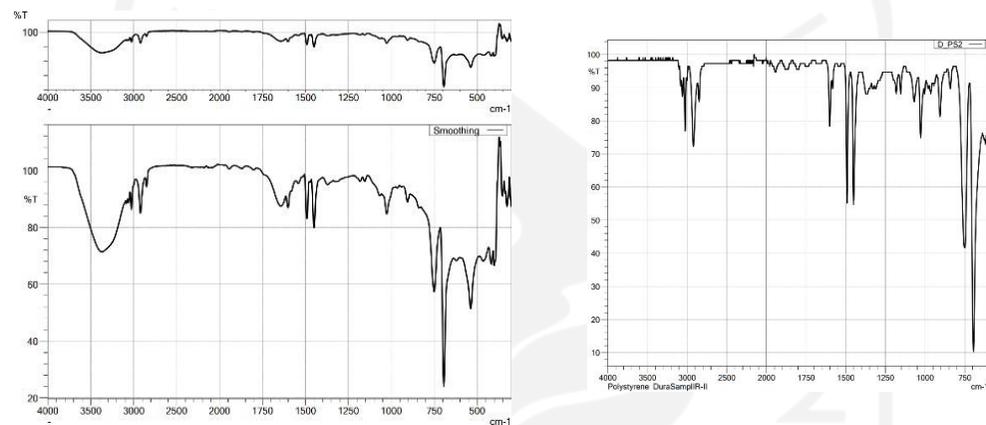


	Score	Library	Name	Comment
1	902	24 - ATR-Polymer2	D_PP	Polypropylene(PP) DuraSampIR
2	895	156 - ATR-Polymer2	D_PP_Isotactic	Polypropylene, isotactic DuraSampIR-II
3	873	127 - Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404.1	poly(propylene), it.	poly(propylene), it. C3H6MONOMER  KBr white powder © 2009 STJapan Inc 001832/ HM7093
4	858	51 - IRs Polymer2	PP1	PP.Polypropylene ATR/diamond ATRcorrected
5	858	50 - IRs Polymer2	PP	Polypropylene Film

	Detail	Value
1	Hit No.	1
2	Score	902
3	Library	24 - ATR-Polymer2
4	Name	D_PP
5	Comment	Polypropylene(PP) DuraSampIR-II

	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	2918,30	84,41	9,01	2937,59	2869,37	534,613	217,295	

Lampiran 19 Hasil Analisis F-TIR Sampel Plastik Uji PS

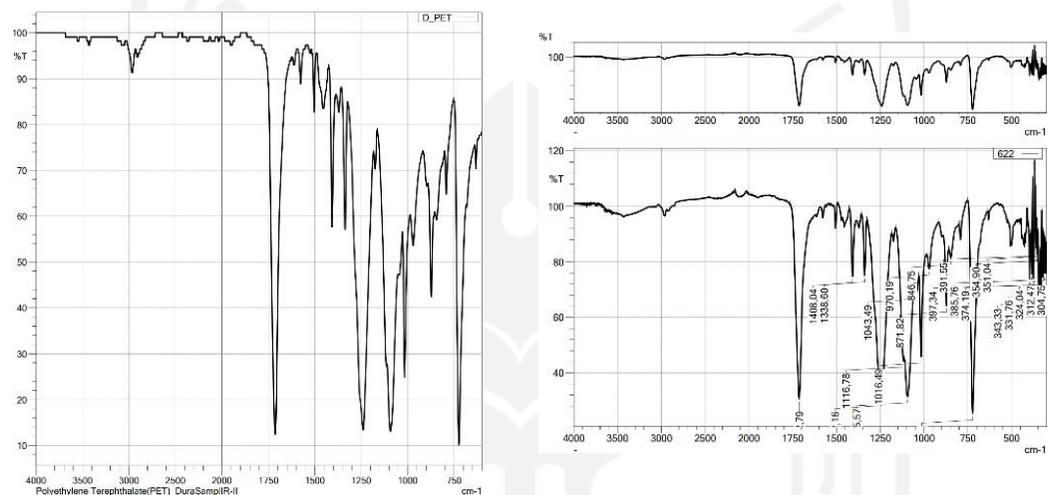


Score	Library	Name	Comment
1	158 - ATR-Polymer2	D_PS2	Polystyrene DuraSampleIR-II
2	863 - ATR-Polymer2	D_Styrene_AlylAlcohol	Styrene/Allyl Alcohol Copolymer(Hydroxy content 5-6.0%) DuraSampleIR-II
3	863 - ATR-Polymer2	D_PS	Polystyrene(PS) DuraSampleIR-II
4	858 - Shimadzu Standard Library Vol. Zshim2404-1	monodisperse poly(styrene-co-acrylamide) ; higher AA concentration	monodisperse poly(styrene-co-acrylamide) ; higher AA concentration C8H6-C3H5NOMONOMER KBr white powder © 2009 ST Japan Inc D03097/HM7369
5	838 - Shimadzu Standard Library Vol. Zshim2404-1	poly(styrene)	poly(styrene) C8H8MONOMER KBr white, fibrous material © 2009 ST Japan Inc D01900/HM7289
6	823 - IRs Polymer2	PS	Polystyrene ATR/diamond ATR/connected
7	822 - Shimadzu Standard Library Vol. Zshim2404-1	poly(styrene-co-alpha-methylstyrene) 45.4 wt% MS units	poly(styrene-co-alpha-methylstyrene) 45.4 wt% MS units C8H6-C9H10MONOMER KBr white powder © 2009 ST Japan Inc D01921/HM10192
8	820 - Shimadzu Standard Library Vol. Zshim2404-1	poly(styrene-co-ethylacrylate), 7.1 mol% EA units	poly(styrene-co-ethylacrylate), 7.1 mol% EA units C8H6-C9H8O2MONOMER KBr eggshell-coloured material © 2009 ST Japan Inc D01920/HM7363
9	816 - ATR-Polymer2	D_SA-2	Styrene/Acrylonitrile(SA) Copolymer(Acrylonitrile content 30%) DuraSampleIR-II
10	815 - I-Polymer2	PS	Polystyrene(PS) Transmission(Microscope)

Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment	
1	401.19	66.56	11.63	406.99	372.26	567.474	299.925	
2	416.62	67.01	5.19	433.99	406.98	818.008	71.886	
3	459.06	68.39	0.35	460.99	433.98	802.393	11.150	
4	464.84	68.05	0.37	468.70	460.99	245.341	1.670	
5	470.63	68.37	0.22	484.13	468.70	477.033	-0.146	
6	486.06	69.69	0.09	487.99	484.13	116.735	0.173	
7	536.14	51.42	18.17	599.88	487.99	4048.675	643.684	
8	621.08	68.29	0.93	638.44	599.86	1202.808	15.440	
9	694.37	24.03	52.91	715.59	638.44	3223.472	1257.752	
10	750.31	57.37	24.71	829.39	715.59	2716.928	837.416	
11	1026.13	84.70	8.06	1056.99	987.55	707.801	215.252	
12	1450.47	79.88	17.10	1465.90	1400.32	505.820	319.457	
13	1492.90	83.10	14.28	1506.41	1479.40	268.851	198.413	
14	2922.16	84.96	12.24	2976.16	2870.08	752.324	455.485	
15	3375.43	71.37	22.74	3780.48	3093.82	11519.075	8188.156	

	Detail	Value
1	Hit No.	1
2	Score	895
3	Library	158 - ATR-Polymer2
4	Name	D_PS2
5	Comment	Polystyrene DuraSampleIR-II

Lampiran 20 Hasil Analisis F-TIR Sampel Plastik Uji PET



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	304,75	76,06	11,49	308,61	300,90	158,328	60,268	
2	312,47	75,89	13,33	318,25	308,81	158,272	57,369	
3	324,04	74,38	21,19	327,90	318,25	163,869	114,001	
4	351,76	70,64	20,82	355,61	327,90	149,571	83,710	
5	343,33	67,70	20,37	349,12	335,61	311,324	144,111	
6	351,04	84,22	4,38	352,97	349,12	52,441	8,444	
7	354,90	82,63	6,91	358,78	352,97	74,972	23,770	
8	374,19	73,88	39,13	379,98	368,40	167,455	319,154	
9	385,76	75,67	22,43	389,62	379,98	110,603	111,100	
10	391,55	84,24	5,81	393,48	389,62	49,589	11,200	
11	397,34	73,85	17,54	403,12	393,48	148,366	69,258	
12	723,31	25,24	75,93	757,24	638,44	2613,269	2635,361	
13	846,75	81,34	5,04	858,32	800,46	667,879	36,272	
14	871,82	84,19	22,42	891,11	858,32	673,103	248,632	
15	970,19	77,52	7,86	985,62	916,19	893,465	99,627	
16	1016,49	45,84	31,61	1029,99	985,62	1346,219	412,892	
17	1043,49	68,82	4,24	1055,06	1029,99	730,211	58,314	
18	1095,57	31,51	21,42	1112,93	1055,06	3063,349	643,636	
19	1116,78	44,28	4,41	1163,08	1112,93	1512,615	-57,719	
20	1242,16	30,42	61,87	1327,03	1184,29	5141,076	4105,636	
21	1338,60	75,05	20,92	1357,89	1327,03	366,584	250,219	
22	1408,04	74,80	22,26	1427,32	1388,75	407,295	294,004	
23	1712,79	30,65	66,84	1766,80	1656,65	2971,314	2687,846	

	Detail	Value
1	Hit No.	1
2	Score	948
3	Library	79 - ATR-Polymer2
4	Name	D_PET
5	Comment	Polyethylene Terephthalate(PET) DuraSampIR-II

	Score	Library	Name	Comment
1	948	79 - ATR-Polymer2	D_PET	Polyethylene Terephthalate(PET) DuraSampIR-II
2	931	125 - ATR-Polymer2	D_PET2	Poly(Ethylene Terephthalate)(PET)

## RIWAYAT HIDUP

Saya Rifa Nur Azizah lahir di Samarinda, 24 Mei 2000. Saya merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Kedua orang tua saya bernama Parmono dan Reni Eka Wahyuni. Mereka adalah orang-orang yang selama ini selalu di belakang saya memberikan dukungan dalam melakukan kegiatan yang saya jalani. Sebelumnya saya bersekolah di SD IT YABIS, Bontang, Kalimantan Timur dan lulus pada tahun 2012. Kemudian saya melanjutkan jenjang sekolah saya di SMP Negeri 1 Bontang lulus pada tahun 2015 dan SMA Negeri 1 Bontang lulus pada tahun 2018. Saat ini saya merupakan mahasiswa semester akhir yang mengambil jurusan S1 Teknik Lingkungan di Universitas Islam Indonesia (UII). Berbagai kegiatan akademik dan non- akademik telah saya lakukan di sini. Selain menjadi mahasiswa aktif saya mendapatkan banyak pengalaman. Saya pernah melakukan *student exchange* di *University of Malaya* (Malaysia) dan *National University of Singapore* (Singapura) dengan studi persampahan dan pengolahan air limbah. Saya pernah menjadi asisten dosen, asisten laboratorium dan asisten penelitian di mana terlibat dalam beberapa mata kuliah dan *project* penelitian yang paling banyak berfokus di bidang air, mikrobiologi dan AMDAL. Saya juga pernah mengikuti *event* internasional dengan menjadi salah satu *speaker* dan telah melakukan poster publikasi dengan judul ”*Bank-sand Ceramic Filter As A Removal of Escherichia Coli In Household Contaminated Water*” yang diselenggarakan oleh *Cranfield University* (United Kingdom) pada tahun 2021. Saya juga bergabung dalam merintis sebuah startUp AiKite di bagian *Research and Development, Program and Product, WASH Engineer Development* dan terakhir sebagai *leader* di *Evaluating and Monitoring*. Saya berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) dan menjadi mentor bidang riset untuk UKM Ristek Teknik Lingkungan, serta beberapa kali menjadi *speaker* di sebuah *event* dengan topik *Water, Sanitation and Hygiene (WASH)*. Pada tahun 2020 dan 2021 saya menjadi salah satu mahasiswa berprestasi yang ditetapkan oleh program studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.