

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS KERAGAMAN DAN KELIMPAHAN**  
**PROTOZOA, METAZOA, DAN ALGA DI IPAL**  
**KOMUNAL MENDIRO, SLEMAN**

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



**ZULUL SUKMA NINGRUM**  
**19513125**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**2023**


**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS KERAGAMAN DAN KELIMPAHAN**  
**PROTOZOA, METAZOA, DAN ALGA DI IPAL**  
**KOMUNAL MENDIRO, SLEMAN**


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



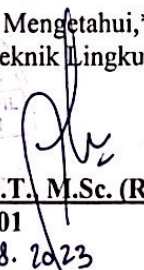

**ZULUL SUKMA NINGRUM**  
**19513125**

Disetujui,  
Dosen Pembimbing:

  
**Dr. Eng. Awaluddin Nurmianto,**  
**S.T., M.Eng.**  
**NIK. 095130403**  
Tanggal: 21.08.2023

  
**Annisa Nur Latifah, S.Si.,**  
**M.Biotech, M.Agr., Ph.D.**  
**NIK. 155130505**  
Tanggal: 22.08.2023

Mengetahui,\*  
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

  
  
**Any Juliani, S.T. M.Sc. (Res. Eng), Ph.D.**  
**NIK. 045130401**  
Tanggal: 21.08.2023

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS KERAGAMAN DAN KELIMPAHAN  
PROTOZOA, METAZOA, DAN ALGA DI IPAL  
KOMUNAL MENDIRO, SLEMAN**

**Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji**

**Hari : Selasa  
Tanggal : 15 Agustus 2023**

**Disusun Oleh:**


**ZULUL SUKMA NINGRUM  
19513125**

**Tim Penguji :**

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

**Annisa Nur Latifah, S.Si., M.Biotech, M.Agr., Ph.D.**

**Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res. Eng), Ph.D.**

(  )  
(  ) 22.08.23  
(  )

## 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 tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab 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, Mei 2023

Yang membuat pernyataan,



**Zulul Sukma Ningrum**

NIM: 19513125

## PRAKATA

*Alhamdulillahirabbil'alamin* puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan mengambil tema “Analisis Kelimpahan dan Keragaman Protista dan Metazoa di IPAL Mendiro, Sleman” yang dilaksanakan sejak Desember 2023 sampai Mei 2023 dapat terselesaikan dengan baik. Salawat serta salam tak kunjung usai disampaikan kepada Baginda Rasulullah SAW atas bimbingannya dari zaman jahiliyah menuju zaman Islamiyah. Penyelesaian tugas akhir ini dapat berjalan dengan baik karena doa dan semangat dari pihak-pihak yang terkait, karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan UII yang sekaligus menjadi dosen pembimbing 1 yang telah memberikan waktu, ilmu, motivasi dan bimbingannya dengan penuh kesabaran selama penulisan tugas akhir ini
2. Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan ilmu dan arahnya untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini
3. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan UII dan selaku reviewer proposal tugas akhir penulis yang bersedia memberikan arahan
4. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak M. Kusno dan Ibu Siti Inganah, serta kakak penulis Ulung Satriyo dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dan dukungannya kepada penulis
5. Pihak IPAL Komunal Mendiro yang menjadi lokasi penelitian yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melaksanakan penelitian
6. Dosen, karyawan, dan laboran Teknik Lingkungan UII
7. Teman-teman tugas akhir RBC yang telah berbagi ilmu dan saran
8. Teman-teman terdekat penulis di Teknik Lingkungan, Andyani Putri, Aning Sekar, Tiara Putri, Wahyuni Vitasari, Dahayu, Giti Rizqy, Deswinta Dwi, Nurul Khaerani serta teman-teman Hari-Hari Piknik

## 9. Keluarga besar Teknik Lingkungan UII

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari masih banyak kekurangan baik dalam hal konten maupun tata cara penulisan, maka dari itu penulis menerima kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan ini dapat memberi manfaat kepada penulis dan orang yang membacanya.

Yogyakarta, 15 Mei 2023

*Zulul Sukma Ningrum*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ABSTRAK

ZULUL SUKMA NINGRUM. Analisis Keragaman Dan Kelimpahan Protozoa, metazoa, Dan Alga di IPAL Komunal Mendiro, Sleman. Dibimbing oleh Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. dan Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

IPAL atau Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Mendiro merupakan sistem pengolahan air limbah domestik sebagai salah satu usaha untuk mewujudkan *Sustainable Developments Goals* yaitu *water and sanitation* di salah satu kelurahan Kabupaten Sleman. Dalam sistem IPAL salah satu metode pengolahan air limbah adalah menggunakan proses biologi yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme seperti protozoa, metazoa, dan alga. Pentingnya penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja pengolahan limbah dengan indikator kelimpahan dan keragaman protozoa, metazoa, dan alga di tiap unit pengolahan IPAL Komunal Mendiro, Sleman dengan metode pengamatan langsung di bawah mikroskop. Hasil penelitian menunjukkan bahwa IPAL Komunal Mendiro berjalan optimum dari indikasi banyaknya ciliata dengan persentase lebih dari 50% hampir di setiap unit pengolahan terutama pada pengolahan aerobik berupa RBC (*Rotating Biological Contactor*). Ciliata menjadi salah satu indikator kinerja biomassa yang optimal. Sedangkan pada pengolahan anaerobik berupa ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) didominasi oleh alga sebanyak 29,7% dan pada unit AF (*Anaerobic Filter*) dominasi tertinggi adalah ciliata jenis *Paramecium bursaria*. Selanjutnya pada unit filtrasi didominasi oleh ciliata sebanyak 64%. Untuk mengetahui keefektifan mikroorganisme dalam degradasi bahan organik, dilakukan analisis korelasi dengan BOD<sub>5</sub> yang menunjukkan hasil korelasi negatif yang artinya semakin tinggi kelimpahan mikroorganisme kadar BOD<sub>5</sub> semakin rendah.

Kata kunci: air limbah, mikroorganisme, metazoa, protista, alga, proses biologi



## **ABSTRACT**

ZULUL SUKMA NINGRUM. *Analysis Diversity and Abundance of Protista and Metazoa in Communal Wastewater Treatment Plant Mendiro, Sleman Supervised by Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. and Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.*

*IPAL or Mendiro Communal Wastewater Treatment Plant is a domestic wastewater treatment system as one of the efforts to realize the Sustainable Development Goals, namely water and sanitation in one of the sub-districts of Sleman Regency. In the WWTP system, one of the wastewater treatment methods is to use a biological process that utilizes the activities of microorganisms such as protozoa, metazoa, and algae. The importance of this research was conducted to determine the performance of sewage treatment with indicators of the abundance and diversity of protozoa, metazoa, and algae in each treatment unit Mendiro Communal WWTP, Sleman by direct observation method under a microscope. The results of the research show that the Mendiro Communal WWTP is running optimally from the indication of the number of ciliates with a percentage of more than 50% in almost every processing unit, especially in the aerobic treatment in the form of RBC (Rotating Biological Contactor). Ciliates become one of the indicators of optimal biomass performance. While the anaerobic treatment in the form of ABR (Anaerobic Baffled Reactor) was dominated by algae as much as 29.7% and in the AF (Anaerobic Filter) unit the highest dominance was ciliates of the Paramecium bursaria type. Furthermore, the filtration unit is dominated by ciliates as much as 64%. To determine the effectiveness of microorganisms in the degradation of organic matter, a correlation analysis with BOD<sub>5</sub> was carried out which showed a negative correlation, which means that the higher the abundance of microorganisms the lower the BOD<sub>5</sub> level.*

*Keywords: wastewater, microorganisms, metazoan, protists, algae, biological processes*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

|  |     |
|--|-----|
| DAFTAR ISI.....  | vii |
| DAFTAR TABEL.....  | x   |
| DAFTAR GAMBAR.....   | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN.....   | xv  |
| BAB I PENDAHULUAN.....   | 16  |
| 1.1 Latar Belakang.....  | 16  |
| 1.2 Perumusan Masalah.....   | 18  |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....   | 19  |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....  | 19  |
| 1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....  | 19  |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....   | 21  |
| 2.1 Karakteristik Air Limbah Domestik.....   | 21  |
| 2.2 IPAL Komunal.....  | 22  |
| 2.3 Mikroorganisme pada Unit IPAL.....   | 26  |
| 2.4 Penelitian Terdahulu.....  | 27  |
| BAB III METODE PENELITIAN.....   | 31  |
| 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....   | 31  |
| 3.2 Metode Penelitian.....   | 31  |
| 3.2.1 Pengambilan Sampel.....  | 31  |
| 3.2.2 Pengamatan Protozoa, Metazoa, dan Alga.....  | 34  |
| 3.2.3 Pengukuran BOD.....  | 36  |
| 3.3 Kesesuain Metode dengan Identifikasi dan Enumerasi Protozoa, Metazoa,<br>dan Alga..... | 37  |

|  |    |
|--|----|
| 3.4 Prosedur Analisa Data.....   | 39 |
| 3.4.1 Analisis Kelimpahan dan Keragaman Protozoa, Metazoa, dan Alga ..   | 39 |
| 3.4.2 Analisis Korelasi BOD <sub>5</sub> Terhadap Kelimpahan dan Keragaman<br>Protozoa, Metazoa, dan Alga .....          | 40 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....  | 42 |
| 4.1 Kondisi Eksisting IPAL Komunal Mendirol, Sleman.....   | 42 |
| 4.2 Perbandingan Metode Langsung, Lugol, dan <i>Ammoniacal Silver Carbonate</i><br>.....                                 | 45 |
| 4.3 Analisis Keragaman dan Kelimpahan Protista, Metazoa, dan Alga di Tiap<br>Unit Pengolahan IPAL Komunal Mendirol ..... | 49 |
| 4.3.1 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Pengolahan Anaerobik .   | 51 |
| 4.3.2 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Pengolahan Aerobik.....  | 54 |
| 4.3.3 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Pengolahan Fisika .....  | 64 |
| 4.4 Komposisi Protozoa, Metazoa, dan Alga di IPAL Mendirol .....   | 66 |
| 4.5 Protozoa, Metazoa, dan Alga sebagai Bioindikator Pengolahan Air Limbah<br>.....                                      | 70 |
| 4.6 Hubungan BOD dengan Keberadaan Protista, Metazoa, dan Alga .....   | 71 |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....   | 76 |
| 5.1 Simpulan .....   | 76 |
| 5.2 Saran.....   | 76 |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 79 |
| LAMPIRAN.....  | 85 |
| RIWAYAT HIDUP.....   | 94 |

*“Halaman sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 4. 1 Nilai BOD <sub>5</sub> dari Unit Pengolahan IPAL Komunal Mendiro, Sleman .          | 44 |
| Tabel 4. 2 Perbedaan Metode Biasa, Lugol, dan Ammoniacal Silver Carbonate .                    | 45 |
| Tabel 4. 3 Hasil Skoring Metode Pengamatan.....  | 46 |
| Tabel 4. 4 Metazoa dan Protista yang Ditemukan di Tiap Unit IPAL Komunal Mendiro, Sleman ..... | 50 |
| Tabel 4. 5 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Air Limbah Unit ABR dan AF.....           | 51 |
| Tabel 4. 6 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Air Limbah Unit RBC 155                   |    |
| Tabel 4. 7 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Biofilm Unit RBC 1 .....                  | 57 |
| Tabel 4. 8 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Air Limbah Unit RBC 260                   |    |
| Tabel 4. 9 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Biofilm Unit RBC 2.....                   | 63 |
| Tabel 4. 10 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Unit Filtrasi .....                      | 64 |
| Tabel 4. 11 Kadar BOD <sub>5</sub> pada Unit Pengolahan IPAL Komunal Mendiro .....             | 72 |
| Tabel 4. 12 Koefisien Korelasi BOD <sub>5</sub> dengan Protozoa, Metazoa, dan Alga.....        | 73 |
| Tabel 4. 13 Skala Koefisien Korelasi.....  | 74 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4. 1 (a)inlet, (b)manhole ABR, (c)Anaerobic Baffled Reactor, (d)Rotating Biological Contactor, (e)unit filtrasi .....   | 43 |
| Gambar 4. 2 (a) Protozoa; (b) Telur cacing jenis <i>Ascaris lumbricoides</i> .....   | 47 |
| Gambar 4. 3 Metode Ammoniacal Silver Carbonate .....   | 48 |
| Gambar 4. 4 (a)(b) Metode Lugol; (c)(d) Metode Pengamatan Langsung .....   | 48 |
| Gambar 4. 5 Perhitungan Mikroorganisme pada Kaca Preparat.....   | 50 |
| Gambar 4. 6 Persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga di ABR dan AF .....   | 51 |
| Gambar 4. 7 (a) <i>Paramecium</i> dengan perbesaran 100x fase kontras I, (b)Mikroalga jenis <i>Coelosphaerium sp</i> dengan perbesaran 100x fase kontras, (c) <i>Gonium</i> dengan perbesaran 100x fase kontras I, (d) <i>Peranema</i> dengan perbesaran 100x fase kontras I, (e) <i>Arcella arenaria</i> dengan perbesaran 100x fase kontras I, (f) <i>Caenorhabditis elegans</i> dengan perbesaran 100x fase kontras I .....   | 52 |
| Gambar 4. 8 Persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Air Limbah di Unit RBC .....   | 54 |
| Gambar 4. 9 Persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm di Unit RBC 1 .....  | 56 |
| Gambar 4. 10 (a) <i>Chaetogaster sp</i> dengan perbesaran 100x fase kontras I, (b) <i>Philodina roseola</i> dengan perbesaran 100x fase kontras II, (c) <i>Paramecium aurelia</i> dengan perbesaran 100x fase kontras II, (d) <i>Aduncospilucum halictidae</i> dengan perbesaran 100x fase kontras II, (e) <i>Vorticella microstoma</i> perbesaran 100x fase kontras II, (f) <i>Cryptomonas rostriformis</i> perbesaran 40x fase kontras I .....   | 58 |
| Gambar 4. 11 Persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Air Limbah di Unit RBC 2.....   | 59 |
| Gambar 4. 12 (a) Testate amoeba spesies <i>Diffflugia oblonga</i> dan naked amoeba spesies <i>Arcella arenaria</i> dengan perbesaran 100x fase kontras I, (b) <i>Dileptus</i> perbesaran 100x fase kontras I, (c)naked amoeba spesies <i>Amoeba proteus</i> perbesaran 100x fase kontras I,(d) <i>Tokophrya lemnae</i> dengan perbesaran 100x fase kontras II, (e) <i>Macrocheles subbadius</i> perbesaran 100x fase kontras I, (f) <i>Vorticella microstoma</i> perbesaran 100x fase kontras I..... | 61 |



|   |    |
|---|----|
| Gambar 4. 13 Persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm di Unit RBC 2.....   | 62 |
| Gambar 4. 14 Persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm di Unit RBC 2.....   | 64 |
| Gambar 4. 15 (a)Nematoda dengan spesies <i>Caenorhabditis elegans</i> dengan perbesaran 100x fase kontras I, (b)alga dengan spesies <i>Pediastrum subgranulatum</i> , (c)vorticella dengan spesies <i>Vorticella campanula</i> , (d) <i>naked amoeba</i> dengan spesies <i>Amoeba proteus</i> . ....  | 65 |
| Gambar 4. 16 Komposisi Protozoa, Metazoa, Alga pada Air Limbah .....  | 66 |
| Gambar 4. 17 Komposisi Protozoa, Metazoa, Alga pada Biofilm.....  | 67 |
| Gambar 4. 18 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, Alga di Air Limbah IPAL Mendo  | 68 |
| Gambar 4. 19 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, Alga di RBC 1 dan RBC 2.....   | 69 |
| Gambar 4. 20 (a) <i>Vorticella convallaria</i> terlihat pada perbesaran 100x fase kontras I, (b) <i>Vorticella microstoma</i> terlihat pada perbesaran 100x fase kontras II, (c) <i>Paramecium caudatum</i> terlihat pada perbesaran 100x fase kontras II, (d) <i>Vorticella microstoma</i> terlihat pada perbesaran 40x fase kontras I ..... | 70 |
| Gambar 4. 21 Hubungan Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga dengan Kadar BOD <sub>5</sub> .....  | 72 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |    |
|--|----|
| Lampiran 1. Kegiatan Pengambilan dan Pengamatan Sampel.....      | 85 |
| Lampiran 2. Identifikasi Protista dan Metazoa .....              | 86 |
| Lampiran 3. Uji Korelasi BOD Terhadap Protista dan Metazoa ..... | 91 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air limbah dapat dihasilkan dari kegiatan rumah tangga, pertanian, maupun industri dengan beban yang besar serta berbagai macam kandungan di dalamnya. Effluent yang berasal dari berbagai sektor mengandung *organic carbon*, nitrogen, komponen anorganik, *suspended solid*, *dissolved solid*, serta logam berat (Tom et al., 2021)(Lata & Siddharth, 2021). Permasalahan air limbah dari berbagai sektor tersebut merupakan hal yang kompleks dan membutuhkan teknologi dengan efisiensi tinggi untuk mencapai kualitas air yang standar sebelum dibuang ke lingkungan (Kakavandi & Ahmadi, 2019). Oleh karena itu, Perserikatan Bangsa-Bangsa mencanangkan *Sustainable Development Goals* untuk memiliki akses air minum yang aman dan terjangkau dalam cakupan *universal* sekaligus merata di tahun 2030. Teknologi pengolahan air limbah mampu berkontribusi dalam pencapaian 11 dari 17 SDG's salah satunya adalah *clean water and sanitation* (Obaideen et al., 2022). Dalam Perpres Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2020-2024, pemerintah bertujuan untuk mencapai 90% akses sanitasi yang layak di tahun 2024 (Brontowiyono et al., 2022). Pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan salah satu usaha untuk mencapai RPJMN tersebut yang selaras dengan SDG 2024.

IPAL Komunal merupakan sistem pengolahan air limbah yang digunakan untuk skala domestik dengan pelayanan 10-100 KK atau lebih. Komponen IPAL Komunal terdiri atas unit pengolahan, sistem perpipaan, dan sambungan rumah. Sebagian besar IPAL Komunal fokus pada pengolahan *primary* dan *secondary* untuk menghilangkan partikulat dan bahan organik lainnya namun tidak dilengkapi dengan desinfeksi dan pengolahan lumpur (Nim & Faculty, 2015). Salah satu pengolahan yang mendukung dalam IPAL adalah proses biologi. Tujuan dari proses

biologi adalah untuk mengubah zat organik dalam air limbah menjadi bentuk yang tidak berbahaya dengan bantuan mikroorganisme (Nurkholis et al., 2018). Mikroorganisme seperti bakteri, protozoa, rotifera, serta fungi memiliki peran penting dalam pengolahan air limbah. Bakteri berperan dalam degradasi bahan organik. Sementara itu protozoa berperan dalam pemurnian efluen dengan mengonsumsi partikulat yang tersuspensi, dalam artian protozoa efisien dalam pemurnian air limbah karena kemampuannya dalam predasi bakteri yang tersebar di dalam air limbah (Rivas-castillo & Garcia-barrera, 2022). Oleh karena itu parameter BOD<sub>5</sub> dibutuhkan untuk representasi bahan organik yang berhasil didegradasi. Perhitungan korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kadar BOD<sub>5</sub> dengan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga yang selanjutnya dapat dijadikan parameter tambahan untuk menilai apakah degradasi bahan organik berjalan efektif.

Untuk mengetahui peran mikroorganisme tersebut di dalam air limbah, perlu dilakukan enumerasi dan identifikasi mikroorganisme. Enumerasi dari protozoa, metazoa, maupun alga merupakan prosedur yang penting dilakukan untuk mengevaluasi keberadaan mikroorganisme sebagai indikator kualitas efluen atau sebagai kontrol proses biologi. Pengamatan akan dilakukan dengan mengamati sel hidup mikroorganisme dengan metode tertentu. Karakteristik bentuk, pergerakan, warna maupun struktur tubuh seperti nukleus, struktur oral, dan vakuola hanya dapat terlihat saat organisme masih hidup. Oleh karena itu kejelasan gambar juga merupakan komponen penting dalam enumerasi dan identifikasi mikroorganisme (Serrano & Arregui, 2008).

Terdapat banyak metode yang dapat digunakan dalam pengamatan mikroorganisme di bawah mikroskop. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Serrano & Arregui (2008) terdapat metode *ammoniacal silver carbonate* untuk proses identifikasi protozoa. Selain itu dalam SNI 06-3963-1995 menggunakan metode dengan menambahkan lugol dalam sampel. Metode lainnya adalah metode pengamatan langsung tanpa menambahkan bahan kimia apapun yang dilakukan

oleh Babko, et al (2008). Dalam penelitian ini nantinya akan menentukan metode yang paling sesuai untuk enumerasi dan identifikasi.

Penelitian dilakukan pada tiap unit di IPAL Komunal Mendiro, Sukoharjo, Kec. Ngaglik, Kab. Sleman untuk mengetahui keberadaan protozoa, metazoa, dan alga yang akan diamati dibawah mikroskop. Lokasi dipilih berdasarkan adanya pengolahan biologis yang menggunakan kemampuan mikroorganisme sebagai komponen penting dalam pengolahan air limbah baik dalam kondisi aerobik berupa RBC (*Rotating Biological Contactor*) dan anaerobik berupa ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) dan AF (*Anaerobic Filter*). Lingkup dari penelitian ini adalah pengamatan protozoa, metazoa, dan alga di tiap unit IPAL Komunal Mendiro yang meliputi ABR, AF, RBC 1 dan 2, serta unit filtrasi dengan menggunakan mikroskop.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dikaji, rumusan masalah yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana metode yang sesuai untuk mengamati kelimpahan dan keragaman protozoa, metazoa, dan alga di IPAL Komunal Ngudi Mulyo Sleman?
2. Bagaimana kelimpahan dan keragaman protozoa, metazoa, dan alga di setiap unit pengolahan IPAL Komunal Ngudi Mulyo Sleman?
3. Bagaimana hubungan kadar BOD<sub>5</sub> pada tiap unit pengolahan dengan kelimpahan protista, metazoa, dan alga IPAL Komunal Mendiro?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Dalam penelitian ini memiliki tujuan yang akan dicapai yaitu sebagai berikut :

1. Menentukan metode yang sesuai untuk mengamati kelimpahan dan keragaman protozoa, metazoan, dan alga di IPAL Komunal Ngudi Mulyo Sleman
2. Menghitung dan menganalisis kelimpahan dan keragaman protozoa, metazoan, dan alga di IPAL Komunal Ngudi Mulyo Sleman
3. Menjelaskan keterkaitann antara kadar BOD<sub>5</sub> di tiap unit pengolahan IPAL dengan kelimpahan protozoa, metazoan, dan alga di IPAL Komunal Mendiro untuk menilai seberapa efektif degradasi bahan organik oleh mikroorganisme tersebut

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian yang dilakukan adalah untuk memberikan informasi pengetahuan tentang kelimpahan dan keragaman mikroorganisme khususnya protozoa dan alga di tiap unit pengolahan IPAL Komunal Mendiro Sleman yang selanjutnya bisa dijadikan referensi dalam evaluasi perencanaan IPAL Komunal khususnya pada kebutuhan mikroorganisme. Penelitian ini juga memberikan informasi kepada pembaca seberapa efektif degradasi bahan organik yang dilakukan oleh mikroorganisme khususnya protozoa, metazoan, dan alga. Penelitian ini diharapkan bisa menjadi referensi untuk mengetahui dominasi mikroorganisme yang berperan di dalam unit pengolahan IPAL Komunal.

### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di IPAL Komunal Mendiro, Sukoharjo, Kec. Ngaglik, Kab. Sleman

2. Objek penelitian adalah mikroorganisme protozoa, metazoa, dan alga yang diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran lensa objektif 4x sampai 40x dengan fase kontras 1 sampai 4.
3. Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel di ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*), AF (*Anaerobic Baffled Reactor*), RBC (*Rotating Biological Contactor*) 1 dan 2, serta unit filtrasi
4. Penelitian ini menggunakan 3 metode yaitu metode lugol, metode *ammoniacal silver carbonate*, dan metode pengamatan langsung



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Karakteristik Air Limbah Domestik

Di Indonesia, *black water* dan *grey water* pada umumnya dipisah dari sumbernya. Sebanyak 86% *black water* di daerah perkotaan dan 68% di daerah pedesaan diolah di *septic tank*. Hanya 1% rumah tangga yang terhubung dengan pembuangan limbah terpusat yang mengolah baik *grey water* maupun *black water* (BPS, 2019). Di sisi lain, pengolahan air limbah yang terdesentralisasi telah diterapkan di bawah program SANIMAS (Sanitasi oleh Masyarakat) sejak tahun 2003 dengan cakupan program lebih dari 15.000 unit di 26 provinsi yang tiap unitnya melayani 20-50 sambungan rumah (WSP, 2013).

Karakteristik air limbah domestik dapat dilihat dari beberapa parameter diantaranya adalah pH, TSS, TDS, komponen organik (BOD, COD), serta parameter biologi (Kalsum et al., 2014)(Lim et al., 2014). Dalam penelitian karakteristik air limbah di Indonesia dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Limbah di Indonesia

| No | Parameter                             | <i>Grey Water</i>                   | <i>Black Water</i> |
|----|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1. | pH                                    | 6,5 – 8,6                           | 6,2 – 7,4          |
| 2. | TSS (mg/L)                            | 77 – 382                            | 184 – 482          |
| 3. | TDS (mg/L)                            | 152 – 376                           | 652 – 840          |
| 4. | BOD (mg/L)                            | 125 – 401                           | 206 – 850          |
| 5. | COD (mg/L)                            | 232 – 780                           | 509 – 2361         |
| 6. | <i>Oil and grease</i><br>(mg/L)       | 24 – 87                             | 14                 |
| 7. | <i>Fecal coliform</i><br>(MPN/100 ml) | $2,4 \times 10^3 - 1,2 \times 10^9$ | $9,8 \times 10^5$  |

Analisis kualitas air limbah dapat dipantau dari indikator biologi dan kimia. Indikator biologi dapat diartikan sebagai korelasi antara perilaku komunitas di alam dengan lingkungan (Andika et al., 2020). Sedangkan indikator kimia seperti pH atau tingkat keasaman air harus dipantau sebelum air limbah dibuang ke badan air. Air yang memiliki pH tinggi atau bersifat asam bisa menyebabkan korosif dan iritasi bagi kulit manusia serta menjadi bersifat toksik bagi biota air. Parameter lainnya adalah TSS (*Total Suspended Solid*) berupa partikel yang tidak bisa larut di dalam air namun tidak bisa dihilangkan dengan filtrasi biasa. TSS keberadaannya bisa disaring dengan filter khusus dengan pori-pori 40 mikrometer. TSS ini dapat menyebabkan kekeruhan dalam air. Air dikatakan sangat keruh karena kandungan TSS sangat tinggi. Parameter TDS merupakan padatan terlarut atau jumlah *kation* dan *anion* di dalam air. Kandungan padatan ini umumnya dalam bentuk garam anorganik. Kandungan TDS yang tinggi menyebabkan tingkat kesadahan dalam air tinggi. Air dengan tingkat TSS dan TDS tinggi dapat menghalangi sinar matahari yang masuk, sehingga menghambat fotosintesis di perairan (Daya, 2022).

Nilai BOD juga sering dikaitkan dengan bahan organik yang terolah di dalam suatu air, namun nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya melainkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk degradasi bahan organik. Sedangkan COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam proses oksidasi bahan organik di dalam air secara kimiawi.

## **2.2 IPAL Komunal**

Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal adalah sistem pengolahan air limbah secara terpusat dari air limbah yang berasal dari aktivitas rumah tangga guna mengurangi beban pencemar yang diatur di dalam peraturan sebelum dibuang ke lingkungan. Berdasarkan Permen LHK No. 11 Tahun 2017, sistem pengolahan air limbah IPAL Komunal dengan cara mengumpulkan air limbah secara bersamaan di suatu lokasi yang kemudian akan diolah oleh unit-unit IPAL sebelum akhirnya dibuang ke badan air. Pengumpulan air limbah dilakukan melalui sistem perpipaan. Jaringan perpipaan dalam sistem IPAL memiliki kemiringan minimum 2% dan

kedalaman pipa minimum 1 m harus lebih rendah dari pipa sambungan rumah sebagaimana tertulis pada Peraturan Menteri Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 01 Tahun 2014 Tentang Petunjuk Teknis Penggunaan Dana Alokasi Khusus Bidang Perumahan Dan Kawasan Permukiman.

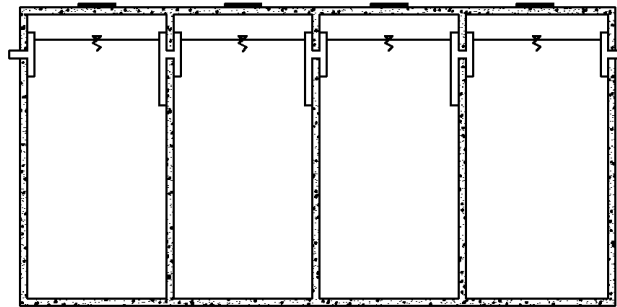
Pengolahan air limbah pada dasarnya adalah proses meminimalisir bahan pencemar yang bisa berbahaya bagi lingkungan. Saat influen masuk pada pengolahan biologis, terjadi removal nutrien oleh mikroorganisme. Sistem biologi dari pengolahan air limbah termasuk di dalamnya bakteri, protozoa, rotifera, serta fungi memiliki peran penting dalam degradasi bahan organik. Pengolahan air limbah dapat dibagi menjadi pengolahan primer (*primary treatment*), pengolahan sekunder (*secondary treatment*), dan pengolahan tersier atau lanjutan (*advanced treatment*). Pengolahan primer merupakan proses pengolahan pendahuluan untuk menghilangkan padatan tersuspensi, koloid, serta penetralan yang umumnya menggunakan proses fisika atau proses kimia. Pengolahan sekunder merupakan proses untuk menghilangkan senyawa polutan organik terlarut yang umumnya dilakukan secara biologis. Sedangkan pengolahan lanjutan adalah proses yang digunakan untuk menghasilkan air olahan dengan kualitas yang lebih bagus sesuai dengan yang diharapkan. Prosesnya dapat dilakukan baik secara biologis, fisika, kimia atau kombinasi dari ketiga proses tersebut (Said, 2005).

Dalam proses biologi pada IPAL Komunal, terdapat 2 sistem pengolahan yang menjadi opsi untuk digunakan sesuai kebutuhan. 2 sistem tersebut diantaranya adalah :

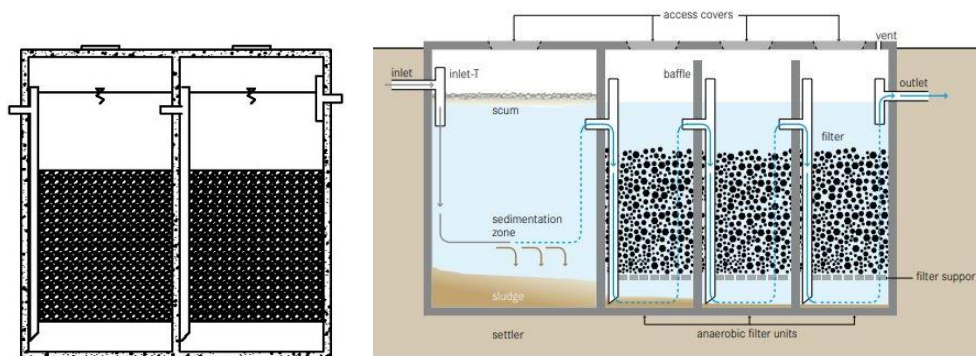
1. Sistem Anaerob

Pada sistem anaerob, instalasi pengolahan air limbah rumah tangga menggunakan bakteri untuk proses degradasi bahan organiknya dalam keadaan minim bahkan tidak ada oksigen (Prada, 2022). Contoh unit dari sistem ini adalah ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*), dan AF (*Anaerobic Filter*). ABR merupakan salah satu unit pengolahan air limbah yang memiliki sekat-sekat dengan aliran air limbah naik turun untuk memperluas kontak air limbah dengan biomassa agar terjadi pengolahan. Umumnya ABR digunakan di

IPAL Komunal dikarenakan sesuai dengan pertimbangan selain memiliki konstruksi yang sederhana, pengoperasian ABR mudah dan ekonomis (Bachmann et al., 1985).



Gambar 2. 1 Unit ABR Tampak Depan

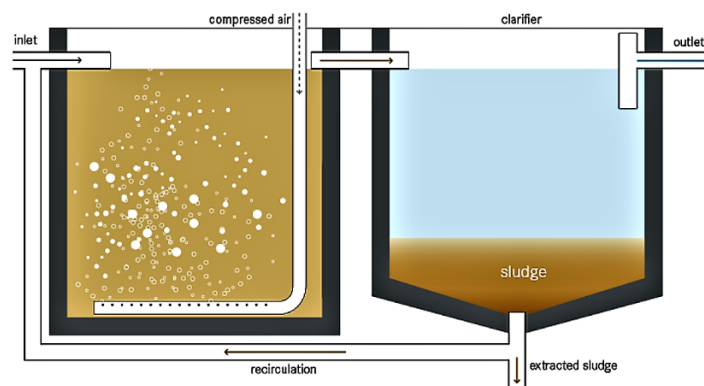


Gambar 2. 2 Unit AF Tampak Depan (Sumber : [www.sswm.info](http://www.sswm.info))

Untuk teknologi sistem anaerobic lainnya adalah AF. Teknologi ini merupakan pengolahan air limbah dengan menggunakan media atau tempat melekatnya bakteri untuk menyisahkan bahan organik yang ada. Konstruksi pada unit AF ini sama dengan ABR, namun perbedaannya hanya terletak pada penggunaan media dalam unit AF.

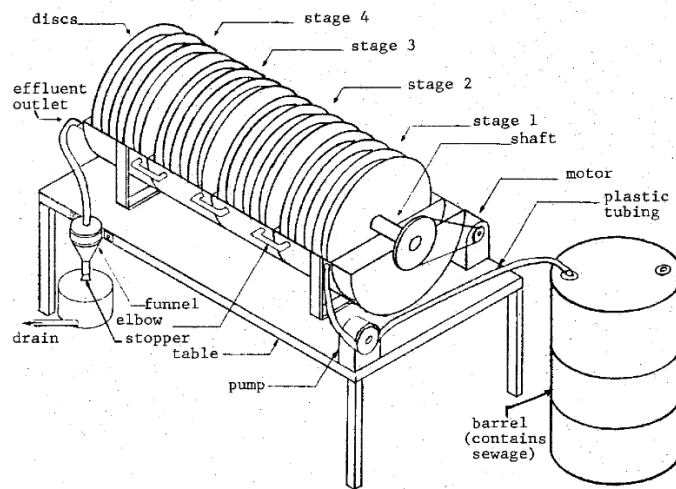
## 2. Sistem Aerob

Pada sistem aerobik, air limbah akan dikontakkan dengan oksigen baik dengan cara menambahkan unit aerator ataupun kontak dengan oksigen secara alami. Contoh unit yang menggunakan sistem ini adalah *activated sludge* dan RBC (*Rotating Biological Contactor*). Pada sistem aerob menggunakan mikroorganisme yang mampu hidup dalam kondisi yang memiliki kadar oksigen untuk mendukung proses oksidasi bahan organik.



Gambar 2. 3 Unit *Activated Sludge* (Sumber : [www.netsolwater.com](http://www.netsolwater.com))

Pada teknologi lumpur aktif air limbah akan masuk ke dalam tangki aerasi yang akan diaduk menggunakan aerator. Di dalam tangki tersebut terdapat biomassa yang membantu dalam degradasi bahan organik. Air limbah dalam tangki aerasi kemudian akan dialirkan menuju *clarifier* (tangki sedimentasi) untuk mengendapkan flok-flok. Pengendapan tersebut berlangsung dengan memanfaatkan gravitasi. Lumpur yang mengendap dalam tangki sedimentasi tersebut akan dialirkan kembali sebagian menuju tangki aerasi, dan sebagian dibuang ke digester (Pranoto et al., 2019).



Gambar 2. 4 Unit RBC

Teknologi lainnya adalah RBC (*Rotating Biological Contactor*) memiliki cakram yang dipasang pada poros berbentuk horizontal dengan sebagian terendam dalam air (Dwicaesa et al., 2019). Poros tersebut berputar yang memungkinkan terjadinya kontak antara air limbah dengan biofilm yang tumbuh pada permukaan cakram. Dalam sistem aerobik, perputaran cakram mendorong transfer oksigen dan mampu mempertahankan biomassa dalam kondisi aerob (Ito et al., 2019).

### 2.3 Mikroorganisme pada Unit IPAL

Pada proses biologis tidak lepas dari peran mikroorganisme. Salah satunya pada teknologi RBC, mikroorganisme yang berperan diantaranya bakteri, alga, protozoa, dan fungi yang tumbuh melekat pada permukaan cakram (Dwicaesa et al., 2019). Sebagian besar removal *nutrient* dilakukan oleh bakteri, namun keseimbangan populasi bakteri tersebut tidak lepas dari keberadaan protozoa dan metazoa. Keberadaan mikroorganisme lain seperti protozoa, metazoa, nematoda, serta alga berperan penting dalam degradasi bahan organik dari air limbah. Protozoa dapat menghilangkan bakteri berlebih dan menstimulasi pertumbuhan bakteri tertentu untuk mendukung terjadinya flok (Motta & Pons, 2004). Contoh

mikroorganisme lainnya adalah nematoda yang mampu berkembang di dalam unit pengolahan air limbah untuk mempermudah difusi oksigen dengan membuat lubang di partikel flok. Metazoa lainnya seperti rotifera berperan dalam removal *non-flocculated* bakteri yang bisa meningkatkan TSS dalam air limbah. Sedangkan mikroalga berperan sebagai suplai oksigen untuk degradasi bahan organik dalam keadaan aerobik (Motta & Pons, 2004).

Kumpulan dari mikroorganisme tersebut seperti protozoa dan metazoa membentuk dalam suatu susunan yang dinamakan biofilm (Martín-Cereceda et al., 2001). Biofilm ini biasanya tumbuh melapisi permukaan *disk* (cakram) di unit RBC (*Rotating Biological Contactor*) (Martín-Cereceda et al., 2002). Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa keberadaan protista dan metazoa mengindikasikan pengaruh dalam struktur biofilm. Ciliata termasuk kelompok protozoa yang dominan di dalam unit pengolahan air limbah (Kinner et al., 1983). Selain itu, mikro flagel juga merupakan kelompok protozoa yang dominan di pengolahan air limbah, keadaan ini menunjukkan bahwa bahan organik masih tinggi dalam unit pengolahan (Puigagut et al., 2007). Mikroorganisme dapat dijadikan sebagai salah satu indikator biologi pada perairan tercemar dalam hal respon terhadap bahan pencemar atau bahan organik yang masuk.

## 2.4 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu Terkait Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga

| No | Nama Peneliti, Tahun | Hasil Penelitian Secara Umum  |
|----|----------------------|---|
| 1. | Babko et.al, 2014    | Komposisi <i>periphyton</i> (biofilm) dan perkembangan kuantitatif pada unit pengolahan air limbah dengan menggunakan proses biologis teridentifikasi diantaranya alga, fungi, flagellata, <i>testate amoeba</i> , ciliata, rotifera, dan nematoda. Struktur <i>periphyton</i> menunjukkan kecenderungan yang sama ditentukan |

|    |                      |   |
|----|----------------------|---|
|    |                      | dengan kondisi umum pada sistem dimana dari awal pengolahan sampai akhir jumlah bahan organik berkurang. Kelimpahan maksimum tercapai di dalam <i>primary</i> dan <i>secondary clarifier</i> . Kelimpahan didominasi oleh alga, rotifera, dan ciliata. Kelimpahan flagellata mulai dari awal sampai akhir pengolahan turun lebih dari 30 kali, serta di akhir pengolahan kelimpahan protozoa dan metazoan turun.  |
| 2. | Tan et.al, 2010      | Analisis <i>multivariate</i> menunjukkan bahwa taksonomi spasial dari komunitas protozoa berkaitan secara signifikan dengan kondisi lingkungan terutama konsentrasi COD, BOD <sub>5</sub> , NO <sub>3</sub> -N, dan NH <sub>4</sub> . Kekayaan spesies tidak bergantung pada parameter <i>physical-chemical</i> , perbedaan taksonomi berkorelasi positif terhadap konsentrasi DO ( <i>Dissolved Oxygen</i> ) dan NO <sub>3</sub> -N, namun berkorelasi negatif dengan COD dan BOD <sub>5</sub> . Oleh karena itu analisis spasial komunitas protozoa dan keragaman taksonominya dapat digunakan dalam menilai kualitas air sungai. |
| 3. | Cereceda et.al, 2000 | <i>Rotating Biological Contactor</i> (RBC) dioperasikan untuk removal bahan organik. Penelitian ini untuk menentukan distribusi protozoa dan metazoa yang tumbuh pada biofilm RBC dan berkaitan dengan konsentrasi BOD <sub>5</sub> sepanjang unit RBC. Enumerasi secara mikroskopis mengindikasikan bahwa komunitas biofilm mayoritas tersusun oleh protozoa berupa ciliata. Karakterisasi spesies ciliata dengan <i>Vorticella convallaria</i> , <i>Epistylis entzii</i> , dan <i>Carchesium polypinum</i> menjadi mikroorganisme paling dominan pada sistem RBC. Metazoa hanya mencapai proporsi                                 |



|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>yang terlihat pada tahap terakhir sistem. Distribusi spasial pada komunitas biofilm mencerminkan perubahan lingkungan yang diamati sebagai pemurnian air limbah. Penelitian juga menunjukkan keberadaan ciliata, amoeba, serta nematoda berkorelasi negatif terhadap BOD<sub>5</sub>.</p> |
|--|--|--|

Penelitian terhadap biofilm mayoritas mengenai sistem purifikasi air limbah, dimana merupakan instrumen utama dan faktor yang mempengaruhi terhadap proses pengolahan air limbah (Babko et al., 2014). Keberadaan mikroorganisme seperti protozoa, metazoan, dan alga sangat berperan dalam proses biologi di pengolahan air limbah dalam hal degradasi bahan organik. Mikroorganisme tersebut dapat menjadi salah satu indikator untuk menilai apakah pengolahan air limbah dalam suatu IPAL Komunal beroperasi efektif atau tidak. Dengan kemampuan mikroorganisme dalam mengurangi bahan organik di air limbah, maka kadar BOD<sub>5</sub> di air limbah merupakan hal yang penting. Karena BOD<sub>5</sub> merupakan representasi dari kebutuhan oksigen dalam mendegradasi bahan organik. Nilai BOD<sub>5</sub> dapat menunjukkan seberapa banyak bahan organik yang dapat dihilangkan. Perairan dikatakan bebas dari pencemaran apabila bahan organik yang terkandung di dalamnya sedikit sehingga kadar BOD<sub>5</sub> rendah. Ditinjau dari penelitian sebelumnya bahwa BOD<sub>5</sub> berkorelasi negatif terhadap keberadaan protozoa dan metazoa. Hal ini dikarenakan protozoa dan metazoa merupakan predator dari bahan organik tersebut sehingga, semakin banyak bahan organik yang dikonsumsi protozoa dan metazoa menjadikan bahan organik dalam air limbah rendah sementara itu keberadaan protozoa dan metazoa mendominasi.

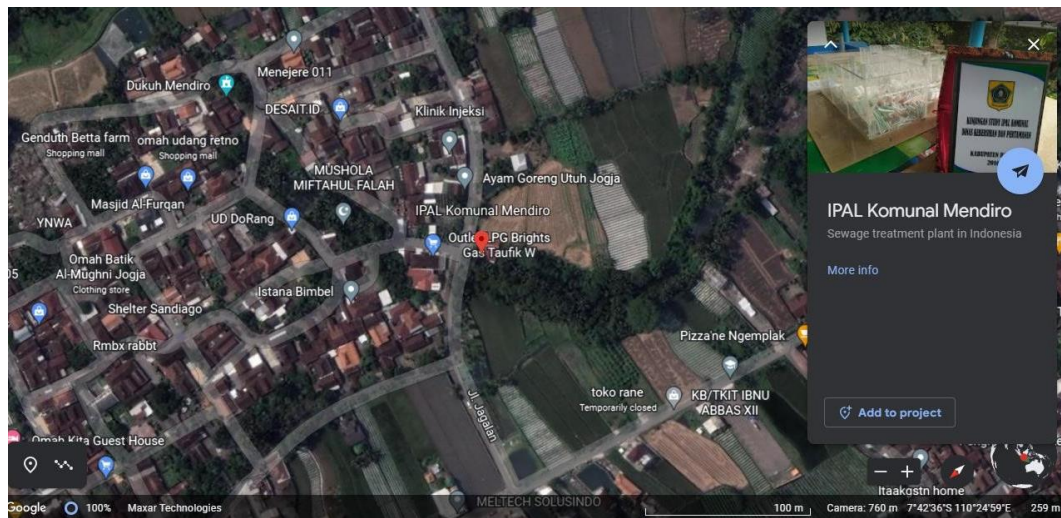
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di IPAL Komunal Mendirol, Sukoharjo, Kec. Ngaglik, Kab. Sleman, D.I. Yogyakarta. Penelitian dimulai pada bulan Desember 2023 sampai April 2023. Pengambilan sampel dilakukan pada tiap unit pengolahan mulai dari ABR, RBC 1 dan 2, dan unit filtrasi. Kemudian pengamatan dan uji laboratorium akan dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

#### 3.2 Metode Penelitian

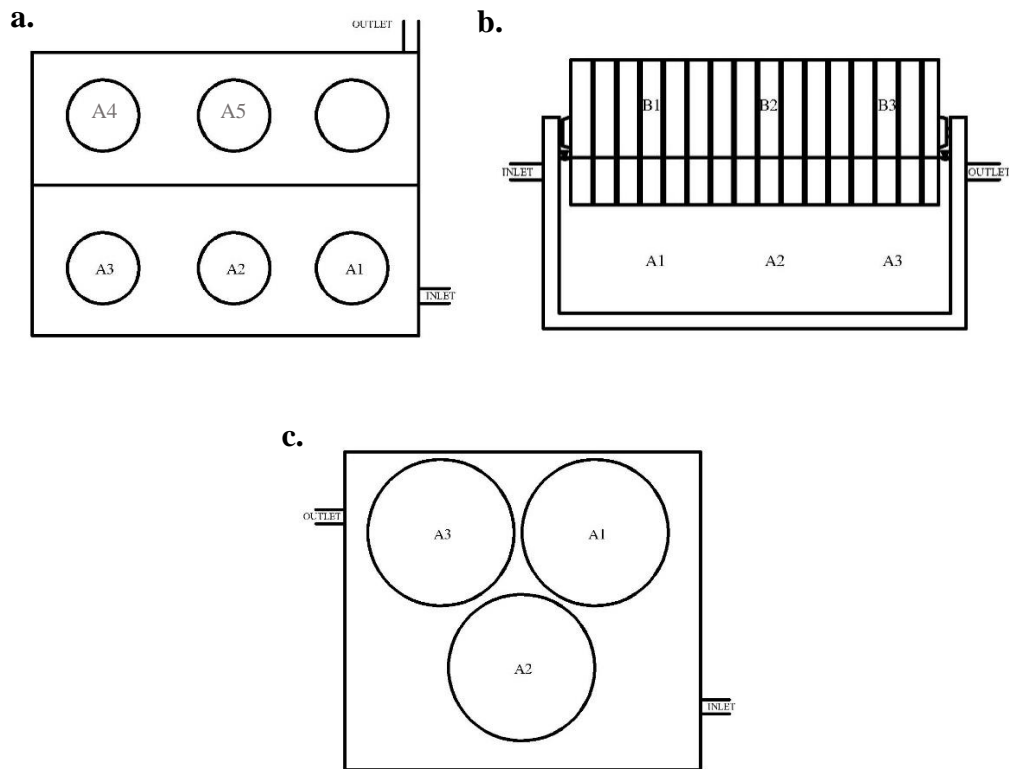
##### 3.2.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air limbah dilakukan pada setiap unit pengolahan di IPAL Komunal Mendirol, Sleman yaitu unit ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*), AF (*Anaerobic Filter*), RBC (*Rotating Biological Contactor*), filtrasi.

Tabel 3. 1 Metode Sampling Unit IPAL Komunal Mendiro

| No | Unit Pengolahan                            | Sampel                | Metode Sampling           | Referensi  |
|----|--|-----------------------|---------------------------|--|
| 1  | <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR)     | Air limbah            | <i>Composite sampling</i> | SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah  |
| 2  | <i>Anaerobic Filter</i> (AF)               | Air limbah            | <i>Composite sampling</i> | SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah  |
| 3  | <i>Rotating Biological Contactor</i> (RBC) | Air Limbah<br>Biofilm | <i>Grab sampling</i>      | SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah<br><br>Martín-Cereceda, M., Serrano, S., & Guinea, A. (2001). <i>Biofilm Communities And Operational Monitoring Of A Rotating Biological Contactor System. Water, Air, and Soil Pollution</i> , 126(3–4), 193–206. |
| 4  | Filtrasi                                   | Air limbah            | <i>Composite Sampling</i> | SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah  |

Sampling air limbah dilakukan dengan metode *grab* dan *composite* yang mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. *Composite sampling* dilakukan pada unit ABR dan filtrasi dikarenakan pada unit ABR dan filtrasi tersebut memiliki ruang yang lebih dari satu. *Composite sampling* sendiri dilakukan pada air yang kualitasnya dapat berubah seiring dengan perubahan tempat, maka dari itu pengambilan sampel dilakukan di beberapa lokasi dan digabung untuk mewakili unit tersebut. Sedangkan *grab sampling* dilakukan pada unit RBC 1 dan 2 baik sampel biofilm maupun air limbah. Pada *grab sampling*, pengambilan dilakukan satu kali pada satu lokasi untuk mewakili kualitas air saat pengambilan yang cenderung stabil.



Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel di ABR, RBC, dan Filtrasi

Keterangan :

A : Air Limbah

B : Biofilm

Pada unit ABR sampling air limbah dilakukan secara *compsite* di 3 kompartemen. Sedangkan pada unit AF sampling dilakukan *composite* di 2 kompartemen (A4 dan A5). Sementara itu, pada unit RBC pengambilan sampel air limbah dan biofilm dilakukan pada 3 titik di bagian awal, bagian tengah, dan bagian akhir unit. Pengambilan sampel biofilm dilakukan dengan mengikis biofilm kemudian dilarutkan dengan aquades sampai 20 ml (Martín-Cereceda et al., 2001). Untuk unit filtrasi, pengambilan sampel dilakukan pada 3 bak yang ada. Setelah itu sampel-sampel yang akan dianalisis dengan mikroskop kemudian disimpan dalam *refrigerator* dengan temperature 7 °C (Babko et al., 2014).

### 3.2.2 Pengamatan Protozoa, Metazoa, dan Alga

#### 1. Metode Biasa

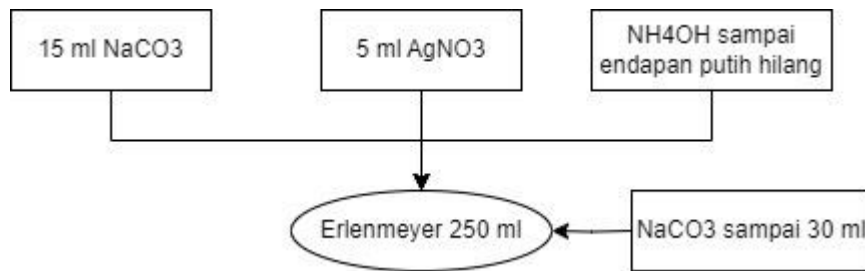
Metode biasa tanpa campuran bahan kimia mengacu pada jurnal (Babko et al., 2014). Pengamatan protozoa, metazoa, dan alga dilakukan 30 menit hingga 12 jam setelah pengambilan sampel (Serrano, et al., 2008). Sampel air limbah akan diamati menggunakan sel hitung Sedgewick rafter dibawah mikroskop perbesaran lensa objektif 4x dan 10x dengan *phase contrast* 0 sampai 4. Sedangkan untuk biofilm akan diamati dengan menggunakan kaca preparat cekung yang memiliki volume 0,025 ml. Biofilm akan diamati dibawah mikroskop dengan perbesaran 40x sampai 400x dengan *phase contrast* 0 sampai 4.

#### 2. Metode Lugol

Metode lugol atau eosin yang mengacu pada SNI 06-3963-1995 tentang Metode Pengujian Jenis dan Jumlah Plankton dalam Air. Metode ini menggunakan penambahan larutan eosin atau lugol 1-2% ke dalam sampel. Larutan eosin ini nantinya akan membuat pergerakan mikroorganisme melemah sehingga akan lebih mudah diamati.

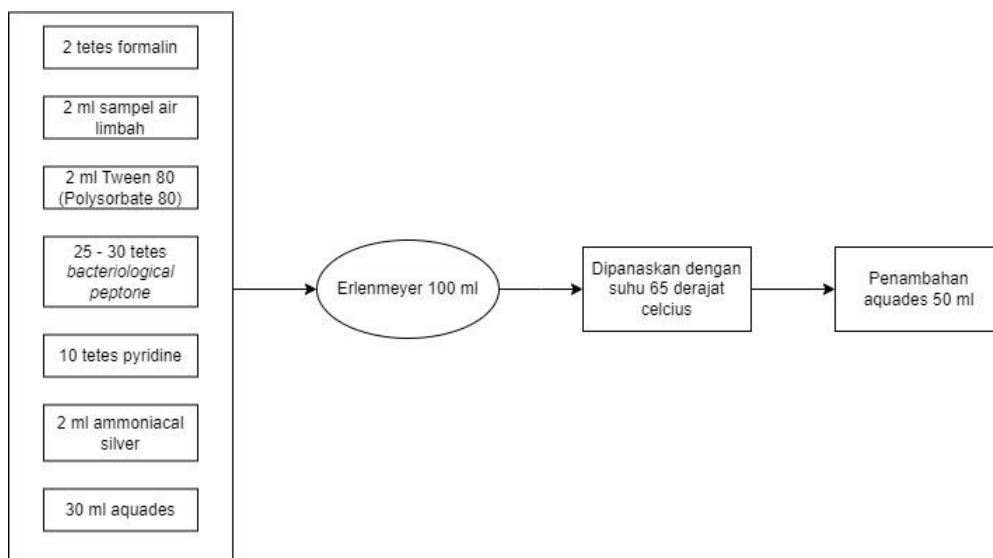
#### 3. Metode *Ammoniacal Silver Carbonate*

Metode yang ketiga adalah *ammoniacal silver carbonate* yang mengacu pada jurnal (Galiano, 1994) dan buku karya (Serrano & Arregui, 2008). Prinsip dasar dari metode ini adalah menghilangkan komponen organik yang mengganggu pengamatan dengan mewarnai mikroorganisme target (Serrano & Arregui, 2008). Dalam metode ini terdiri dari 2 tahap, yaitu pembuatan larutan *ammoniacal silver carbonate* dan persiapan sampel.



Gambar 3. 3 *Flowchart* Pembuatan Larutan *Ammoniacal Silver Carbonate*

Pembuatan larutan *ammoniacal silver carbonate* menggunakan 100 ml erlenmeyer. Dalam 100 ml erlenmeyer tersebut dituangkan beberapa bahan diantaranya adalah 5% NaCO<sub>3</sub> 20 ml, 10% AgNO<sub>3</sub> 7 ml. Dari campuran kedua bahan ini akan menghasilkan endapan putih di dasar tabung kemudian ditambahkan NH<sub>4</sub>OH sedikit demi sedikit sampai endapan putih hilang. Langkah terakhir adalah menambahkan NaCO<sub>3</sub> sampai tanda batas 30 ml.



Gambar 3. 4 *Flowchart* Persiapan Sampel

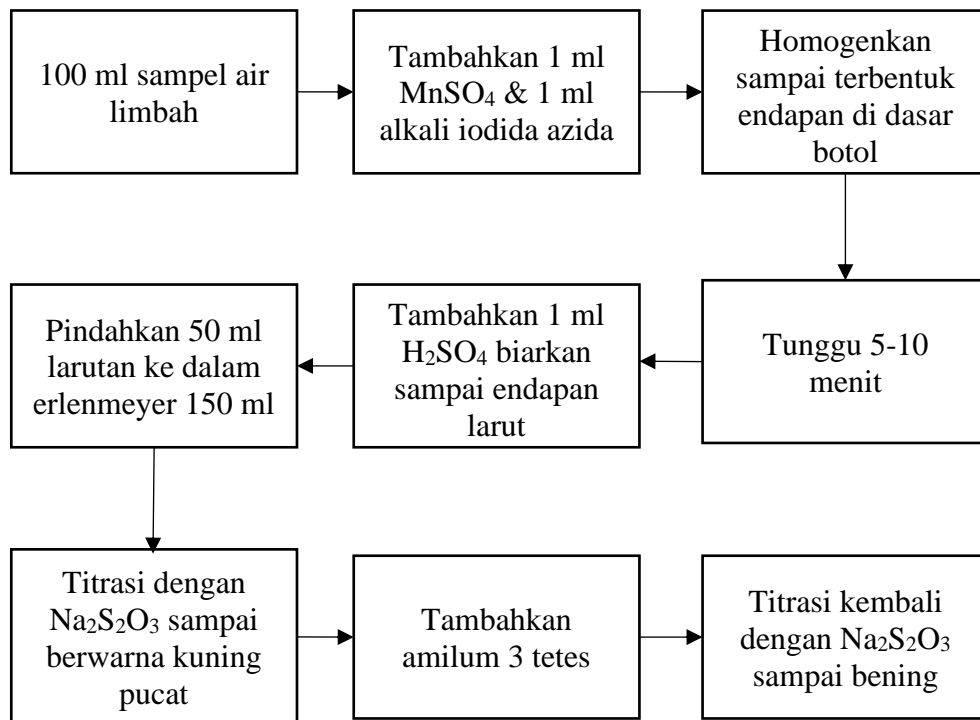
Dalam 100 ml erlenmeyer ditambahkan 2 tetes larutan formalin, 2 ml sampel air limbah atau biofilm yang akan diamati, 2 ml tween 80%, 30 tetes *bacteriological peptone*, 10 tetes *pyridine*, 2 ml *ammoniacal silver carbonate*, kemudian 30 ml

aquades. Proses selanjutnya adalah pemanasan dengan suhu 65 °C sampai larutan berwarna coklat gelap, kemudian ditambahkan aquades 50 ml.

### **3.2.3 Pengukuran BOD**

Untuk mendukung dalam menentukan kualitas pengolahan air limbah, pengukuran BOD<sub>5</sub> dilakukan di unit ABR, RBC, dan filtrasi yang mengacu pada SNI 6989.72:2009 tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biological Oxygen Demand/BOD*) dengan mengukur selisih antara konsentrasi DO (*Dissolved Oxygen*) pada hari ke-0 yaitu hari dimana sampling dilakukan dan pada hari ke-5. Perhitungan konsentrasi DO mengacu pada SNI 06- 6989.14-2004 Tentang Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida). Pengukuran BOD<sub>5</sub> dilakukan untuk mengetahui banyaknya bahan organik yang terdegradasi di pengolahan air limbah pada IPAL Komunal Mendiro khususnya dalam proses biologis yang memanfaatkan peran mikroorganisme seperti protozoa, metazoa, dan alga. Berikut merupakan diagram alir pengukuran konsentrasi DO :





Gambar 3. 5 Prosedur Pengujian DO sesuai SNI 06-6989.14-2004 Tentang Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida)

Prosedur dilakukan dengan mengambil 100 mL air limbah dan ditambahkan 1 ml  $\text{MnSO}_4$  & 1 ml alkali iodida azida dihomogenkan sampai membentuk endapan putih. 50 ml sampel kemudian dipindahkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 1 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sampai endapan larut. Sampel dititrasi menggunakan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  sampai berwarna kuning pucat kemudian ditambahkan 3 tetes amilum dan dititrasi kembali sampai berwarna bening.

### 3.3 Kesesuaian Metode dengan Identifikasi dan Enumerasi Protozoa, Metazoa, dan Alga

Identifikasi protozoa, metazoa, maupun alga dilakukan saat mikroorganisme dalam keadaan hidup dan diwarnai. Pengamatan saat mikroorganisme dalam keadaan hidup diperlukan karena beberapa karakteristik mikroorganisme hanya bisa diamati saat fase ini. Sementara itu, pewarnaan mikroorganisme dapat

menunjukkan susunan struktur tubuh tertentu seperti nukleus, area oral, serta vakuola. Karakteri ini merupakan hal yang utama dalam identifikasi spesies. Pewarnaan mikroorganisme umumnya menggunakan garam silver yang dapat menghilangkan komponen organik yang mengganggu kejelasan gambar. Oleh karena itu ditentukan parameter dan skoring untuk memudahkan dalam identifikasi dan enumerasi mikroorganisme yang nantinya metode yang terpilih harus berdasarkan hasil skoring terhadap parameter diantaranya adalah :

a. Kejelasan gambar

Kejelasan gambar berkaitan dengan kualitas gambar yang dapat dilihat melalui mikroskop. Pengamatan mikroorganisme pada sampel air limbah seringkali terdapat flok yang mengganggu, maka dari itu mikroorganisme harus terlihat jelas untuk mengetahui morfologinya

b. Enumerasi mikroorganisme

Perhitungan mikroorganisme dilakukan secara manual satu-persatu, maka dari itu kejelasan gambar sangat diperlukan.

c. Identifikasi mikroorganisme

Identifikasi mikroorganisme perlu dilakukan untuk mengetahui peran dalam pengolahan air limbah. Kejelasan morfologi diperlukan untuk memudahkan identifikasi tersebut.

d. Pergerakan mikroorganisme

Perlu diketahui bahwa protozoa dan metazoa dapat bergerak aktif seperti berenang bebas serta merayap pada flok. Maka dari itu perlunya reduksi pergerakan mereka untuk memudahkan dalam perhitungan dan identifikasi.

e. Persiapan sampel

Sampel air limbah dan biofilm dapat diamati selama 30 menit sampai 12 jam. Mengingat banyak sampel yang diamati dengan waktu yang terbatas maka, keefisienan waktu dalam persiapan sampel diutamakan.

### 3.4 Prosedur Analisa Data

#### 3.4.1 Analisis Kelimpahan dan Keragaman Protozoa, Metazoa, dan Alga

Pada penelitian ini, analisis data dilakukan dengan analisis statistika. Perhitungan organisme pada sel hitung Sedgewick rafter dan kaca objek mengacu pada perhitungan SNI 06-3963-1995 tentang Metode Pengujian Jenis dan Jumlah Plankton dalam Air.

$$N = \frac{C \times 1000 \text{ mm}^3}{A \times D \times F} \quad (1)$$

Keterangan :

N : Jumlah individu per ml

C : Jumlah individu yang dihitung

A : Luas lapangan yang dihitung ( $\text{mm}^2$ )

D : Kedalaman sel hitung Sedgewick rafter (mm)

F : Jumlah lapangan yang dihitung

Sedangkan untuk perhitungan sampel biofilm menggunakan rumus perhitungan kelimpahan fitoplankton yaitu rumus dari APHA (*American Public Health Association*) (Rice et al., 2012) yaitu sebagai berikut:

$$N = Z \times \frac{X}{Y} \times \frac{1}{V} \quad (2)$$

Keterangan :

N : Jumlah individu per ml

Z : Jumlah individu yang dihitung

X : Volume contoh uji yang tersaring (20 ml)

Y : Volume 1 tetes sampel biofilm (0,025 ml)

V : Volume contoh uji yang diambil (20 ml)

### 3.4.2 Analisis Korelasi BOD<sub>5</sub> Terhadap Kelimpahan dan Keragaman Protozoa, Metazoa, dan Alga

Perhitungan BOD<sub>5</sub> didapat dari selisih konsentrasi DO hari ke-0 dan ke-5. Rumus penentuan konsentrasi DO yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Oksigen terlarut (mg/L)} = \frac{V \times N \times 8000 \times F}{50} \quad (3)$$

Keterangan :

V : ml Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

N : Normalitas Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

F : Faktor (Volume botol dibagi volume botol dikurangi volume pereaksi MnSO<sub>4</sub> dan alkali iodida azida)

Setelah dilakukan perhitungan konsentrasi DO<sub>0</sub> dan DO<sub>5</sub> dilanjutkan dengan perhitungan kadar BOD<sub>5</sub> dengan rumus berikut :

$$BOD_5 = \frac{(A_1 - A_2 \left( \frac{B_1 - B_2}{V_B} \right)) V_c}{P} \quad (4)$$

Keterangan :

BOD<sub>5</sub> : Nilai kadar BOD<sub>5</sub> (mg/L)

A<sub>1</sub> : Oksigen terlarut contoh uji sebelum inkubasi (hari ke-0) (mg/L)

A<sub>2</sub> : Oksigen terlarut contoh uji setelah inkubasi (hari ke-5) (mg/L)

B<sub>1</sub> : Kadar oksigen terlarut blanko sebelum inkubasi (hari ke-0) (mg/L)

B<sub>2</sub> : Kadar oksigen terlarut blanko setelah inkubasi (hari ke-5) (mg/L)

V<sub>B</sub> : Volume suspensi mikroba dalam botol DO blanko (ml), apabila contoh uji tidak ditambah mikroba maka V<sub>B</sub> = 0

V<sub>c</sub> : Volume suspensi mikroba dalam contoh uji (ml)

P : Perbandingan volume contoh uji (V<sub>1</sub>) per volume total (V<sub>2</sub>)

Untuk mengetahui korelasi BOD<sub>5</sub> dengan peran protozoa, metazoa, dan alga akan dilakukan uji korelasi pearson dan spearman. Penentuan penggunaan kedua uji ini berdasarkan uji normalitas yang dilakukan sebelumnya. Data dikatakan normal apabila koefisien normalitas lebih dari 0,005 dan menggunakan uji korelasi pearson. Keberadaan protozoa, metazoa, dan alga memiliki peran dalam mengonsumsi partikel organik dimana BOD<sub>5</sub> merupakan parameter bahan organik tersebut sehingga terdapat keterkaitan. Protozoa bertanggungjawab dalam meningkatkan kualitas efluen dengan mempertahankan kepadatan populasi bakteri dengan kegiatan predasi yang akan mengurangi kandungan organik dalam air limbah. Apabila di dalam suatu *mixed liquor suspended solid* (MLSS) tidak ada protozoa, konsentrasi BOD<sub>5</sub> akan tinggi yang menunjukkan bahwa bahan organik tinggi (Madoni, 2011). Uji korelasi dilakukan untuk melihat sejauh mana keterkaitan BOD<sub>5</sub> dengan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kondisi Eksisting IPAL Komunal Mendirol Sleman

IPAL Komunal Mendirol merupakan salah satu IPAL yang dibangun dalam rangka menjalankan program Sanimas (Sanitasi Berbasis Masyarakat). IPAL ini telah melayani kurang lebih 155 sambungan rumah dan masih aktif beroperasi sampai sekarang. IPAL Pengolahan yang terdapat di IPAL Komunal Mendirol ini antara lain inlet, ABR, AF, RBC, unit filtrasi, efluen.





Gambar 4. 1 (a)inlet, (b)manhole ABR, (c)Anaerobic Baffled Reactor, (d)Rotating Biological Contactor, (e)unit filtrasi

Pengolahan air limbah rumah tangga di IPAL Komunal Mendiro dimulai dari unit inlet, dimana di dalam unit inlet ini terdapat *bar screen* kecil yang digunakan untuk menyaring kotoran yang ikut masuk ke dalam pengolahan lanjutan. Setelah dari inlet, kemudian air limbah masuk ke dalam unit ABR. Dalam unit ini terdapat sekat-sekat yang mana akan mengkondisikan air limbah kontak dengan biomassa sehingga pengolahan dapat terjadi. Setelah melalui unit ABR, air limbah masuk ke dalam unit *Anaerobic filter*. Di dalam unit ini terdapat media filter sebagai tempat hidup mikroba yang mampu mendegradasi bahan organik di air limbah. Setelah melalui AF, air limbah masuk ke dalam RBC yang akan diolah secara aerob dengan bantuan mikroorganisme. Kemudian dari RBC, air limbah akan masuk dalam bak filtrasi.

Salah satu parameter kualitas air limbah adalah BOD (*Biological Oxygen Demand*) yang merupakan jumlah oksigen terlarut yang akan digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan kandungan bahan organik yang terdapat di dalam air limbah dalam kondisi aerobik. Bahan-bahan organik yang mampu terdekomposisi dengan adanya kadar BOD adalah bahan organik yang bersifat *readily decomposable organic matter*. Apabila kondisi suatu perairan mengandung banyak komponen organik, jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme tinggi untuk mendekomposisi komponen tersebut yang menyebabkan DO (oksigen terlarut) rendah. Perairan yang memiliki bau tidak sedap biasanya mengandung kadar BOD yang tinggi. Kandungan DO yang rendah berarti dekomposisi

komponen organik berlangsung secara anaerob. BOD dilakukan dengan metode yang mengacu pada SNI 6989.72.:2009 Tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*). Salah satu indikator air limbah dikatakan aman dibuang ke lingkungan adalah apabila nilai BOD maksimal 30 mg/L sesuai dengan Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016 dan BOD senilai 75 mg/L sesuai dengan Perda DIY Nomor 7 Tahun 2016. Dari pengecekan BOD5 yang telah dilakukan di unit IPAL Komunal Mendiro, Sleman mendapatkan hasil:

Tabel 4. 1 Nilai BOD5 dari Unit Pengolahan IPAL Komunal Mendiro, Sleman

| No | Unit     | BOD<br>5 |
|----|----------|----------|
| 1  | ABR      | 108.72   |
| 2  | RBC 1    | 24.16    |
| 3  | RBC 2    | 30.20    |
| 4  | Filtrasi | 6.04     |

Berdasarkan tabel di atas, unit filtrasi memiliki kadar BOD paling sedikit diantara unit lain yaitu sekitar 6,04 mg/L. Unit filtrasi tersebut merupakan akhir dari pengolahan di IPAL Komunal Mendiro sebelum dibuang ke efluen. Kadar tersebut telah memenuhi baku mutu air limbah sesuai dengan Pemen LHK Nomor 68 Tahun dan Perda DIY Nomor 7 Tahun 2016. Dari awal pengolahan yaitu di unit ABR, kadar BOD masih sangat tinggi yaitu sekitar 108,72 mg/L. Kondisi pengolahan di unit ini adalah anaerobik yang ditandai dengan tingginya angka BOD sehingga oksigen terlarut rendah. Kemudian unit kedua yaitu RBC. Di IPAL Komunal Mendiro, Sleman terdapat 2 unit RBC disusun secara seri yang masing-masing masih aktif beroperasi. Dari data BOD diperoleh sebesar 24,08 mg/L untuk RBC 1 dan 30,20 mg/L untuk RBC 2 sudah jauh lebih rendah dari unit ABR. Hal ini menandakan bahwa penguraian bahan organik pada unit RBC sudah berjalan dengan efektif.



#### 4.2 Perbandingan Metode Langsung, Lugol, dan *Ammoniacal Silver Carbonate*

Pemilihan metode berdasarkan lima parameter yang dibutuhkan dalam analisis protozoa, metazoa, dan alga. Penilaian parameter ini dilakukan pada tiap metode uji coba untuk melihat kesesuaian dengan kebutuhan pengamatan penulis. Berikut merupakan perbandingan di tiap metode.

Tabel 4. 2 Perbedaan Metode Biasa, Lugol, dan *Ammoniacal Silver Carbonate*

| <b>Parameter</b>                   | <b>Metode Biasa</b>   | <b>Metode Lugol</b>  | <b>Metode <i>Ammoniacal Silver Carbonate</i></b>  |
|------------------------------------|---|--|---|
| <b>Kejelasan gambar</b>            | Terdapat flok yang mengganggu saat pengamatan mikroorganisme sehingga pengamatan organisme sedikit terganggu                    | Keberadaan flok yang mengganggu saat pengamatan mikroorganisme sehingga pengamatan organisme sedikit terganggu | Terdapat perbedaan warna antara flok dan organisme, sehingga pengamatan organisme target terlihat jelas |
| <b>Enumerasi mikroorganisme</b>    | Organisme bisa dihitung manual namun memerlukan ketelitian yang tinggi  | Organisme bisa dihitung manual namun memerlukan ketelitian yang tinggi   | Organisme bisa dihitung manual  |
| <b>Identifikasi mikroorganisme</b> | Pergerakan mikroorganisme masih ada, bagian tubuh seperti alat gerak cilia ataupun flagelnya masih berfungsi dan terlihat jelas | Identifikasi morfologi bisa dilakukan, namun tidak bisa secara detail dilakukan sebagian organisme mati        | Sulit diidentifikasi dan dibedakan antara organisme target dan bukan                                    |
| <b>Pergerakan mikroorganisme</b>   | Organisme masih hidup dan bergerak lincah   | Organisme masih sebagian masih hidup namun pergerakan melemah dan sebagian mati                                | Organisme tidak ada pergerakan  |

|                         |  |  |                                      |
|-------------------------|--|--|--------------------------------------|
| <b>Persiapan sampel</b> | Tidak memerlukan waktu persiapan yang lama | Memerlukan sedikit waktu persiapan untuk mencampur lugol dengan sampel | Memerlukan waktu persiapan yang lama |
|-------------------------|--|--|--------------------------------------|

Setelah mengetahui keunggulan di tiap metode, kemudian dilakukan skoring. Skoring dilakukan dengan nilai dari 1 sampai 4. Penilaian tersebut mewakili keterangan sebagai berikut

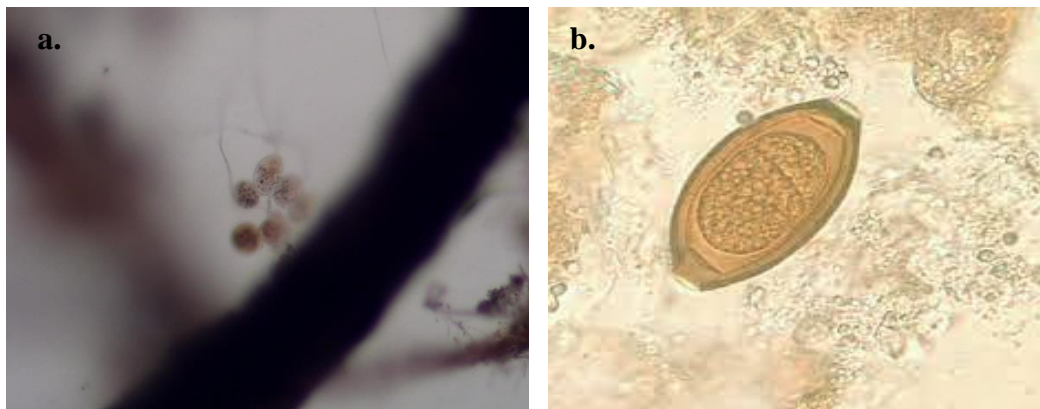
- 1 : Kurang
- 2 : Cukup
- 3 : Baik
- 4 : Sangat baik

Tabel 4. 3 Hasil Skoring Metode Pengamatan

| No                 | Parameter        | Ammoniacal Silver Carbonate |   |   |   |       | Lugol     |   |   |   |       | Pengamatan Langsung |   |   |   |       |
|--------------------|------------------|-----------------------------|---|---|---|-------|-----------|---|---|---|-------|---------------------|---|---|---|-------|
|                    |                  | 1                           | 2 | 3 | 4 | Nilai | 1         | 2 | 3 | 4 | Nilai | 1                   | 2 | 3 | 4 | Nilai |
| 1                  | Kejelasan gambar |                             |   | v |   | 3     | v         |   |   |   | 2     | v                   |   |   |   | 2     |
| 2                  | Enumerasi        |                             |   |   | v | 4     | v         |   |   |   | 2     | v                   |   |   |   | 2     |
| 3                  | Identifikasi     | v                           |   |   |   | 1     | v         |   |   |   | 2     |                     |   | v |   | 4     |
| 4                  | Pergerakan       |                             |   |   | v | 4     |           | v |   |   | 3     | v                   |   |   |   | 2     |
| 5                  | Persiapan sampel | v                           |   |   |   | 1     | v         |   |   |   | 2     |                     |   | v |   | 4     |
| <b>Total nilai</b> |                  | <b>13</b>                   |   |   |   |       | <b>11</b> |   |   |   |       | <b>14</b>           |   |   |   |       |

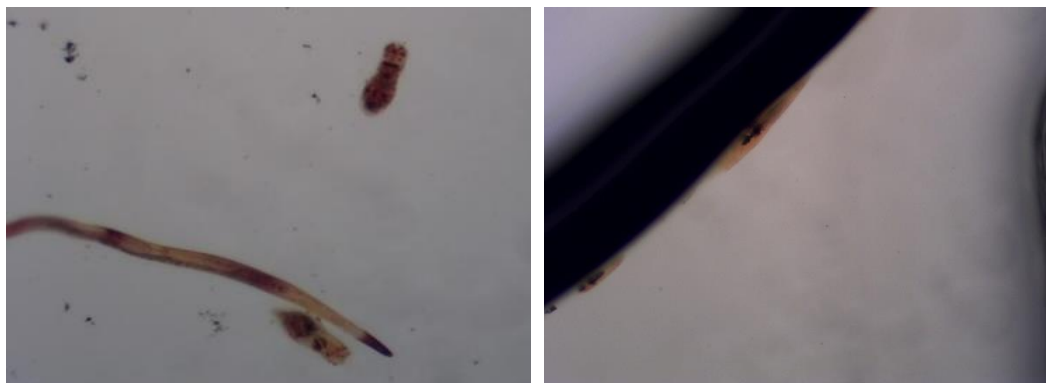
Perbandingan dari ketiga metode terlihat signifikan terdapat pada parameter kejelasan gambar, pergerakan sel, dan persiapan sampel. Kejelasan gambar nantinya akan sangat berpengaruh dalam kemudahan enumerasi, semakin jelas keberadaan mikroorganisme, semakin mudah enumerasi yang dilakukan. Pada pengamatan mikroorganisme, pergerakan sel yang lambat dengan struktur tubuh yang terlihat berfungsi sangat krusial untuk memudahkan identifikasi. Namun pada penelitian mendapatkan hasil bahwa pada metode *ammoniacal* sel sudah tidak

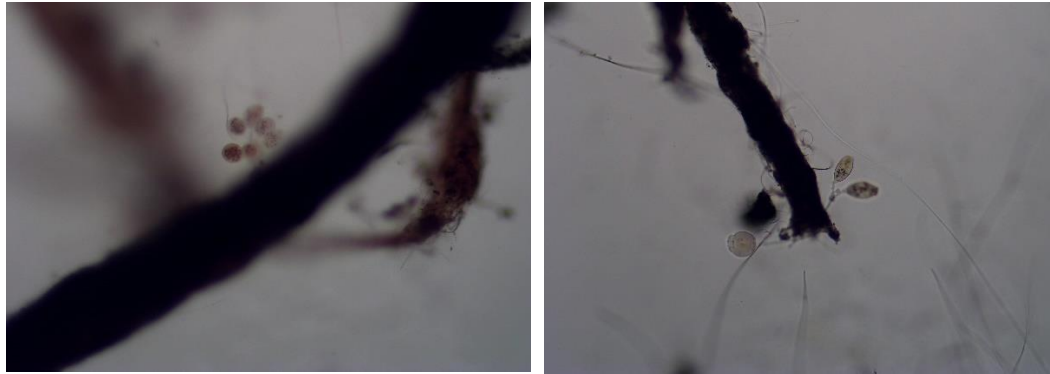
bergerak sehingga identifikasi karakteristik seperti alat gerak sulit dilakukan karena tidak bisa membedakan mana organisme target yaitu protozoa, metazoa, dan alga, dengan mikroorganisme pengganggu lain seperti telur cacing.



Gambar 4. 2 (a) Protozoa; (b) Telur cacing jenis *Ascaris lumbricoides*

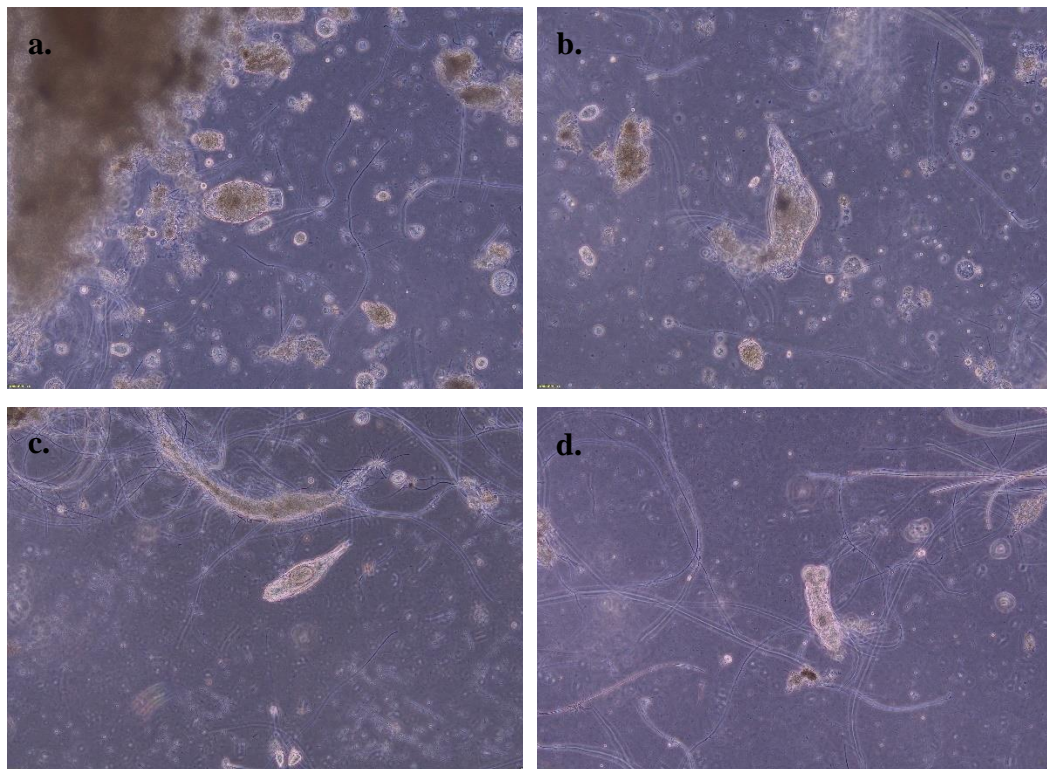
Gambar 4.2 poin a terlihat indikasi protozoa jenis *Vorticella* sedangkan pada gambar 4.2 (b) merupakan telur cacing jenis *Ascaris lumbricoides*. Gambar tersebut terlihat kemiripan bentuk satu sama lain. Maka dari itu untuk menghindari kesalahan enumerasi, metode *ammoniacal* kurang cocok digunakan dalam identifikasi sampai tingkat spesies. Selain itu untuk tingkat kejelasan gambar metode *ammoniacal silver carbonate* unggul dengan nilai 4.





Gambar 4. 3 Metode *Ammoniacal Silver Carbonate*

Kejelasan gambar diidentifikasi dengan banyaknya komponen organik yang mengganggu kualitas gambar saat pengamatan. Pada metode *ammoniacal silver carbonate* terlihat lebih bersih dan jelas karena partikel organik yang mengganggu telah hilang. Berbeda dengan metode lugol dan metode pengamatan langsung yang masih banyak partikel organik di dalam sampel.



Gambar 4. 4 (a)(b) Metode Lugol; (c)(d) Metode Pengamatan Langsung

Gambar 4.3 merupakan penampakan dari metode lugol dan metode pengamatan langsung. Untuk kejelasan gambar metode lugol dan metode pengamatan langsung terlihat sama. Perbedaan hanya terletak pada pergerakan mikroorganisme. Pada metode lugol pergerakan mikroorganisme sedikit lebih lambat. Sedangkan metode pengamatan langsung pergerakan mikroorganisme masih sangat aktif. Pada metode pengamatan langsung identifikasi mudah dilakukan karena terlihat alat gerak dari mikroorganisme masih berfungsi.

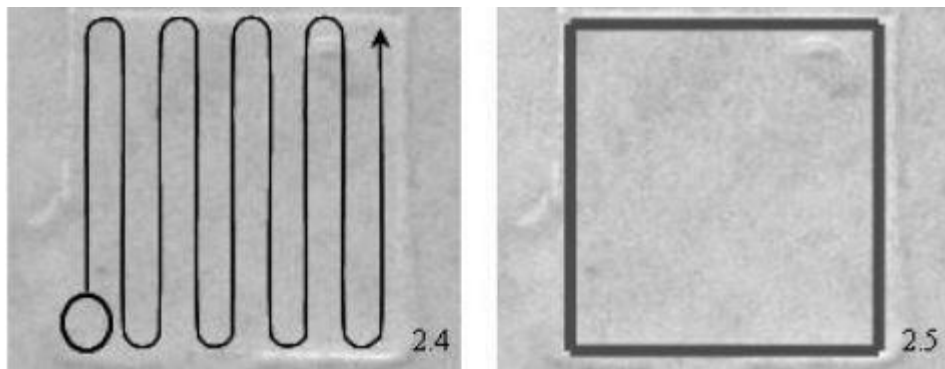
Dari segi persiapan sampel metode biasa paling mudah dan efektif untuk dilakukan dikarenakan sampel langsung diamati menggunakan mikroskop tanpa penambahan bahan kimia. Sementara itu metode yang memiliki persiapan paling lama adalah metode *ammoniacal silver carbonate* karena harus melalui proses pemanasan selama  $\pm 10$  menit untuk tiap sampel. Sehingga pemilihan metode juga berdasarkan pada keefisienan waktu dalam persiapan mengingat terdapat 15 sampel dengan 3 kali ulangan yang harus diamati dan jumlah alat yang terbatas.

Berdasarkan hasil skoring tersebut, metode yang terpilih adalah metode pengamatan langsung atau metode biasa. Metode biasa tidak membutuhkan bahan tambahan atau proses pemanasan. Metode biasa memudahkan dalam identifikasi mikroorganisme, karena mikroorganisme masih dalam keadaan bergerak sehingga alat gerak terlihat jelas.

#### **4.3 Analisis Keragaman dan Kelimpahan Protista, Metazoa, dan Alga di Tiap Unit Pengolahan IPAL Komunal Mendo**

Enumerasi dilakukan secara manual untuk menghitung dalam satuan individu/ml. Identifikasi juga dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis mikroorganisme yang terdapat di dalam sampel. Pedoman penulis dalam mengidentifikasi jenis dan morfologi untuk protista dan metazoa antara lain adalah buku karya Serrano & Arregui tahun 2008 (Serrano & Arregui, 2008) serta buku dari (Bellinger & Sigeo, 2015). Selain itu identifikasi juga dilakukan melalui situs website resmi dari <http://nordicmicroalgae.org/>, <http://protist.i.hosei.ac.jp/>, <https://realmicrolife.com/>, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>. Untuk menghindari

mikroorganisme terhitung 2 kali, maka pengamatan dibawah mikroskop menggunakan pedoman yang terdapat dalam buku Serrano (2008) dengan metode zigzag.



Gambar 4. 5 Perhitungan Mikroorganisme pada Kaca Preparat

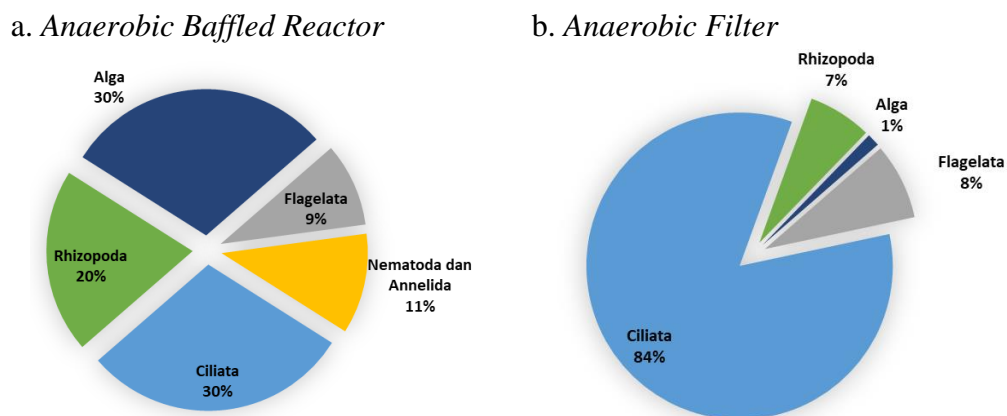
Organisme tergolong dalam kingdom protista dan metazoa yang ditemukan di tiap unit pengolahan IPAL Komunal Mendiro, Sleman mayoritas sama yaitu dari filum protozoa, arthropoda, *Nemathelminthes*, *Annelida*. Berikut merupakan protista, metazoan, serta alga yang ditemukan di unit pengolahan IPAL Komunal Mendiro:

Tabel 4. 4 Metazoa dan Protista yang Ditemukan di Tiap Unit IPAL Komunal Mendiro, Sleman

| No | Filum                         | Kingdom  |
|----|-------------------------------|----------|
| 1  | Rotifera                      | Animalia |
| 2  | Mite                          | Animalia |
| 3  | Flagellata                    | Protista |
| 4  | Nematyhelminthes dan Annelida | Animalia |
| 5  | Ciliata                       | Protista |
| 6  | Rhizopoda                     | Protista |
| 7  | Alga                          | Protista |

### 4.3.1 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Pengolahan Anaerobik

Terdapat sistem anaerobik untuk pengolahan air limbah di IPAL Mendiro yaitu *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter*. Kelimpahan mikroorganismenya pada masing-masing unit dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:

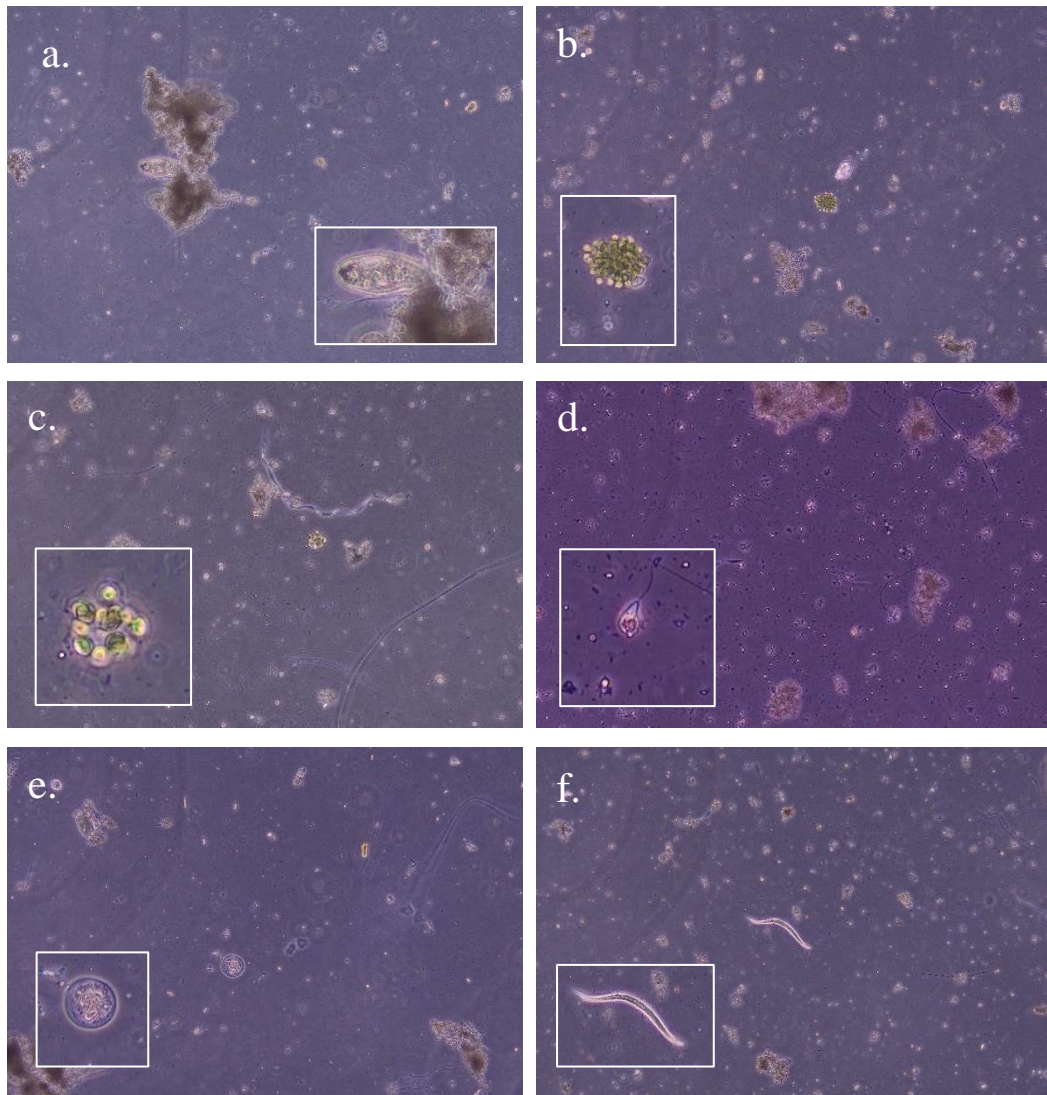


Gambar 4. 6 Persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga di ABR dan AF

Tabel 4. 5 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Air Limbah Unit ABR dan AF

| Jenis                         | ABR     |       | AF      |       |
|-------------------------------|---------|-------|---------|-------|
|                               | indv/ml | %     | indv/ml | %     |
| Rotifera                      | 0       | 0     | 0       | 0     |
| Mite                          | 0       | 0     | 0       | 0     |
| Flagellata                    | 2       | 9.26  | 4       | 8.05  |
| Nematyhelminthes dan Annelida | 2       | 11.11 | 0       | 0     |
| Ciliata                       | 5       | 29.63 | 42      | 83.89 |
| Rhizopoda                     | 4       | 20.37 | 3       | 6.71  |
| Alga                          | 5       | 29.63 | 1       | 1.34  |
| Total                         | 18      | 100   | 50      | 100   |

Pada unit ABR mayoritas didominasi oleh alga dan ciliata sebesar 30%, sedangkan pada unit AF terdapat 84% didominasi oleh ciliata dengan keberadaan alga 1,34% lebih rendah dibandingkan dengan unit ABR.



Gambar 4. 7 (a) *Paramecium* dengan perbesaran 100x fase kontras I, (b) Mikroalga jenis *Coelosphaerium sp* dengan perbesaran 100x fase kontras, (c) *Gonium* dengan perbesaran 100x fase kontras I, (d) *Peranema* dengan perbesaran 100x fase kontras I, (e) *Arcella arenaria* dengan perbesaran 100x fase kontras I, (f) *Caenorhabditis elegans* dengan perbesaran 100x fase kontras I

Keberadaan jenis ciliata yang dominan pada *anaerobic treatment* adalah *Paramecium caudatum* dan *Paramecium bursaria* yang berenang bebas dalam sampel. Ciliata dengan spesies seperti *Paramecium bursaria* merupakan mikroorganisme yang mampu hidup dalam kondisi aerobik maupun anaerobik (Alykova et al., 2019). Jenis alga yang dominan di unit ABR dan AF berdasarkan



pengamatan adalah *Gonium sp* serta *Coelosphaerium sp*. *Coelosphaerium sp* merupakan salah satu jenis cyanobacteria yang mampu bertahan hidup dalam kondisi anaerobik. Seperti yang telah diketahui secara umum, bahwa *Cyanobacteria* memerlukan cahaya untuk fotosintesis. Namun dalam kondisi gelap seperti dalam unit ABR dan AF mikroorganisme tersebut masih bisa bertahan hidup dengan memproduksi senyawa alarmones untuk pembentukan sel persister (Hood et al., 2016). Adanya perubahan lingkungan dan sel yang bersifat persisten menyebabkan bakteri 10-1000 kali lebih resisten (Zhang et al., 2008). Hampir di semua bakteri, keberadaan senyawa alarmones (ppGpp) memiliki peran sentral dalam pembentukan sel persister dan memperlambat pertumbuhan dengan mengatur gen di dalam tubuh bakteri (Maisonneuve & Gerdes, 2014). Mikroorganisme yang lain adalah rhizopoda. Jenis rhizopoda yang dominan ditemukan adalah *Amoeba*. Selain itu, terdapat nematoda dan annelida. Mikroorganisme yang lain adalah rhizopoda. Jenis rhizopoda yang dominan ditemukan adalah amoeba. Selain itu, terdapat *Nematoda* dan *Annelida*. *Nematoda* merupakan salah satu genus yang berada di bawah filum *Nemathelminthes*. Sedangkan *Annelida* sendiri adalah filum yang berisikan cacing-cacing bersegmen. Perhitungan *Nematoda* dan *Annelida* digabung karena termasuk ke dalam metazoa yang memiliki peran kurang lebih sama yaitu berperan dalam membuat pori-pori pada sludge sehingga degradasi bahan organik lebih mudah. Jumlah *Nematoda* cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan mikroorganisme lainnya. Hal ini dikarenakan secara umum *Nematoda* dan *Annelida* hidup pada kondisi aerobik (Calaway, 2016a).

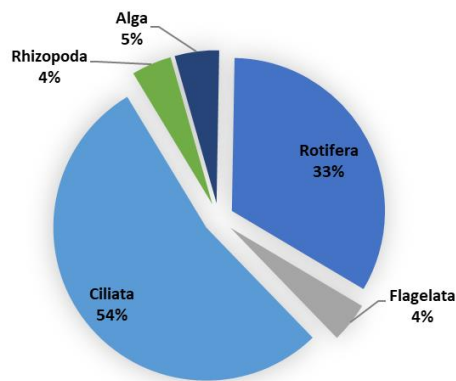
Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa keberadaan flagellata pada unit ABR dan AF menunjukkan hasil yang signifikan. Keberadaan flagellata berada dalam persentase sebesar 9% pada ABR dan 8% pada unit AF. Jenis flagellata yang ditemukan dalam sampel tersebut dominannya adalah jenis *Peranema sp*. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Akpor dan Mamba (2010), keberadaan flagellata seperti *Peranema sp* sangat efektif dalam penghilangan nitrogen. Namun menurut Teck et al (2019) dalam pengolahan air limbah, removal nitrogen merupakan proses kombinasi antara *anoxic* dan *anaerobic phase*, sehingga

eliminasi nitrogen terjadi karena kontribusi besar dari aktivitas bakteri. Maka dari itu, pengaruh protozoa dalam penghilangan nitrat memiliki kemungkinan kecil dibandingkan dengan kapasitas bakteri.

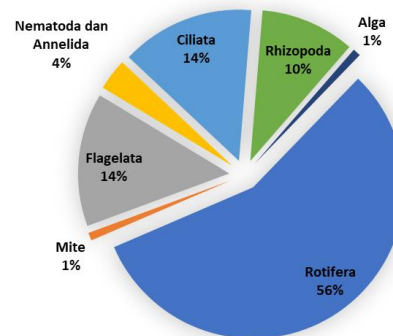
### 4.3.2 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Pengolahan Aerobik

Dalam pengolahan air limbah di IPAL Mendiro juga menggunakan sistem aerobik berupa RBC (*Rotating Biological Contactor*).

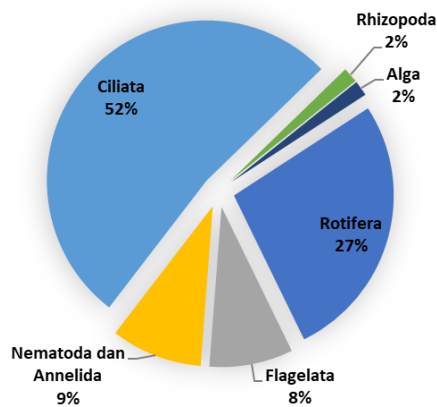
a. RBC 1 Bagian Awal



b. RBC 1 Bagian Tengah



c. RBC 1 Bagian Akhir

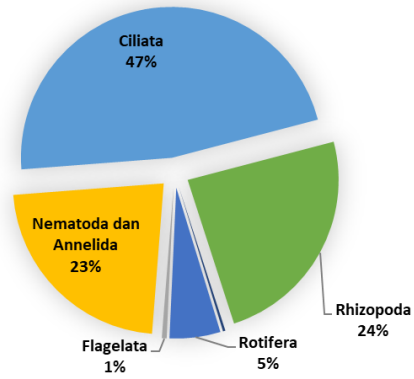


Tabel 4. 6 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Air Limbah Unit RBC 1

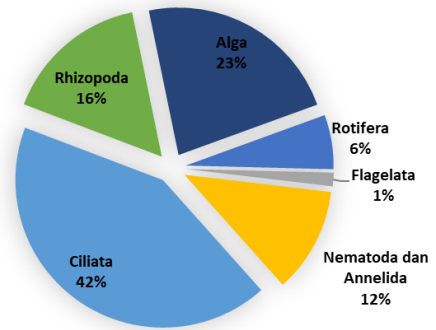
| Jenis                         | RBC 1 Awal |       | RBC 1 Tengah |       | RBC 1 Akhir |       |
|-------------------------------|------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|
|                               | indv/ml    | %     | indv/ml      | %     | indv/ml     | %     |
| Rotifera                      | 50         | 33.26 | 22           | 56.30 | 12          | 26.92 |
| Mite                          | 0          | 0     | 0            | 0.84  | 0           | 0     |
| Flagellata                    | 6          | 4.24  | 6            | 14.29 | 4           | 8.46  |
| Nematyhelminthes dan Annelida | 0          | 0     | 1            | 3.36  | 4           | 9.23  |
| Ciliata                       | 80         | 53.57 | 6            | 14.29 | 23          | 52.31 |
| Rhizopoda                     | 6          | 4.24  | 4            | 10.08 | 1           | 1.54  |
| Alga                          | 7          | 4.69  | 0            | 0.84  | 1           | 1.54  |
| Total                         | 149        | 100   | 40           | 100   | 43          | 100   |

Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa sampel air limbah pada RBC 1 dominan oleh ciliata dan rotifera. Ciliata memiliki dominasi terbesar di RBC 1 bagian awal yaitu lebih dari 50%. Pada bagian tengah RBC, rotifera mendominasi sebesar 56%. Sedangkan pada bagian akhir dominasi tertinggi adalah ciliata dengan persentase 52%. Rotifera menjadi dominan dibandingkan dengan *swimming protozoa* dikarenakan energi yang dibutuhkan oleh rotifera cenderung sedikit dan mereka dapat mengumpulkan makanan yang cukup untuk kebutuhan saat flok tinggi. Selain itu, rotifera memiliki peran yang sama dengan ciliata yaitu dapat mengurangi populasi bakteri. Oleh karena itu efluen memiliki turbiditas rendah (Calaway, 2016). Metazoa dianggap menjadi indikator yang baik untuk kualitas pengolahan lumpur aktif. Sementara itu pada sampel biofilm, kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga ditunjukkan pada gambar sebagai berikut:

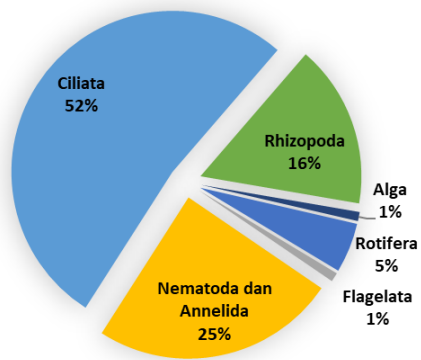
a. RBC 1 Bagian Awal



b. RBC 1 Bagian Tengah



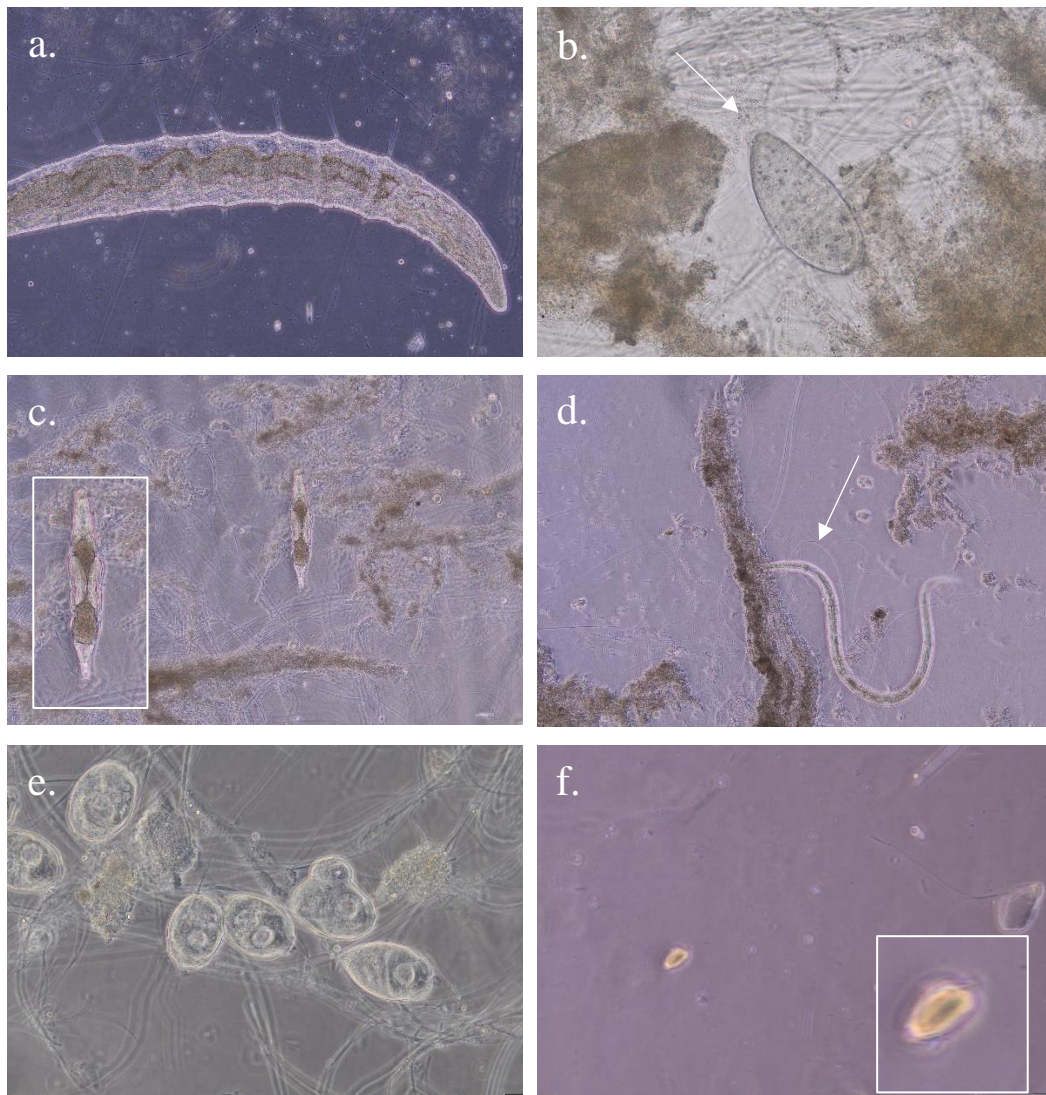
c. RBC 1 Bagian Akhir



Tabel 4. 7 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Biofilm Unit RBC 1

| Jenis                         | RBC 1 Awal |       | RBC 1 Tengah |       | RBC 1 Akhir |       |
|-------------------------------|------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|
|                               | indv/ml    | %     | indv/ml      | %     | indv/ml     | %     |
| Rotifera                      | 280        | 5.44  | 213          | 5.95  | 147         | 5.00  |
| Mite                          | 0          | 0     | 0            | 0     | 0           | 0     |
| Flagellata                    | 27         | 0.52  | 53           | 1.49  | 27          | 0.91  |
| Nematyhelminthes dan Annelida | 1160       | 22.54 | 413          | 11.52 | 720         | 24.55 |
| Ciliata                       | 2427       | 47.15 | 1520         | 42.38 | 1533        | 52.27 |
| Rhizopoda                     | 1240       | 24.09 | 573          | 15.99 | 480         | 16.36 |
| Alga                          | 13         | 0.26  | 813          | 22.68 | 27          | 0.91  |
| Total                         | 5147       | 100   | 3587         | 100   | 2933        | 100   |

Pada sampel biofilm, dominasi tertinggi pada unit RBC 1 adalah ciliata dengan persentase lebih dari 40%. Mikroorganisme yang ditemukan pada unit ini antara lain adalah ciliata jenis *Paramecium*. Ciliata dengan jenis lain juga terlihat seperti *Vorticella microstoma* dan *Vorticella campanula*. Jenis *Vorticella* ini memiliki kebutuhan energi yang rendah dibandingkan dengan jenis ciliata yang merayap (*crawling ciliates*) mencerminkan bahwa mereka berada pada lingkungan yang stabil dan proses pemurnian berjalan baik (Rivera et al., 1988). Sementara itu keberadaan *Amoeba* dari RBC bagian awal sampai akhir terlihat stabil tidak mengalami peningkatan atau penurunan yang tajam. Jenis *Amoeba* pada unit ini didominasi oleh jenis *Amoeba proteus*. Menurut penelitian Curds and Hawkes (1975) flagellata dan *Amoeba* selalu dikaitkan dengan sistem lumpur aktif konvensional yang dianggap sebagai indikator defisiensi fungsional. Namun menurut Arevalo et al (2009) *Amoeba* dan flagellata dapat ditemukan di unit MBR (*Membrane Biological Reactor*) pada kondisi stabil, yang sering diasosiasikan dengan pengolahan dalam kondisi baik dalam hal penguraian bahan organik serta removal nitrogen.



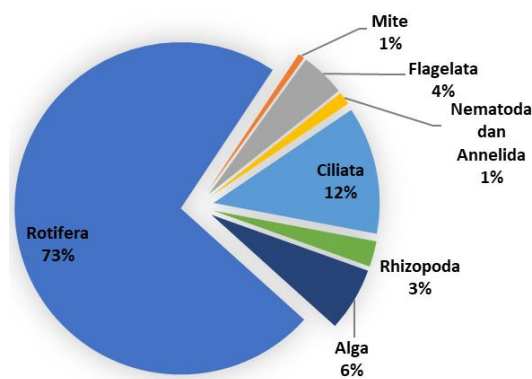
Gambar 4. 10 (a)*Chaetogaster sp* dengan perbesaran 100x fase kontras I, (b)*Philodina roseola* dengan perbesaran 100x fase kontras II, (c)*Paramecium aurelia* dengan perbesaran 100x fase kontras II, (d) *Aduncospilucum halictidae* dengan perbesaran 100x fase kontras II, (e) *Vorticella microstoma* perbesaran 100x fase kontras II, (f) *Cryptomonas rostriformis* perbesaran 40x fase kontras I

Pada sampel biofilm terdapat banyak flok yang merupakan tempat yang sesuai tumbuhnya metazoa seperti pada *Nemathelminthes* dan *Annelida*. Nematoda merupakan salah satu genus yang berada di bawah filum *Nemathelminthes*. Sedangkan *Annelida* sendiri adalah filum yang berisikan cacing-cacing bersegmen. Perhitungan nematoda dan annelida digabung karena termasuk ke dalam metazoa yang memiliki peran kurang lebih sama yaitu berperan dalam membuat pori-pori

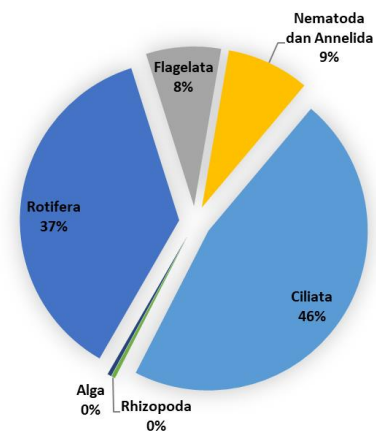
pada sludge sehingga degradasi bahan organik lebih mudah. Jumlah nematoda cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan mikroorganisme lainnya. Hal ini dikarenakan secara umum nematoda dan annelida hidup pada kondisi aerobik (Calaway, 2016).

Pada IPAL Mendiro memiliki 2 RBC yang masih berfungsi, kelimpahan yang terdapat di sampel air limbah adalah sebagai berikut:

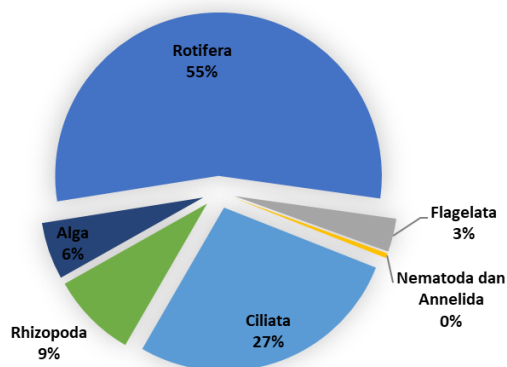
a. RBC 2 Bagian Awal



b. RBC 2 Bagian Tengah



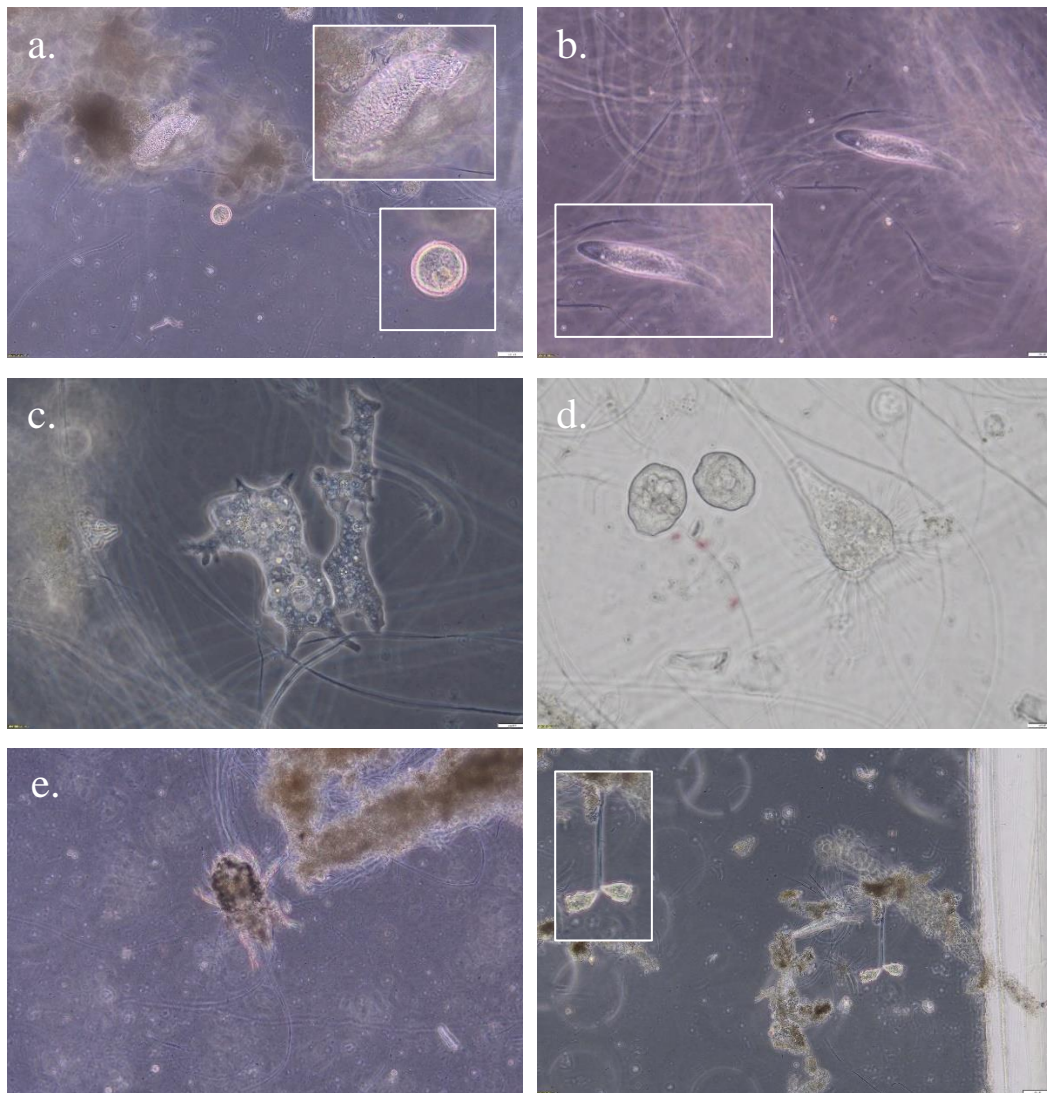
c. RBC 2 Bagian Akhir



Tabel 4. 8 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Air Limbah Unit RBC 2

| Jenis                            | RBC 2 Awal |       | RBC 2 Tengah |       | RBC 2 Akhir |       |
|----------------------------------|------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|
|                                  | indv/ml    | %     | indv/ml      | %     | indv/ml     | %     |
| Rotifera                         | 39         | 72.67 | 31           | 36.8  | 39          | 54.72 |
| Mite                             | 0          | 0.62  | 0            | 0     | 0           | 0     |
| Flagellata                       | 2          | 4.35  | 6.33         | 7.60  | 2.33        | 3.30  |
| Nematyhelminthes<br>dan Annelida | 1          | 1.24  | 7            | 8.4   | 0.33        | 0.47  |
| Ciliata                          | 7          | 12.42 | 38.67        | 46.40 | 19.33       | 27.36 |
| Rhizopoda                        | 1          | 2.48  | 0.33         | 0.40  | 6           | 8.49  |
| Alga                             | 3          | 6.21  | 0.33         | 0.40  | 4           | 5.66  |
| Total                            | 54         | 100   | 83.33        | 100   | 70.67       | 84.8  |



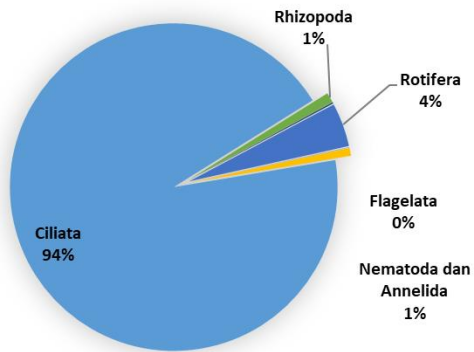


Gambar 4. 12 (a) *Testate amoeba* spesies *Diffugia oblonga* dan *naked amoeba* spesies *Arcella arenaria* dengan perbesaran 100x fase kontras I, (b) *Dileptus* perbesaran 100x fase kontras I, (c) *naked amoeba* spesies *Amoeba proteus* perbesaran 100x fase kontras I, (d) *Tokophrya lemnarum* dengan perbesaran 100x fase kontras II, (e) *Macrocheles subbadius* perbesaran 100x fase kontras I, (f) *Vorticella microstoma* perbesaran 100x fase kontras I

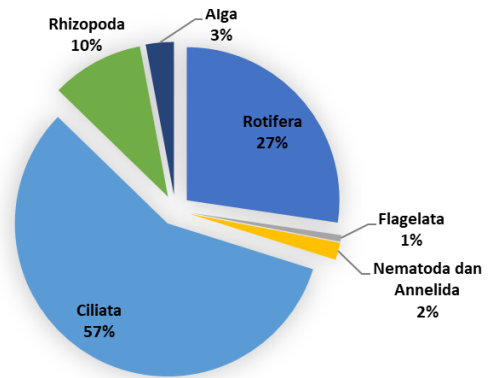
Pada sampel air limbah di unit RBC 2 dominasi tertinggi adalah rotifera dan ciliata. Rotifera mendominasi pada bagian awal dan akhir dengan persentase lebih dari 50%. Rotifera memiliki peran yang sama dengan ciliata yaitu dapat mengurangi populasi bakteri atau mempertahankan kondisi dimana bahan organik dapat diuraikan. Oleh karena itu efluen memiliki turbiditas rendah (Calaway,

2016b). Sementara itu, kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada sampel biofilm di RBC 2 ditunjukkan pada gambar berikut:

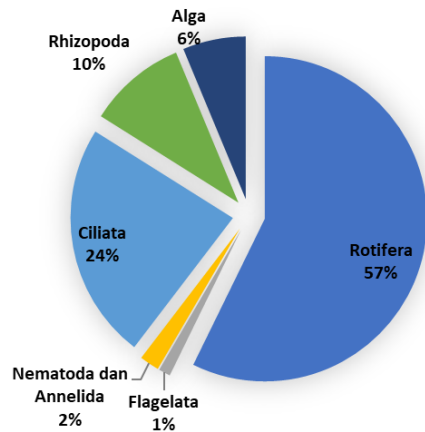
a. RBC 2 Bagian Awal



b. RBC 2 Bagian Tengah



c. RBC 2 Bagian Akhir



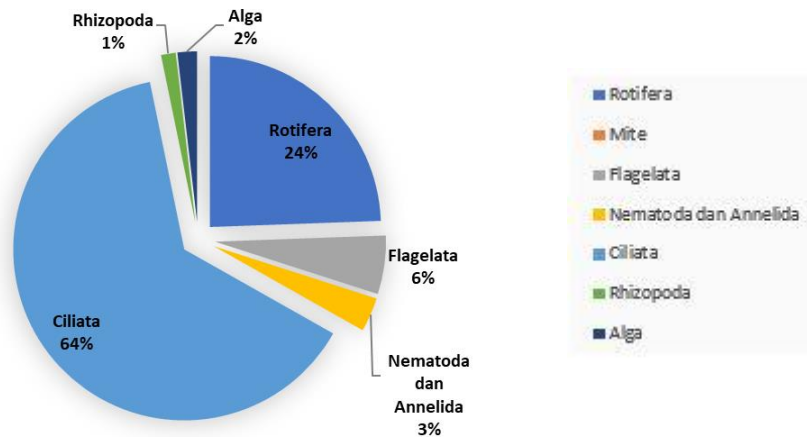
Tabel 4. 9 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Biofilm Unit RBC 2

| Jenis                         | RBC 2 Awal |       | RBC 2 Tengah |       | RBC 2 Akhir |       |
|-------------------------------|------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|
|                               | indv/ml    | %     | indv/ml      | %     | indv/ml     | %     |
| Rotifera                      | 827        | 4.31  | 1600         | 27.33 | 1947        | 57.25 |
| Mite                          | 0          | 0     | 0            | 0     | 0           | 0     |
| Flagellata                    | 13         | 0.07  | 40           | 0.68  | 40          | 1.18  |
| Nematyhelminthes dan Annelida | 147        | 0.76  | 107          | 1.82  | 67          | 1.96  |
| Ciliata                       | 17987      | 93.75 | 3360         | 57.40 | 800         | 23.53 |
| Rhizopoda                     | 187        | 0.97  | 573          | 9.79  | 333         | 9.80  |
| Alga                          | 27         | 0.14  | 173          | 2.96  | 213         | 6.27  |
| Total                         | 19187      | 100   | 5853         | 100   | 3400        | 100   |

Pada sampel biofilm, dominasi mikroorganisme yang tertinggi adalah ciliata dan rotifera. Keberadaan flagellata pada bagian awal sedikit ditemukan, namun flagellata mengalami peningkatan pada bagian tengah dan akhir dimana hal ini sangat normal terjadi seperti penelitian yang dilakukan oleh Cereceda (2000) bahwa keberadaan flagellata dan amoeba biasanya meningkat pada *stage* terakhir RBC. Variasi spesies dari flagellata jarang ditemukan di sistem RBC kecuali *Peranema* yang dapat muncul di *stage* terakhir. Protozoa, metazoa, dan alga mempunyai peran yang penting untuk proses removal nutrient di pengolahan air limbah. Protozoa dan metazoa mampu menyeimbangkan populasi bakteri, sedangkan alga berperan dalam removal nitrogen dan fosfor (Madoni, 2011).

### 4.3.3 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Pengolahan Fisika

#### a. Filtrasi



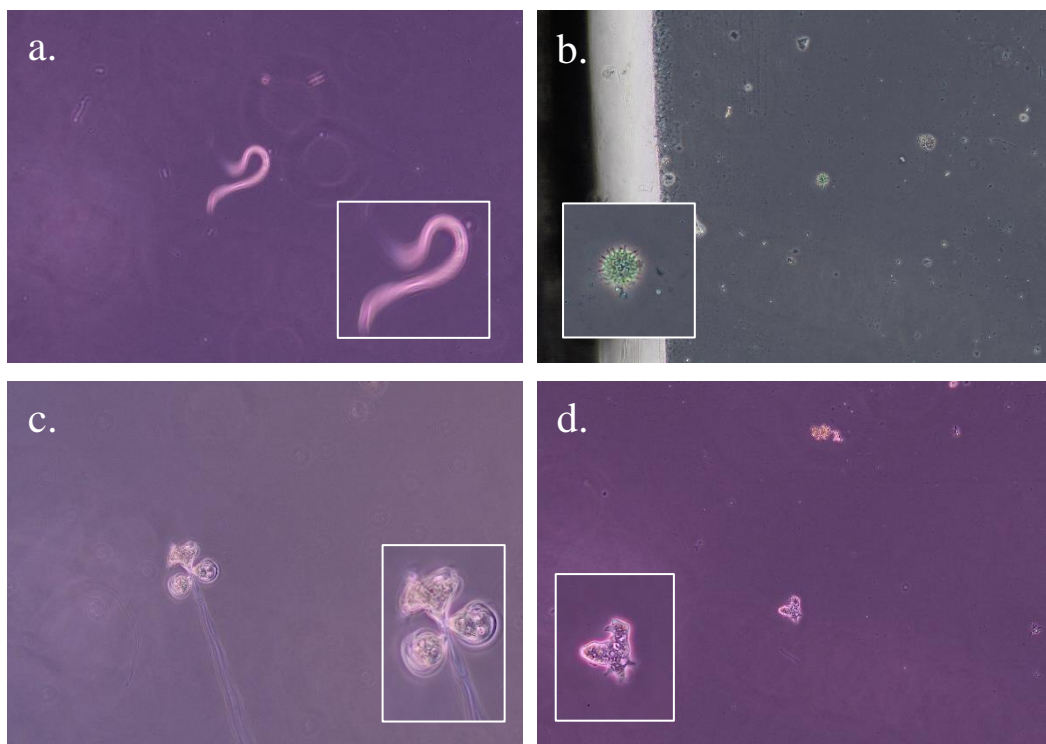
Gambar 4. 14 Persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm di Unit RBC 2

Tabel 4. 10 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga di Unit Filtrasi

| Jenis                         | indv/ml | %     |
|-------------------------------|---------|-------|
| Rotifera                      | 18      | 24.42 |
| Mite                          | 0       | 0.00  |
| Flagellata                    | 4       | 5.53  |
| Nematyhelminthes dan Annelida | 2       | 3.23  |
| Ciliata                       | 46      | 63.59 |
| Rhizopoda                     | 1       | 1.38  |
| Alga                          | 1       | 1.84  |
|                               | 72      | 100   |

Pada unit filtrasi, keberadaan mikroorganismenya yang paling dominan adalah ciliata dengan persentase 64%. Dominasi kedua adalah rotifera 24%, kemudian flagellata 6%, nemathelminthes dan annelida 3%, alga 2%, dan keberadaan paling sedikit adalah rhizopoda 1%. Keberadaan flagellata dari unit RBC ke unit filtrasi mengalami peningkatan. Menurut penelitian Madoni (1994) keberadaan flagellata

umunya dikaitkan dengan unit *activated sludge*. Korelasi antara *Peranema* dan *activated sludge temperature* bahwa semakin tinggi temperature dapat mendukung fisiologi dari aktivitas mikrofauna (Hue et al., 2013). Dari unit filtrasi di IPAL Mendo sendiri memiliki suhu 25 °C dengan pH 7. Suhu tersebut termasuk normal dalam unit pengolahan. Namun, parameter seperti suhu dan pH belum cukup untuk menjadi penentu kelimpahan flagellata di pengolahan air limbah termasuk dalam jumlah yang baik atau belum untuk pengolahan. Dalam sistem *batch* flagellata khususnya *Peranema sp* efektif dalam removal nitrat (Akpore and Momba, 2010). Oleh karena itu parameter lain seperti konsentrasi nitrat diperlukan untuk mengetahui sejauh mana keefektifan flagellata dalam removal bahan organik tersebut.

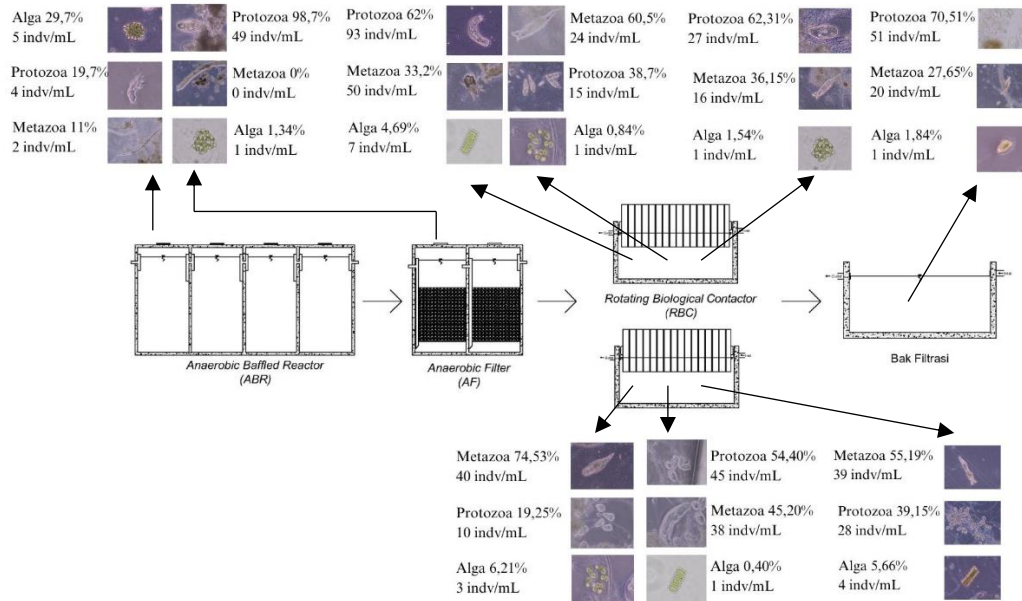


Gambar 4. 15 (a)Nematoda dengan spesies *Caenorhabditis elegans* dengan perbesaran 100x fase kontras I, (b)alga dengan spesies *Pediastrum subgranulatum*, (c)vorticella dengan spesies *Vorticella campanula*, (d)naked amoeba dengan spesies *Amoeba proteus*.

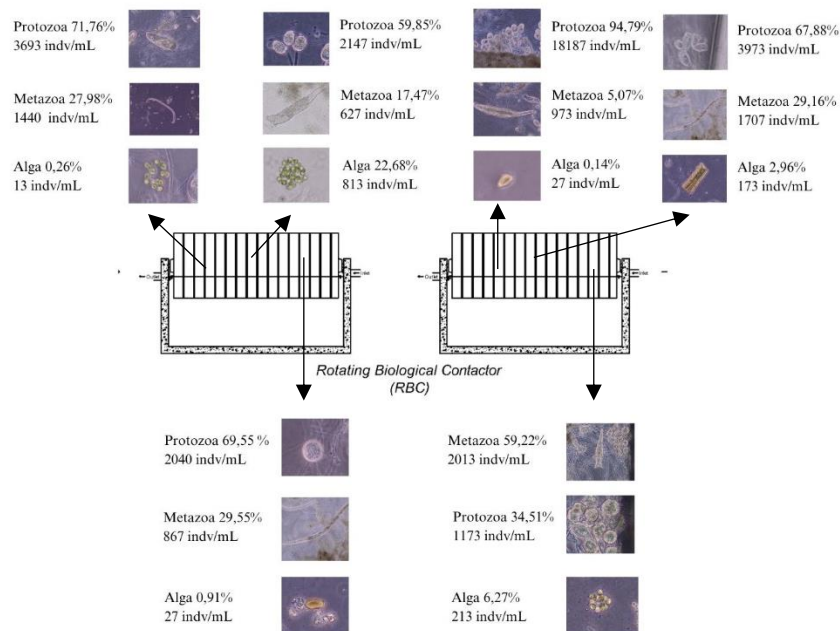
Kelimpahan protozoa dan metazoa yang lain adalah *Nemathelminthes* dan kelompok nematoda atau cacing gilig dengan spesies *Caenorhabditis elegans*. Kelompok cacing-cacing ini terlihat menempel pada permukaan flok yang ikut terbawa dari unit RBC. Karena pengambilan sampel dilakukan secara *composite* dari 3 unit, sejumlah flok masih terbawa di dalam sampel dan sebagian besar di dalam flok tersebut dominasi ciliate meningkat. Mikroorganisme lain adalah mikroalga dengan jenis *Pediastrum sub granulatum*. Untuk kelompok vorticella contohnya *Vorticella campanula*, serta *naked amoeba* dengan spesies *Amoeba proteus*.

#### 4.4 Komposisi Protozoa, Metazoa, dan Alga di IPAL Mendiro

Komposisi protozoa, metazoan, dan alga pada air limbah ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :



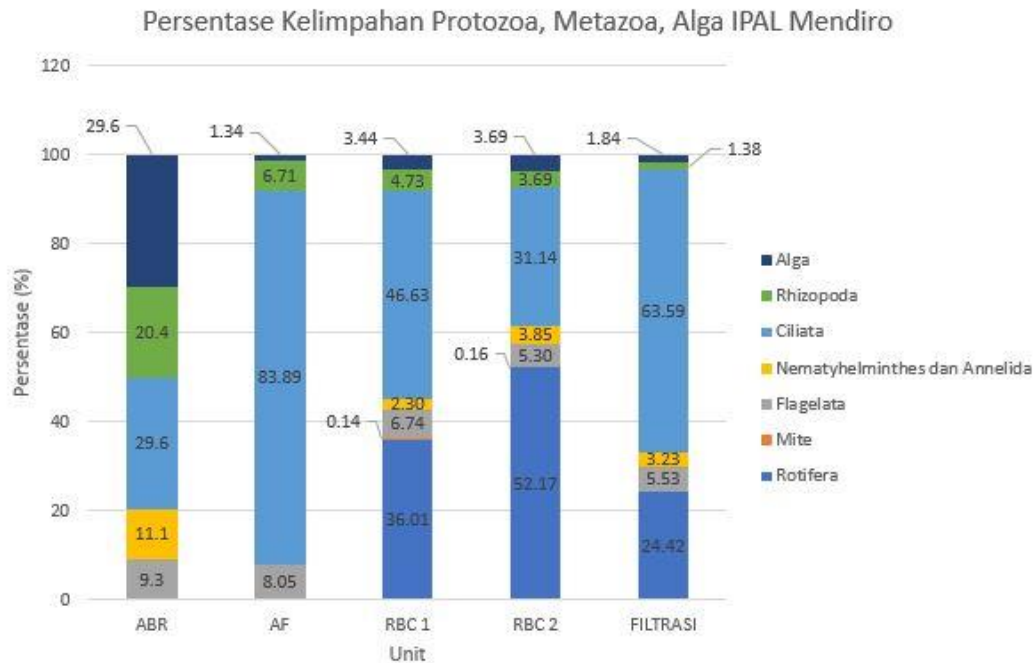
Gambar 4. 16 Komposisi Protozoa, Metazoa, Alga pada Air Limbah



Gambar 4. 17 Komposisi Protozoa, Metazoa, Alga pada Biofilm

Ciliata merupakan organisme tipikal yang merepresentasikan protozoa pada unit pengolahan air limbah, dengan struktur oral yang memiliki kemampuan filtrasi partikel makanan dengan ukuran tertentu (Fenchel, 1980). Hubungan protozoa dengan kemampuan kontrol bakteri terletak pada pembentukan flok dalam air limbah. Bakteri dapat membentuk koloni yang lebih besar untuk mempertahankan dirinya dari predasi protozoa (Mckinney et al., 2014). Keberadaan protozoa dapat menghambat bakteri yang tersuspensi lewat predasi yang dapat menurunkan turbiditas 1-15% sehingga mayoritas bakteri dapat ditemui dalam bentuk flok dengan ukuran yang lebih besar (Pauli et al., 2005).

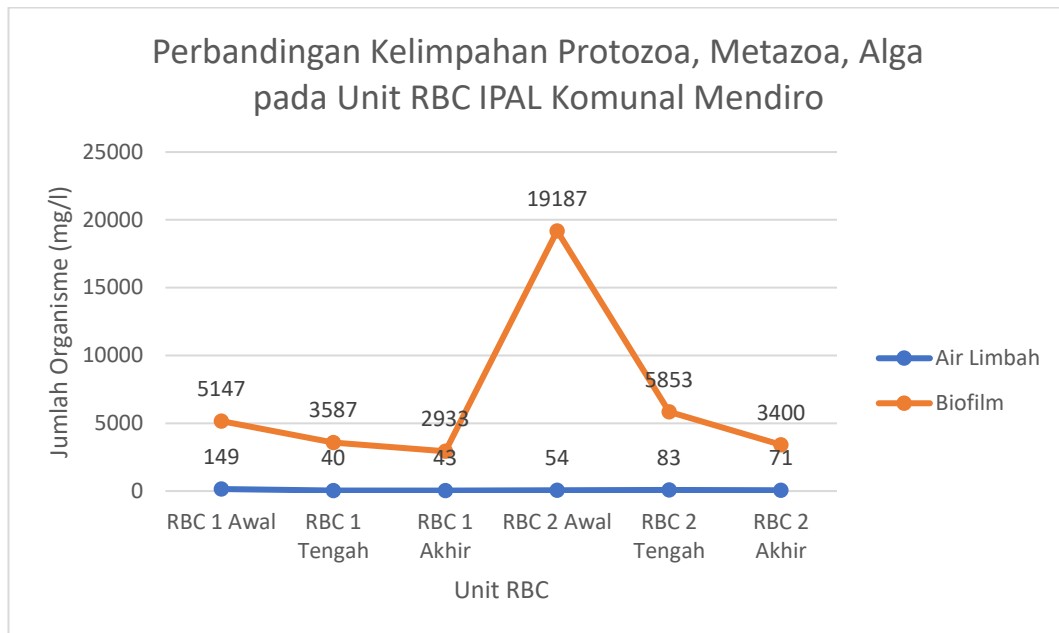
Protozoa sangat bervariasi pada pengolahan air limbah, termasuk ciliata yang memiliki densitas 10.000 sel/ml pada lumpur aktif. Variasi protozoa juga bergantung pada kondisi lingkungan pada unit IPAL. Beberapa ciliata dapat ditemukan pada kondisi beban organik rendah sekitar 0,1-0,3 kg BOD/kg MLSS/hari yaitu spesies *Vorticella convallaria* dan *Aspidisca cicada*. Selain itu spesies lain seperti *Vorticella microstoma* dan *Paramecium caudatum* dapat ditemukan pada kondisi beban organik tinggi (Madoni, 2003).



Gambar 4. 18 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, Alga di Air Limbah IPAL Mendiro

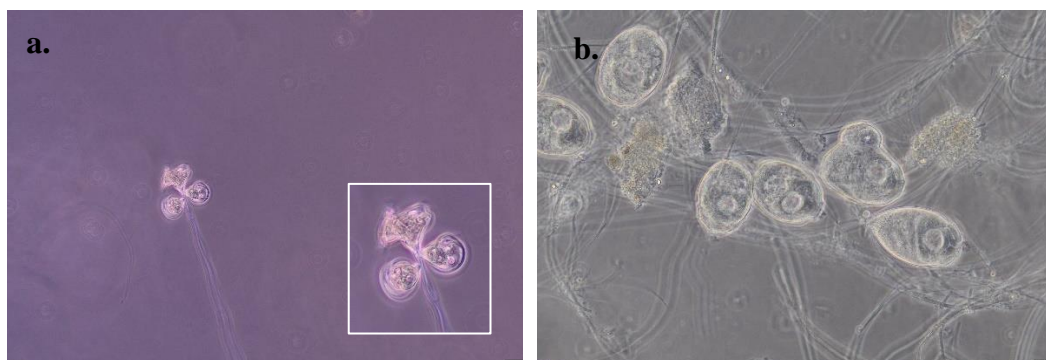
Dari pengamatan yang telah dilakukan di IPAL Komunal Mendiro, keberadaan protozoa berupa ciliata mendominasi hampir di tiap unit pengolahan. Di pengolahan air limbah konvensional, ciliata biasanya mendominasi tidak hanya dalam jumlah secara spesies namun juga dalam total biomassa. Ciliata mampu berperan sebagai kontrol bakteri dengan cara predasi sehingga dapat meningkatkan efektivitas pengolahan dengan menghasilkan beban organik yang rendah pada efluennya (Pauli et al., 2005).

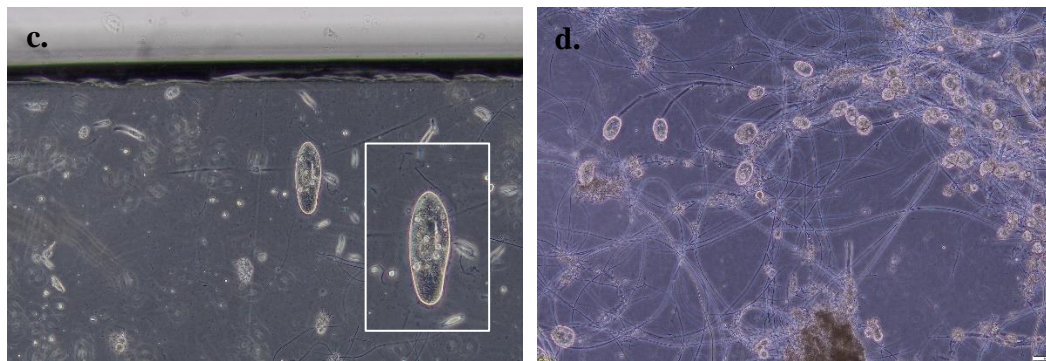




Gambar 4. 19 Kelimpahan Protozoa, Metazoa, Alga di RBC 1 dan RBC 2

Terlihat pada gambar 4.17 bahwa pada RBC 2 awal jumlah mikroorganisme sangat tinggi. Pada bagian ini mikroorganisme didominasi oleh ciliata yaitu sejumlah 94%. Keberadaan ciliata yang tinggi, dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor *physical-chemical*, *biochemical*, dan tipe spesies yang hidup. Parameter tersebut antara lain seperti DO, suhu, BOD<sub>5</sub>, ammonia nitrogen, nitrit nitrogen, nitrat nitrogen, dan fosfat (Martín-Cereceda et al., 2002). Pada biofilm RBC spesies yang ditemukan yaitu *Vorticella convallaria*, *Vorticella microstoma*, dan *Paramecium caudatum* dengan konsentrasi BOD<sub>5</sub> yang cenderung rendah.





Gambar 4. 20 (a)*Vorticella convallaria* terlihat pada perbesaran 100x fase kontras I, (b)*Vorticella microstoma* terlihat pada perbesaran 100x fase kontras II, (c)*Paramaecium caudatum* terlihat pada perbesaran 100x fase kontras II, (d)*Vorticella microstoma* terlihat pada perbesaran 40x fase kontras I

Pada gambar 4.18 poin d, terlihat bahwa ciliata sangat dominan. Dominasi ini terletak pada bagian RBC 2 bagian awal. Sedangkan pada sampel biofilm RBC 1 dan RC 2 jumlah ciliata lebih dari  $10^4$  individu/ml sehingga dapat dikategorikan bahwa pengolahan di unit RBC berjalan dengan optimal. Selain itu ditinjau dari parameter tambahan berupa  $BOD_5$ , unit RBC 1 dan 2 memiliki kadar  $BOD_5$  yang tergolong rendah yaitu 24,16 mg/L dan 30,20 mg/L sehingga dapat diartikan bahwa pengolahan air limbah di IPAL Komunal Mendiro berjalan efektif.

#### **4.5 Protozoa, Metazoa, dan Alga sebagai Bioindikator Pengolahan Air Limbah**

Untuk mengetahui proses pengolahan optimal atau tidak, keragaman protozoa, metazoa, maupun alga dapat dijadikan sebagai indikator. Pada *activated sludge*. Saat proses lumpur aktif dijalankan, umur lumpur masih sangat muda dan tipis, organisme yang dapat diamati di bawah mikroskop adalah amoeba dan flagellata. Saat fase pertumbuhan, MLSS (*mixed liquor solid*) akan terbentuk dan umur lumpur bertambah, flagel dan *swimming* ciliata akan mulai terlihat. Saat MLSS mencapai tingkat yang optimum, flagellata akan menurun namun *free swimming* ciliata dan *stalked* ciliata akan dominan. Saat umur lumpur semakin bertambah, rotifera dan *stalked* ciliata menjadi dominan dan jika umur lumpur terlalu tua maka rotifera dan nematoda akan mendominasi. Dengan mengamati

adanya keberagaman mikroorganisme yang terkait, operator akan mengetahui kondisi umur dan kesehatan lumpur. Protozoa yang dominan di suatu unit mengindikasikan kondisi lingkungan saat proses pengolahan khususnya pada umur lumpur (Marx et al., 2009)

Pada unit ABR dan AF di IPAL Komunal Mendiro, dominasi ditunjukkan dengan keberadaan ciliata yang berenang bebas. *Free swimming* ciliata merupakan indikasi lumpur dalam kondisi optimum. Namun dalam hal ini di dalam ABR dan AF tidak ada produksi lumpur dikarenakan pada unit ini pengolahan dilakukan secara anaerobik. Sedangkan pada unit RBC khususnya di biofilm, *stalked* ciliata dan rotifera menjadi dominan dapat diartikan bahwa biomassa disini dalam kondisi yang optimum (Rivas-castillo & Garcia-barrera, 2022). Kelimpahan ciliata normal pada suatu pengolahan adalah  $10^4$  individu/ml, dan saat jumlah turun di bawah  $10^2$  individu/ml mengindikasikan bahwa pengolahan tidak memadai. Dalam kondisi ini terdapat pertumbuhan bakteri yang menyebabkan efluen memiliki turbiditas tinggi sehingga kadar BOD<sub>5</sub> naik. Di satu sisi, kelimpahan ciliata yang tinggi ( $\geq 10^4$  /ml) mengindikasikan purifikasi yang baik dan optimal dalam pengolahan biologisnya (Madoni, 2003).

#### **4.6 Hubungan BOD dengan Keberadaan Protista, Metazoa, dan Alga**

Kelimpahan dan keanekaragaman mikroorganisme yang ditemukan bergantung pada parameter seperti oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen*, namun menunjukkan korelasi yang negatif dengan parameter BOD<sub>5</sub>. Sehingga penelitian spasial sangat dianjurkan dalam mengamati komunitas protozoa dan taksonomi dalam memantau kualitas air. Perairan yang memiliki bau tidak sedap biasanya mengandung kadar BOD yang tinggi (Tan et al., 2010).

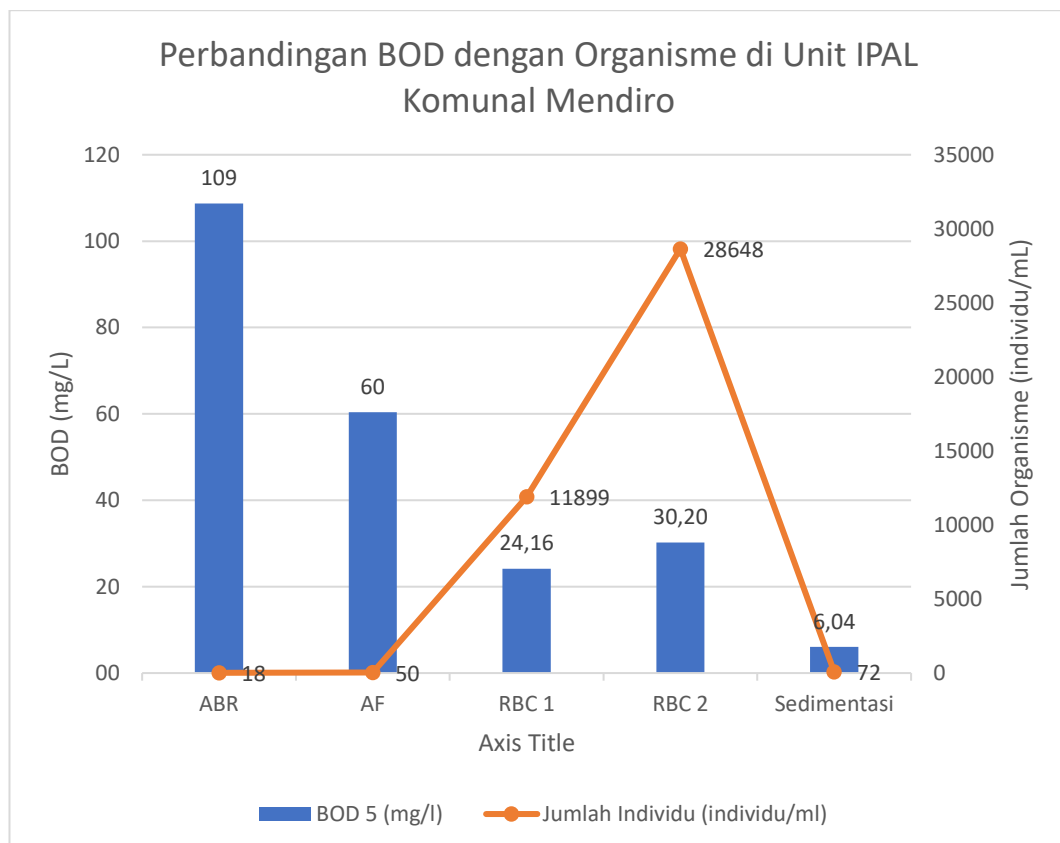
Untuk mengetahui korelasi kadar BOD<sub>5</sub> di unit IPAL Komunal Mendiro dengan keberadaan protozoa, metazoa, dan alga maka dilakukan uji korelasi dengan menggunakan korelasi pearson. Korelasi ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana hubungan 2 variabel dimana dalam penelitian ini adalah BOD<sub>5</sub> dan

mikroorganisme. BOD<sub>5</sub> yang diukur pada unit IPAL Komunal Mendiro mendapatkan hasil:

Tabel 4. 11 Kadar BOD<sub>5</sub> pada Unit Pengolahan IPAL Komunal Mendiro

| No | Unit     | BOD <sub>5</sub><br>mg/L |
|----|----------|--------------------------|
| 1  | ABR      | 108.72                   |
| 2  | AF       | 60.40                    |
| 3  | RBC 1    | 24.16                    |
| 4  | RBC 2    | 30.20                    |
| 5  | Filtrasi | 6.04                     |

Apabila konsentrasi BOD<sub>5</sub> dengan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga maka akan didapatkan informasi sebagai berikut:



Gambar 4. 21 Hubungan Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga dengan Kadar BOD<sub>5</sub>

Dari gambar 4.21 bisa menunjukkan bahwa kadar BOD<sub>5</sub> pada unit ABR tinggi sedangkan kelimpahan mikroorganisme semakin sedikit, kemudian terjadi penurunan BOD<sub>5</sub> pada unit AF dengan peningkatan kelimpahan mikroorganisme sebesar 50 individu/mL. Sementara itu, untuk unit RBC 1 mengalami penurunan kadar BOD<sub>5</sub> dengan kelimpahan sebesar 11889 individu/mL. Pada unit RBC 2 memiliki kadar BOD<sub>5</sub> 30,20 mg/L dengan kelimpahan 28648 individu/mL. Pada unit ini kelimpahan mikroorganisme paling tinggi. Sedangkan pada unit filtrasi kelimpahan mikroorganisme menurun dengan kadar BOD<sub>5</sub> juga menurun. Dari data BOD<sub>5</sub> yang telah didapat akan dihitung mengenai koefisien antara kadar BOD<sub>5</sub> dan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga. Hasil pengukuran koefisien korelasi didapatkan:

Tabel 4. 12 Koefisien Korelasi BOD<sub>5</sub> dengan Protozoa, Metazoa, dan Alga

| Mikroorganisme                | Koefisien Korelasi | Keterangan          |
|-------------------------------|--------------------|---------------------|
| Rotifera                      | -0.27739           | Berkorelasi negatif |
| Mite                          | -0.42752           | Berkorelasi negatif |
| Flagellata                    | -0.42841           | Berkorelasi negatif |
| Nematyhelminthes dan Annelida | -0.34304           | Berkorelasi negatif |
| Ciliata                       | -0.30379           | Berkorelasi negatif |
| Rhizopoda                     | -0.41599           | Berkorelasi negatif |
| Alga                          | -0.37727           | Berkorelasi negatif |

Dari koefisien yang telah didapatkan, kadar BOD<sub>5</sub> dengan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga memiliki koefisien negatif. Koefisien negatif dapat diartikan bahwa semakin tinggi kadar BOD<sub>5</sub> semakin rendah kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada unit IPAL Komunal Mendiro.

Tabel 4. 13 Skala Koefisien Korelasi

|              |                                   |
|--------------|-----------------------------------|
| <0,20        | Hubungan dapat dianggap tidak ada |
| 0,20 - 0,40  | Hubungan ada tetapi rendah        |
| >0,40 - 0,70 | Hubungan cukup                    |
| >0,70 - 0,90 | Hubungan tinggi                   |
| >0,90 - 1,00 | Hubungan sangat tinggi            |

Koefisien korelasi berada pada rentang  $\pm 0,2 - 0,4$  yang menunjukkan terdapat hubungan antara kadar BOD<sub>5</sub> terhadap protozoa, metazoa, dan alga, namun dalam skala rendah. BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan degradasi bahan organik oleh bakteri aerobik. Protozoa, berperan dalam meningkatkan kualitas efluen dalam pengolahan air limbah dengan cara menjaga keseimbangan bakteri yang tersuspensi dengan predasi sehingga dapat menurunkan BOD. Oleh karena itu semakin tinggi kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga semakin rendah BOD<sub>5</sub> yang ada di air limbah.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Simpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di IPAL Komunal Mendiro, Sukoharjo, Kec. Ngaglik, Kab. Sleman dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode yang sesuai digunakan untuk enumerasi dan identifikasi protozoa, metazoa, dan alga adalah metode pengamatan langsung atau metode biasa yaitu sampel diamati dengan mikroskop tanpa menggunakan bahan kimia tambahan karena mikroorganisme target dan morfologinya masih bisa dilihat dengan jelas sehingga identifikasi dapat dilakukan
2. Protozoa merupakan mikroorganisme paling dominan pada unit pengolahan aerobik RBC. Keberadaan metazoa mendominasi di beberapa bagian RBC 2 seperti pada bagian awal dan akhir. Sedangkan pada pengolahan anaerobik ABR dan AF keberadaan alga dan ciliata jenis *Paramecium* tinggi. Dominasi ciliata pada sistem pengolahan air limbah mengindikasikan bahwa IPAL komunal berjalan baik.
3. Tingkat BOD dan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada tiap unit pengolahan IPAL Mendiro menunjukkan korelasi negatif dengan rentang skala 0,20-0,40 yang berarti bahwa terdapat pengaruh atau hubungan pada tingkat BOD<sub>5</sub> dan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga namun hubungan tersebut tergolong rendah. Hal ini cukup membuktikan bahwa semakin rendah kadar BOD<sub>5</sub> di unit pengolahan IPAL Mendiro, keberadaan protozoa, metazoa, dan alga akan semakin tinggi.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian “Analisis Keragaman Dan Kelimpahan Protozoa, metezoa, Dan Alga Di Ipal Komunal Mendiro, Sleman” adalah:



1. Perlu adanya perhitungan indeks keragaman protista, metazoan, alga agar data yang dihasilkan lebih lengkap dan bisa mengetahui lebih jauh tentang keragaman protista, metazoan, alga serta peran dari tiap variasinya di unit IPAL Komunal Mendiro, Sukoharjo, Kec Ngaglik, Kab. Sleman sehingga dapat menentukan kinerja IPAL tersebut
2. Perlu penelitian mengenai parameter lain seperti turbiditas, COD, nitrat, nitrit, serta ammonia agar dapat mengetahui lebih jauh mengenai pengaruh protozoa, metazoa, dan alga dalam perannya untuk degradasi bahan organik di IPAL Mendiro sebagai evaluasi dan monitoring IPAL tersebut
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai identifikasi spesies dan morfologi secara mendalam agar data yang dihasilkan lebih akurat

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaykova, A. F., Karpov, N. V., Oleschenko, V. A., Karpukhina, O. V., Alykova, O. M., Bezotosniy, V. V., Klimentov, S. M., Timoshenko, V. Y., & Zavestovskaya, I. N. (2019). Effect of Long-Wavelength Coherent Radiation on A Biological Object (Unicellular Organism *Paramecium caudatum*) in Presence of Silicon Nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series*, 1189(1), 6–10.
- Andika, B., Wahyuningsih, P., & Fajri, R. (2020). Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, 2(1), 14–22.
- Babko, R., Kuzmina, T., Jaromin-gleñ, K., & Zbiorowisk Peryfitonu, A. (2014). Analysis Of The Periphyton Communities At The Municipal Wastewater Treatment Plant-Case Study. *Ecol Chem Eng*.
- Bachmann, A., Beard, V. L., & McCarty, P. L. (1985). Performance Characteristics of The Anaerobic Baffled Reactor. *Water Research*, 19(1), 99–106.
- Bellinger, E., & Sigeo, D. C. (2015). *Freshwater Algae: Identification, Enumeration and Use as Bioindicators*. John Willey&Sons.
- BPS. (2019). *Statistik Kesejahteraan Rakyat 2019*.
- Brontowiyono, W., Boving, T., Asmara, A. A., Rahmawati, S., Yulianto, A., Wantoputri, N. I., Lathifah, A. N., & Andriansyah, Y. (2022). Communal Wastewater Treatment Plants ' Effectiveness , Management , and Quality of Groundwater : A Case Study in Indonesia. 18, 1–23.
- Calaway, W. (2016a). Nematodes in Wastewater Treatment. 55(4), 517–549.
- Calaway, W.(2016b). The Metazoa of Waste Treatment Processes: Rotifers. 40(11).
- Daya, A. T. (2022). 7 Parameter Baku Mutu Air Limbah Sebelum Aman Dibuang.
- Dwicaesa, R., Jurusan, P., Lingkungan, T., Lanskap, A., & Lingkungan, T. (2019). Aplikasi Teknologi Rotating Biological Contactor (Rbc) Pada Pengolahan Air Limbah.
- Fenchel, T. (1980). Suspension Feeding in Ciliated Protozoa: Functional Response

- and Particle Size Selection. *Microbial Ecology*, 6(1), 1–11.
- Galiano, D. F. (1994). Technical Note The Ammoniacal Silver Carbonate Method As A General Procedure in The Study Of Protozoa From Sewage ( And Other) Waters. 28(2), 495–496.
- Hood, R. D., Higgins, S. A., Flamholz, A., Nichols, R. J., & Savage, D. F. (2016). The Stringent Response Regulates Adaptation To Darkness In The Cyanobacterium *Synechococcus elongatus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(33), E4867–E4876.
- Ito, T., Aoi, T., Miyazato, N., Hatamoto, M., Fuchigami, S., Yamaguchi, T., & Watanabe, Y. (2019). Diversity and Abundance of Denitrifying Bacteria in A Simultaneously Nitrifying and Denitrifying Rotating Biological Contactor Treating Real Wastewater at Low Temperatures. *H2Open Journal*, 2(1), 58–70.
- Kakavandi, B., & Ahmadi, M. (2019). Efficient Treatment of Saline Recalcitrant Petrochemical Wastewater Using Heterogeneous UV-Assisted Sono-Fenton Process. *Ultrasonics Sonochemistry*, 56(February), 25–36.
- Kalsum, S. U., Napoleon, A., & Yudono, B. (2014). Efektivitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), hydrilla (*Hydrilla verticillata*), dan Rumpun Payung (*Cyperus alternifolius*) Dalam Pengolahan Limbah Grey Water. *Jurnal Penelitian Sains*, 17(1), 20–25.
- Kinner, N. E., Balkwill, D. L., & Bishop, P. L. (1983). Light and Electron Microscopic Studies of Microorganisms Growing in Rotating Biological Contactor Biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*, 45(5), 1659–1669.
- Lata, S., & Siddharth. (2021). Sustainable and Eco-Friendly Approach for Controlling Industrial Wastewater Quality Imparting Succour in Water-Energy Nexus System. *Energy Nexus*, 3(May), 100020.
- Lim, H. S., Lee, L. Y., & Bramono, S. E. (2014). Community-Based Wastewater Treatment Systems and Water Quality Of An Indonesian Village. *Journal of Water and Health*, 12(1), 196–209.

- Madoni, P. (2003). Protozoa as Indicators of Wastewater Treatment Efficiency.
- Madoni, P. (2011). Protozoa in Wastewater Treatment Processes: A Minireview. *Italian Journal of Zoology*, 78(1), 3–11.
- Maisonneuve, E., & Gerdes, K. (2014). Molecular Mechanisms Underlying Bacterial Persisters. *Cell*, 157(3), 539–548.
- Martín-Cereceda, M., Serrano, S., & Guinea, A. (2001). Biofilm Communities And Operational Monitoring of A Rotating Biological Contactor System. *Water, Air, and Soil Pollution*, 126(3–4), 193–206.
- Martín-Cereceda, M., Zamora, J., Pérez-Uz, B., & Guinea, A. (2002). Ciliate communities of rotating biological contactor biofilms: A multivariate approach. *Systematic and Applied Microbiology*, 25(2), 301–313.
- Marx, C., Schmidt, M., Flanagan, J., & Hason, H. (2009). *Advanced Activated Sludge Study Guide*. Wisconsin Department of Natural Resources, January.
- Mckinney, R. E., Gram, A., & Wastes, I. (2014). Protozoa and Activated Sludge. All use subject to JSTOR Terms and Conditions *Sudge*. 28(10), 1219–1231.
- Motta, M. da, & Pons, M.-N. (2004). Morphological Comparison of Two Activated Sludges by Automated Image Analysis. 393–396.
- Nim, R., & Faculty, G. S. (2015). Partisipasi Masyarakat di Dalam Program Sanitasi Perkotaan Berbasis Masyarakat Studi Kasus : Kelurahan Banyumanik Kota Semarang Community Participation in Community-Based Sanitation Program in Banyumanik Sub-District Semarang Municipality.
- Nurkholis, A., Abdillah, A., Widiastuti, A. S., Rahma, A. D., Maretya, D. A., Wangge, G. A., & Widyaningsih, Y. (2018). Proses Pengelolaan Air Limbah secara Biologis (Biofilm): Trickling Filter dan Rotating Biological Contactor (RBC). *Jurnal Pengelolaan Limbah*, 1(1), 1–11.
- Obaideen, K., Shehata, N., Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., Mahmoud, M. S., & Olabi, A. G. (2022). The Role of Wastewater Treatment in Achieving Sustainable Development Goals (SDGs) and Sustainability Guideline. *Energy Nexus*, 7(July), 100112.
- Pauli, W., Jax, K., & Berger, S. (2005). Protozoa in Wastewater Treatment: Function and Importance. *Biodegradation and Persistence*, 2, 203–252.

- Prada, R. (2022). Penjelasan Mengenai IPAL Komunal.
- Pranoto, K., Rahmawati Pahilda, W., Abfertiawan, M. S., Elistyandari, A., & Sutikno, A. (2019). Teknologi Lumpur Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah Pemukiman Karyawan Dan Perkantoran Pt Kaltim Prima Coal Activated Sludge Technology to Treat Wastewater from Offices and Residential Areas PT Kaltim Prima Coal. 1(November), 61–66.
- Puigagut, J., Salvadó, H., García, D., Granes, F., & García, J. (2007). Comparison of Microfauna Communities in Full Scale Subsurface Flow Constructed Wetlands Used As Secondary and Tertiary Treatment. *Water Research*, 41(8), 1645–1652.
- Rice, E. ., Bridgewater, L., & American Public Health Association. (2012). *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. DC:American Public Health Association.
- Rivas-castillo, A. M., & Garcia-barrera, A. A. (2022). Ciliated Peritrichous Protozoa in a Tezontle-Packed Sequencing Batch Reactor as Potential Indicators of Water Quality. 71(4), 539–551.
- Rivera, F., Castro, F., Moreno, G., Lugo, A., Gallegos, E., & Norouzian, M. (1988). Protozoa of a Rotating Biological Contactor Treatment Plant in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*, 42(3–4), 281–301.
- Said, N. I. (2005). Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Reaktor Biologis Putar ( Rotating Biological Contactor ) dan Parameter Disain. 1(2), 178–188.
- Serrano, S., & Arregui, L. (2008). Guidelines for the Identification of Ciliates in Wastewater.
- Tan, X., Shi, X., Liu, G., Xu, H., & Nie, P. (2010). An Approach to Analyzing Taxonomic Patterns of Protozoan Communities for Monitoring Water Quality in Songhua River, Northeast China. *Hydrobiologia*, 638, 193–201.
- Tom, A. P., Jayakumar, J. S., Biju, M., Somarajan, J., & Ibrahim, M. A. (2021). Aquaculture Wastewater Treatment Technologies and Their Sustainability: A Review. *Energy Nexus*, 4(July), 100022.
- WSP. (2013). Review of Community-Managed Decentralized Wastewater Treatment Systems in Indonesia. June, 26.

Zhang, Z., Li, Y. chuan, Han, Y. hua, Dai, W., Zhang, S. zhong, Zhou, B., Zhang, L., Wang, D. yun, Han, D. min, & Zhang, Y. jie. (2008). Evidence of Bacterial Biofilms in Chronic Rhinosinusitis. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*. Chinese Journal of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, 43(11), 840–844.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

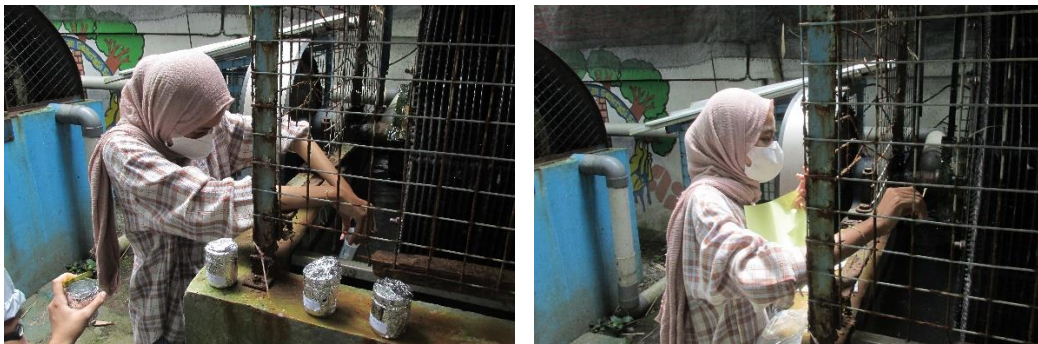


## LAMPIRAN

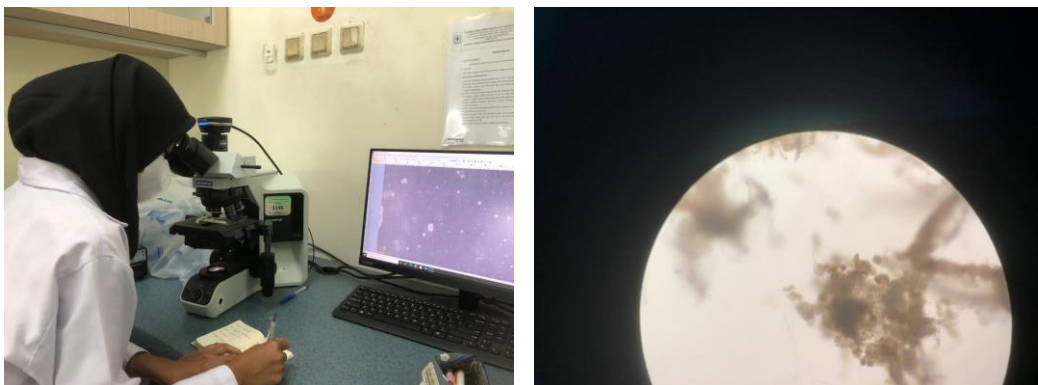
### Lampiran 1. Kegiatan Pengambilan dan Pengamatan Sampel



Sampel Air Limbah dan Biofilm

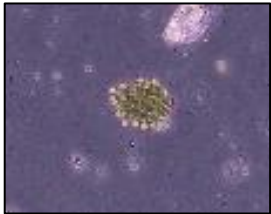
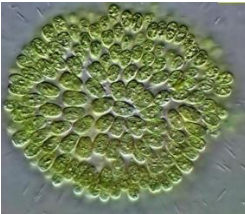

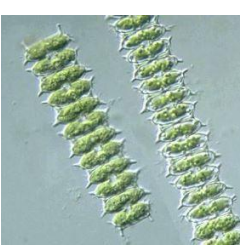



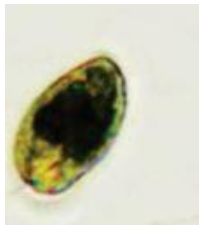


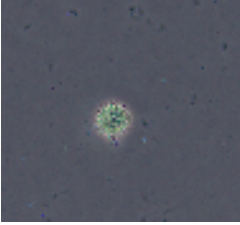



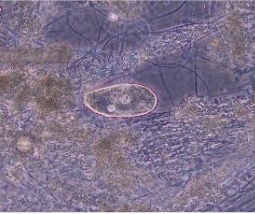
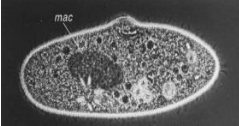
Pengambilan Sampel Air Limbah dan Biofilm

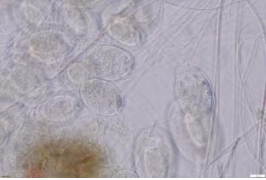


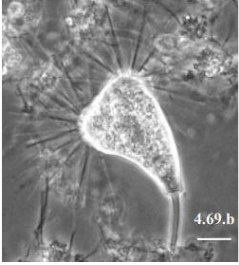
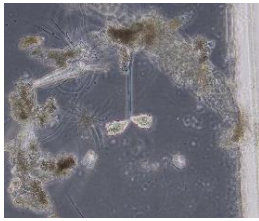



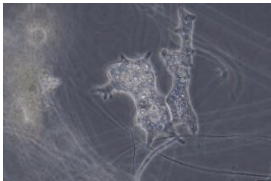

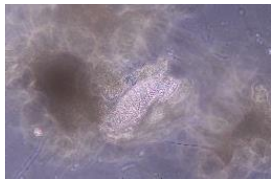

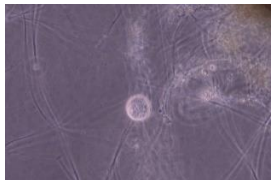

Pengamatan Protista dan Metazoa dengan Mikroskop

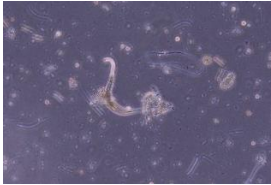





Lampiran 2. Identifikasi Protista dan Metazoa

| Nama Organisme  | Sumber Literasi  | Gambar Hasil Pengamatan Mikroskop  | Gambat Literatur  |
|---|--|--|---|
| Kingdom: Protista<br>Filum: Protozoa<br>Spesies: <i>Coleosphaerium sp</i>           | Buku<br>“ <i>Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators</i> ”<br>Edward G. Bellinger and David C. Sigeo |    |    |
| Kingdom: Protista<br>Filum: Protozoa<br>Spesies: <i>Onychonema sp</i>               | Buku<br>“ <i>Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators</i> ”<br>Edward G. Bellinger and David C. Sigeo |   |   |
| Kingdom: Protista<br>Filum: Protozoa<br>Spesies: <i>Genome sp</i>                   | Buku<br>“ <i>Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators</i> ”<br>Edward G. Bellinger and David C. Sigeo |  |  |
| Kingdom: Protista<br>Filum: Protozoa<br>Spesies: <i>Cryptomonas rost ratiformis</i> | Buku<br>“ <i>Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators</i> ”<br>Edward G. Bellinger and David C. Sigeo |  |  |

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| <p>Kingdom: Protista<br/>         Filum: Protozoa<br/>         Spesies:<br/> <i>Pediastrum subgranulatum</i></p>      | <p>Warneming.nl.<br/> <b>Taxonomy Hydrodictyaceae (Water nets).</b><br/> <a href="https://waarneming.nl/taxa/19999/?genus=Pediastrum">https://waarneming.nl/taxa/19999/?genus=Pediastrum</a> (Diakses 20 Maret 2023)</p>   |    |    |
| <p>Kingdom: Animalia/metazoa<br/>         Filum: Pseudomelata<br/>         Spesies:<br/> <i>Philodina roseola</i></p> | <p>Dr. Robert Berdan (2020).<br/> <b>Photomicrography of Rotifers II Brachionus manjavacas and Philodina roseola.</b><br/> <a href="https://www.canadiannaturephotographer.com/rotifers2.html">https://www.canadiannaturephotographer.com/rotifers2.html</a> (Diakses 20 Maret 2023)</p> |   |   |
| <p>Kingdom: Protista<br/>         Filum: Protozoa<br/>         Spesies:<br/> <i>Paramecium caudatum</i></p>           | <p>Freiburg, M. A. N. F. R. E. D. (1985). Isolation And Characterization of Macronuclei of Paramecium Caudatum Infected With The Macronucleus-Specific Bacterium Holospora Obtusa. <i>Journal of Cell Science</i>, 73(1), 389-398.</p>   |  |  |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <p>Kingdom: Protista<br/>         Filum: Protozoa<br/>         Spesies:<br/> <i>Vorticella sp</i></p>         | <p>Noland, L. E., &amp; Finley, H. E. (1931). Studies on The Taxonomy Of The Genus <i>Vorticella</i>. <i>Transactions of the American Microscopical Society</i>, 50(2), 81-123.</p> |    |    |
| <p>Kingdom: Protista<br/>         Filum: Protozoa<br/>         Spesies:<br/> <i>Okophrya lemnae</i></p>       | <p>Buku “Guidelines for the Identification of Ciliates in Wastewater Treatment Plants” Susana Serrano, Lucia Arregui, Blanca Perez-Uz, Pilar Calvo and Almudena Guinea</p>          |  |  |
| <p>Kingdom: Protista<br/>         Filum: Protozoa<br/>         Spesies:<br/> <i>Vorticella microstoma</i></p> | <p>Buku “Guidelines for the Identification of Ciliates in Wastewater Treatment Plants” Susana Serrano, Lucia Arregui, Blanca Perez-Uz, Pilar Calvo and</p>                          |  |  |

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  | Almudena Guinea Susana Serrano, Lucia Arregui, Blanca Perez-Uz, Pilar Calvo and Almudena Guinea   |  |   |
| Kingdom: Protista<br>Filum: Protozoa<br>Spesies: <i>Amoeba proteus</i>   | Goodkov, A. V., Berdieva, M. A., Podlipaeva, Y. I., & Demin, S. Y. (2020). The chromatin extrusion phenomenon in <i>Amoeba proteus</i> cell cycle. <i>Journal of Eukaryotic Microbiology</i> , 6 7(2), 203-208. |    |    |
| Kingdom: Protista<br>Filum: Protozoa<br>Spesies: <i>Diffugia oblonga</i> | Kaushik, K. K., Sahu, P., & Dutta, K. Protozoan Diversity In Deepor Beel, Assam, India.   |  |  |
| Kingdom: Protista<br>Filum: Protozoa<br>Spesies: <i>Arcella arenaria</i> | Ferry Siemensma (2019). <b>Microworld World of Amoeboid Organisms.</b> <a href="https://arcella.nl/arcella/">https://arcella.nl/arcella/</a> (20 Maret 2023)  |  |  |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| <p>Kingdom:<br/>Animalia/metazoa<br/>Filum:<br/>Nemathelminthes<br/>Spesies:<br/><i>Caenorhabditis elegans</i></p> | <p>Sotirios Kleidonas. <b>The History of <i>C. Elegans</i></b> (2019). <a href="https://news.wisc.edu/newsphotos/nematode.html">https://news.wisc.edu/newsphotos/nematode.html</a> (20 Maret 2023)</p> |    |    |
| <p>Kingdom:<br/>Animalia/metazoa<br/>Filum:<br/>Arthropoda<br/>Spesies:<br/><i>Tyrophagus putrescentiae</i></p>    | <p>Bowman, C. E. (2021). Could the acarid mite <i>Tyrophagus putrescentiae</i> (Schrank) be used as an environmental thermometer: <i>International Journal of Acarology</i>, 47(2), 107-118.</p>       |    |   |
| <p>Kingdom: Protista<br/>Filum: Protozoa<br/>Spesies:<br/><i>Rhizomastix gracilis</i></p>                          | <p>Buku "Protozoology" by Hall, New York University</p>  |  |  |

Lampiran 3. Uji Korelasi BOD Terhadap Protista dan Metazoa

1. Rotifera

| No | Unit     | BOD<br>5   | Individu/ml | BOD 5           | Individu/<br>ml |
|----|----------|------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 1  | ABR      | 108.7<br>2 | 0           | BOD 5           | 1               |
| 2  | RBC 1    | 24.16      | 724         | Individu/<br>ml |                 |
| 3  | RBC 2    | 30.20      | 4482        |                 | 1               |
| 4  | Filtrasi | 6.04       | 18          |                 |                 |

2. Mite

| No | Unit     | BOD<br>5   | Individu/ml | BOD 5           | Individu/<br>ml |
|----|----------|------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 1  | ABR      | 108.7<br>2 | 0           | BOD 5           | 1               |
| 2  | RBC 1    | 24.16      | 1           | Individu/<br>ml |                 |
| 3  | RBC 2    | 30.20      | 1           |                 | 1               |
| 4  | Filtrasi | 6.04       | 0           |                 |                 |

3. Flagellata

| No | Unit     | BOD<br>5   | Individu/ml | BOD 5           | Individu/<br>ml |
|----|----------|------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 1  | ABR      | 108.7<br>2 | 2           | BOD 5           | 1               |
| 2  | RBC 1    | 24.16      | 122         | Individu/<br>ml |                 |
| 3  | RBC 2    | 30.20      | 104         |                 | 1               |
| 4  | Filtrasi | 6.04       | 4           |                 |                 |

4. Nematyhelminthes dan Annelida

| No | Unit     | BOD<br>5   | Individu/m | BOD 5           | Individu/<br>ml |
|----|----------|------------|------------|-----------------|-----------------|
| 1  | ABR      | 108.7<br>2 | 2          | BOD 5           | 1               |
| 2  | RBC 1    | 24.16      | 2299       | Individu/<br>ml |                 |
| 3  | RBC 2    | 30.20      | 328        |                 | 1               |
| 4  | Filtrasi | 6.04       | 2          |                 |                 |

5. Ciliata

| No | Unit     | BOD<br>5   | Individu/m<br>1 | BOD 5           | Individu/<br>ml |
|----|----------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1  | ABR      | 108.7<br>2 | 5               | BOD 5           | 1               |
| 2  | RBC 1    | 24.16      | 5588            | Individu/<br>ml | -0.259          |
| 3  | RBC 2    | 30.20      | 22211           |                 | 1               |
| 4  | Filtrasi | 6.04       | 46              |                 |                 |

6. Rhizopoda

| No | Unit     | BOD<br>5   | Individu/m<br>1 | BOD 5           | Individu/<br>ml |
|----|----------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1  | ABR      | 108.7<br>2 | 4               | BOD 5           | 1               |
| 2  | RBC 1    | 24.16      | 2304            | Individu/<br>ml | 0.3747          |
| 3  | RBC 2    | 30.20      | 1101            |                 | 5               |
| 4  | Filtrasi | 6.04       | 27              |                 | 1               |

7. Alga

| No | Unit     | BOD<br>5   | Individu/m<br>1 | BOD 5      | Individu/m<br>l |
|----|----------|------------|-----------------|------------|-----------------|
| 1  | ABR      | 108.7<br>2 | 5               | BOD 5      | 1               |
| 2  | RBC 1    | 24.16      | 861             | Individu/m | 0.3311          |
| 3  | RBC 2    | 30.20      | 248             | l          | 4               |
| 4  | Filtrasi | 6.04       | 1               |            | 1               |



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis laporan tugas akhir ini memiliki nama Zulul Sukma Ningrum yang lahir di Ponorogo, 22 April 2000 merupakan putri bungsu dari Bapak M.Kusno dan Ibu Siti Inganah. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 1 Surodikaraman Ponorogo selama 6 tahun lulus pada tahun 2013. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah di SMPN 1 Ponorogo dan lulus pada tahun 2016. Dan selanjutnya melanjutkan di SMAN 1 Ponorogo selama 3 tahun, lulus 2019, hingga akhirnya menempuh studi perkuliahan di jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan di Universitas Islam Indonesia.