TUGAS AKHIR

ANALISIS KERAGAMAN DAN KELIMPAHAN PROTOZOA, METAZOA, DAN ALGA PADA IPAL KOMUNAL BAKTI WARGA, SLEMAN

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

ASANDALISTA AHMAD PANGESTU
19513107

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

2023

TUGAS AKHIR

ANALISIS KERAGAMAN DAN KELIMPAHAN PROTOZOA, METAZOA, DAN ALGA PADA IPAL KOMUNAL BAKTI WARGA, SLEMAN

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

ASANDALISTA AHMAD PANGESTU
19513107

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.
NIK. 095130403
Tanggal: 22-09-2023

Annisa Nur Latifah, S.Si., M.Biotech, M.Agr., Ph.D.
NIK. 155130505
Tanggal: 22.08.23

Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res. Eng), Ph.D.
NIK. 045130401
Tanggal: 22.09-2023

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KERAGAMAN DAN KELIMPAHAN PROTOZOA, METAZOA, DAN ALGA PADA IPAL KOMUNAL BAKTI WARGA, SLEMAN

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa
Tangggal : 15 Agustus 2023

Disusun Oleh:

ASANDALISTA AHMAD PANGESTU
19513107

Tim Penguji :

Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. ( )

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

22.08.23

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

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 15 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Asandalista Ahmad Pangestu

NIM: 19513107

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul "Analisis Keragaman dan Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga pada IPAL Komunal Bakti Warga, Sleman". Penyusunan laporan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat untuk meyelesaikan program pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak tugas akhir ini tidak mungkin dapat terselesaikan. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis ingin nmenyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing, memotivasi, memberi saran dan arahan, seta memberi ilmu kepada penulis.
2. Ibu Annisa Nur Latifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. selaku dosen pmbimbing II yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta ilmu kepada penulis.
3. Ibu Any Juliani, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberi masukan dan saran terhadap tugas akhir penulis.
4. Seluruh dosen, staff dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia karena telah memberikan pengajaran dan pengalaman selama kuliah sehingga ilmu yang telah penulis peroleh dapat bermanfaat untuk laporan tugas akhir ini.
5. Mbak Rina Isnikartika, S.Si. serta seluruh staff Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia atas dampingan dan bantuan selama penulis melakukan penelitian di laboratprium.
6. Orang tua, adik, serta keluarga penulis yang selalu memberikan motivasi dan dukungan terhadap penulis

7. Sahabat hari-hari piknik yang selalu memberikan motivasi, nasehat dan ajakan untuk berlibur.
8. Rekan-rekan satu bimbingan yang telah mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Dinda Alya Salsabila yang selalu memberikan motivasi, nasehat, serta teman diskusi bagi penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari banyak terdapat kekurangan dalam laporan ini serta tidak luput dari kesalahan dan keterbatasan ilmu pengetahuan dari penulis. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kemajuan penulis. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, tanggal submit TA

Asandalista Ahmad Pangestu

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ABSTRAK

ASANDALISTA AHMAD PANGESTU. Analisis Keragaman dan Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga pada IPAL Komunal Bakti Warga, Sleman. Dibimbing oleh Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S,T., M.Eng. dan Annisa Nur Latifah, S.Si., M,Biotech, Ph.D.

Pengolahan dengan proses biologi memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi polutan organik. Aktivitas mikroorganisme akan membentuk sebuah biofilm, seperti pada media cakram unit RBC. Dalam biofilm terdapat mikroorganisme seperti protozoa, metazoa, dan alga yang memainkan peran dalam IPAL sebagai bioindikator kinerja unit pengolahan dan effluent. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keragaman dan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga dalam IPAL serta metode pengamatannya. Metode pada penelitian ini dilakukan pengamatan langsung dengan mikroskop tanpa tambahan larutan pada sampel. Preparat yang digunakan yaitu preparat cekung (18x18cm) untuk sampel biofilm dan *sedgewick rafter* untuk sampel air limbah. Pada sampel Air limbah RBC menjadi unit dengan kelimpahan mikroorganisme tertinggi sebanyak 389 individu/ml dan dominasi diisi oleh ciliata, sedangkan ABR menempati kelimpahan terendah dengan 32 individu/ml. Ciliata menjadi mikroorganisme yang paling dominan karena ditemukan pada semua unit baik air limbah maupun biofilm, sekaligus sebagai indikator pengolahan IPAL yang efektif. Sampel biofilm mempunyai kelimpahan 10 kali lebih banyak dari sampel air limbah dengan rata-rata 6000 individu/ml. Analisis korelasi koefisien kelimpahan dengan BOD untuk menunjukkan hubungan dengan performa IPAL didapatkan bahwa, mayoritas mikroorganisme penghuni IPAL memiliki hubungan negatif atau memiliki kelimpahan yang rendah ketika BOD tinggi yang ditunjukkan oleh ciliata dan rotifera.

Kata kunci : Alga, Biofilm, IPAL, Metazoa, Protozoa

ABSTRACT

ASANDALISTA AHMAD PANGESTU. *Analysis Diversity and Abundance of Protozoa, Metazoa, and Algae at Bakti Warga Communal WWTP, Sleman*. *Supervised by* Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S,T., M.Eng. *and* Annisa Nur Latifah, S.Si., M,Biotech, Ph.D.

Treatment with biological processes utilizes microorganisms to degrade organic pollutants. Microorganism activity will form a biofilm, such as on the RBC unit disc media. Within the biofilm there are microorganisms such as protozoa, metazoa, and algae which play a role in WWTP as bioindicators of treatment unit performance and effluent. This research was conducted to determine the diversity and abundance of protozoa, metazoa, and algae in WWTPs and their observation methods. The method in this study was direct observation with a microscope without additional solution in the sample. The preparations used were concave preparations (18x18cm) for biofilm samples and sedgewick rafter for wastewater samples. In the RBC wastewater sample, the unit with the highest abundance of microorganisms was 389 individuals/ml and dominated by ciliates, while ABR had the lowest abundance with 32 individuals/ml. Ciliates are the most dominant microorganisms because they are found in all units, both wastewater and biofilm, as well as indicators of effective WWTP treatment. Biofilm samples had an abundance of 10 times more than wastewater samples with an average of 6000 individuals/ml. Correlation analysis of the abundance coefficient with BOD to show the relationship with WWTP performance found that, the majority of microorganisms inhabiting WWTP have a negative relationship or have a low abundance when BOD is high as indicated by ciliates and rotifers.

Keywords : *Algae, Biofilm, Metazoa, Protozoa, WWTP*

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i
PERNYATAAN ii
PRAKATA iii
ABSTRAK vi
ABSTRACT vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR LAMPIRAN xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Asumsi Penelitian 4
1.6 Ruang Lingkup 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) 6
3.2 Mikroorganisme Pembentuk Biofilm IPAL 7
3.3 Mikroskop 10
3.4 Penelitian Terdahulu 10
BAB III METODE PENELITIAN 13
3.1 Diagram Alir Penelitian 13
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian 14
3.3 Metode Pengambilan Sampel 15

3.4 Alat dan Bahan 19
3.2.1 Pengambilan Sampel 19
3.2.2 Pengujian Protozoa, Metazoa dan Alga 19
3.5 Prosedur Penentuan Metode Pengamatan 20
3.6 Prosedur Analisis Data 21
3.7 Prosedur Analisis Korelasi 26
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 28
4.1 Survei IPAL Komunal 28
4.2 Kondisi Eksisting IPAL Komunal Bakti Warga 28
4.3 Pengambilan Sampel 29
4.1 Persiapan Alat Pengambilan Sampel 29
4.2 Pengambilan Sampel Air Limbah 30
4.3 Pengambilan Sampel Biofilm 31
4.4 Perbandingan Metode Acuan Pengamatan Sampel 31
4.4.1 Tanpa Penggunaan Larutan 32
4.4.2 Penambahan Lugol 33
4.4.3 *Ammonical Silver Carbonate* 34
4.4.4 Penentuan Metode Pengamatan 36
4.5 Pengujian Laboratorium 39
4.5.1 Pengamatan Sampel Air limbah 39
4.5.2 Pengamatan Sampel Biofilm 41
4.5.3 Hasil Pengamatan dan Analisis Kelimpahan dan Keragaman Komunitas Mikroorganisme Air Limbah IPAL Komunal Bakti Warga 42
4.5.4 Analisis kelimpahan dan Keragaman Komunitas Mikroorganisme Biofilm58
4.6 Perbandingan Kondisi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Air limbah RBC dan Biofilm 62
4.7 Uji Korelasi BOD dengan Kelimpahan Mikroorganisme 63
BAB V SIMPULAN DAN SARAN 68
5.1 Simpulan 68
5.2 Saran 69
DAFTAR PUSTAKA 71

LAMPIRAN A PROSES PENGAMBILAN SAMPEL 77
LAMPIRAN B PROSES ANALISIS DATA 79
LAMPIRAN C DATA HASIL PENGAMATAN 81
RIWAYAT HIDUP..... 128

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian Terdahulu 11
Tabel 2. Metode Pengambilan Sampel Setiap Unit IPAL 18
Tabel 3. Metode Pengujian Sampel 25
Tabel 4. Matriks Perbandingan Metode Pengamatan 37
Tabel 5. Perbandingan Metode Pengamatan Protozoa, Metazoa, dan Alga 38
Tabel 6. Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Unit ABR 46
Tabel 7. Kelimpahan Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Bak Anaerobic Filter 49
Tabel 8. Kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada bak RBC bagian Awal, Tengah, dan Akhir 53
Tabel 9. Kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada bak sedimentasi 55
Tabel 10. Kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada biofilm RBC 61
Tabel 11. Hubungan nilai koefisien korelasi 64
Tabel 12. Koefisien korelasi antara protozoa, metazoa, dan alga dengan konsentrasi BOD 65

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. *Rotating Biological Contactor* (RBC) 7
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian 13
Gambar 3. Peta Lokasi IPAL Bakti Warga 15
Gambar 4. Peta Lokasi Pengujian Sampel 15
Gambar 5. Penentuan Titik Pengambilan Sampel RBC 16
Gambar 6. Penentuan Titik Pengambilan Sampel ABR dan AF 17
Gambar 7. Penentuan Titik Pengambilan Sampel Bak Sedimentasi 17
Gambar 8. Metode Pengamatan Mikroskop Secara Zig-zag 23
Gambar 9. Diagram Alir Tahapan Pengujian Sampel 24
Gambar 10. Prosedur pengujian DO sesuai SNI 06-6989.14-2004 Tentang Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida). 26
Gambar 11. kondisi IPAL Bakti Warga 29
Gambar 12. Hasil Pengamatan Sampel Tanpa Penambahan Larutan menggunakan perbesaran 100x fase kontras I 32
Gambar 13. Hasil Pengamatan Sampel dengan Penambahan Larutan Lugol menggunakan perbesaran 100x fase kontras I 33
Gambar 14. Pembuatan Larutan *Ammoniacal Silver Carbonate* 35
Gambar 15. Hasil Pengamatan Sampel dengan Penambahan Larutan Ammoniacal Silver Carbonate 36
Gambar 16. Kondisi kelimpahan dan proporsi persentase pada setiap unit IPAL Bakti Warga 43
Gambar 17. Persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada sampel air limbah unit *anaerobic baffled reactor* 45
Gambar 18. Alga pada bak ABR. 47
Gambar 19. Protozoa dan metazoa pada bak ABR.. 47
Gambar 20. Persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada sampel air limbah unit *anaerobic filter* 48
Gambar 21. Metazoa dan Protozoa pada bak AF. 50
Gambar 22. Alga pada bak AF. 50

Gambar 23. Persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada sampel air limbah unit *rotating biological contactor* bagian awal, tengah dan akhir 52
Gambar 24. Protozoa dan metazoa pada RBC. 54
Gambar 25. Persentase kelimpahan protozoa metazoa, dan alga sampel air limbah pada bak sedimentasi..... 55
Gambar 26. Protozoa pada bak sedimentasi. 56
Gambar 27. Alga pada bak sedimentasi.. 57
Gambar 28. Persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada air limbah pada setiap unit IPAL Bakti Warga..... 58
Gambar 29. Kondisi kelimpahan dan proporsi persentase keragaman protozoa, metazoa, dan alga pada biofilm RBC IPAL Komunal Bakti Warga 59
Gambar 30. Proporsi persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada biofilm RBC bagian awal, tengah, dan akhir..... 60
Gambar 31. Protozoa, metazoa, dan alga pada biofilm bagian awal, tengah, dan akhir. 62
Gambar 32. Perbandingan kelimpahan antara air limbah *rotating biological contactor* dan biofilm *rotating biological contactor* 63
Gambar 33. Nilai BOD_5 Tiap Unit IPAL Bakti Warga..... 65

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1 Pengambilan Sampel ABR 77
Lampiran A.2 Pengambilan Sampel AF..... 77
Lampiran A.3 Pengambilan Sampel RBC..... 78
Lampiran A.4 Pengambilan Sampel RBC dan Bak Sedimentasi..... 78
Lampiran B.1 Larutan Ammoniacal Silver Carbonate..... 79
Lampiran B.2 Proses Pengamatan Menggunakan Mikroskop 79
Lampiran B.3 Proses Pengujian BOD..... 80
Lampiran C.1 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah Bak ABR 81
Lampiran C.2 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah Bak AF 81
Lampiran C. 3 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah RBC Bagian Awal..... 82
Lampiran C.4 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah RBC Bagian Tengah..... 82
Lampiran C.5 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah RBC Bagian Akhir 83
Lampiran C.6 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah Bak Sedimentasi..... 83
Lampiran C.7 Data Pengamatan Kelimpahan Biofilm Bagian Awal..... 83
Lampiran C.8 Data Pengamatan Kelimpahan Kelimpahan Biofilm Bagian Tengah..... 84
Lampiran C.9 Data Pengamatan Kelimpahan Biofilm Bagian Akhir..... 84
Lampiran C.10 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Bak Abr 85
Lampiran C.11 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Bak AF 88
Lampiran C.12 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada RBC bagian awal..... 92
Lampiran C.13 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada RBC Bagian Tengah..... 97

Lampiran C.14 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada RBC bagian akhir 100
Lampiran C.15 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Bak Sedimentasi 105
Lampiran C.16 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm Bagian Awal 110
Lampiran C.17 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm Bagian Tengah 114
Lampiran C.18 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm Bagian Akhir 118
Lampiran C. 19 Uji normalitas 122
Lampiran C. 20 Uji linieritas ciliata 122
Lampiran C. 21 Uji linieritas flagellata 122
Lampiran C. 22 Uji linieritas rhizopoda 123
Lampiran C. 23 Uji linieritas rotifera 123
Lampiran C. 24 Uji linieritas nematoda 123
Lampiran C. 25 Uji linieritas annelida 123
Lampiran C. 26 Uji linieritas alga 124
Lampiran C. 27 Uji linieritas arthropoda 124
Lampiran C. 28 Uji korelasi ciliata 124
Lampiran C. 29 Uji korelasi flagellata 124
Lampiran C. 30 Uji korelasi rhizopoda 125
Lampiran C. 31 Uji korelasi rotifera 125
Lampiran C. 32 Uji korelasi nematoda 125
Lampiran C. 33 Uji korelasi annelida 126
Lampiran C. 34 Uji korelasi algae 126
Lampiran C. 35 Uji korelasi arthropoda 126

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal adalah salah satu cara pengolahan limbah domestik secara terpadu. Pengolahan ini dilakukan secara bersama-sama (kolektif) melalui jaringan pipa sewerage dan akan menuju pada pengolahan limbah bersama sebelum nantinya limbah akan dikembalikan ke air permukaan atau dimanfaatkan untuk kegiatan lain. Jenis teknologi yang digunakan pada IPAL komunal harus disesuaikan dengan jenis polutan yang terdapat pada limbah (Purwatiningrum, 2018). Salah satu pengolahan limbah yang ada di IPAL dilakukan secara biologi. Proses biologi bertujuan untuk mendegradasi polutan organik atau bahan organik dengan memanfaatkan mikroorganisme (Nurkholis, et al., 2016). Aktivitas mikroorganisme tersebut membentuk sebuah biofilm yang menempel pada media, seperti pada teknologi *Rotating Biological Contactor* (RBC) biofilm terbentuk pada media cakram yang berputar (Cereceda, et al., 2000).

Terdapat banyak spesies mikroorganisme yang membentuk sebuah biofilm diantaranya berasal dari komunitas *protozoa* dan *metazoa* (Cereceda, et al., 2000). *Ciliata* menjadi mikroorganisme dominan yang terdapat pada suatu biofilm. Beberapa mikroorganisme yang berhasil diamati menggunakan mikroskop adalah *Nematoda, annelida, Rotifera, Flagellata, Amoeba, dan Ciliata* (Cereceda, et al., 2001). Pada sebuah IPAL diperoleh bahwa struktur biofilm yang membentuk unit teknologi pengolahan terakhir disusun oleh mayoritas protozoa dan metazoa (Babko, et al., 2014). Pada komposisi biofilm ditemukan bahwa terdapat beberapa kelompok organisme diantaranya yang teridentifikasi adalah alga, jamur, flagellata, amuba, ciliata, rotifera, dan nematoda (Babko, et al., 2014). Perifiton merupakan kumpulan mikroorganisme yang menempel pada substrat yang tercelup pada air (B.G. Sibarani, et al., 2020). Dalam sebuah IPAL didapatkan bahwa protozoa dan metazoa menjadi mikroorganisme dominan yang membentuk sebuah perifiton yaitu antara 75% hingga 95% (Babko, et al., 2014). Pada unit awal sebuah IPAL ditemukan bahwa flagellata heteroik dan ciliata yang berenang bebas seperti *Cyclidium glaucoma* dan *Colpidium colpoda* menjadi mikroorganisme yang

dominan. Sedangkan pada tahap akhir mikroorganisme yang mendominasi berupa amuba cangkang dan ciliata yang menempel seperti *Epistylis plicatilis* dan *oothamnium procerius* (Babko, et al., 2014).

Distribusi keragaman dan kelimpahan yang ditunjukkan protozoa dan metazoa dalam masing-masing unit IPAL sering dikaitkan dengan parameter operasional seperti BOD. Hubungan antara protozoa dan metazoa dengan BOD dibuktikan dengan pendekatan korelasi koefisien. Analisis tersebut juga untuk mencari informasi mengenai jenis protozoa dan metazoa apa yang terlibat ketika konsentrasi BOD rendah dan tinggi (Cereceda, et al., 2000). Dalam mengamati protozoa dan metazoa memperlukan suatu metode. Terdapat banyak metode untuk menghasilkan gambar yang bagus agar saat diamati dengan mikroskop mikroorganisme tersebut dapat dianalisis. Dalam Serrano, *et* al (2008) disebutkan ada tiga teknik untuk melakukan pengamatan protozoa yaitu dengan metode *Silver carbonate*, *silver nitrate,* dan *silver proteinate/protargol.* SNI 06-3963-1995 dituliskan bahwa pengamatan sampel untuk pengamatan plankton dapat ditambahkan lugol untuk pengawetan dan menekan pergerakan plankton. Berbeda yang dilakukan oleh Babko, et al (2008) yang melakukan pengamatan langsung tanpa penambahan larutan apapun. Penentuan metode pengamatan sangat penting, karena pada bagian ini dapat menentukan proses analisis kelimpahan dan keragaman bisa dilakukan atau tidak. Perlu adanya analisis metode guna melihat metode tersebut sesuai atau tidak untuk diterapkan dalam penelitian ini. Hal tersebut didasari karena terdapat perbedaan metode yang digunakan oleh beberapa penulis dalam sumber bacaan.

Di Indonesia penelitian yang berkaitan tentang keberadaan protozoa dalam air limbah sangat minim. Hanya sedikit peneliti yang membahas seperti Parwayoni (2008) yang meneliti adanya protozoa dan alga dalam pengolahan limbah jenis Lagoon, namun penelitian ini tidak membahas secara lebih detail mengenai jenis apa saja protozoa dan alga yang menghuni bak tersebut. Penelitian oleh Cereceda *et* al (2000) dan Babko *et* al (2014) secara detail membahas kaeadaan protozoa dan metazoa dalam air limbah serta memetakan keragaman protozoa setiap unit IPAL yang diteliti. Berdasarkan hal tersebut diperlukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kelimpahan dan keragaman komunitas protozoa, metazoa, dan alga

dalam IPAL khususnya yang berada di Indonesia. Protozoa, metazoa, dan alga sendiri juga memainkan peran penting pada IPAL sebagai bioindikator untuk kinerja unit pengolahan dan effluent yang dihasilkan (Cereceda, et al., 2001). Dilakukan juga analisis kelimpahan dan keragaman protozoa, metazoa, dan alga dengan konsentrasi BOD setiap unit IPAL menggunakan pendekatan koefisien korelasi. Selain itu penting untuk menentukan metode apa yang digunakan agar analisis taksonomi mudah dilakukan. Penelitian dilakukan di IPAL Bakti Warga yang berlokasi di Mulungan Kulon, Sendangjati, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman. Metode pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop dengan Lingkup dari penelitian meliputi pengamatan keragaman protozoa, metazoa, dan alga pada unit ABR, *anaerobic filter*, RBC, dan bak sedimentasi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang, berikut adalah rumusan masalah yang akan disajikan pada penelitian ini, meliputi :

1. Bagaimana metode yang sesuai untuk pengujian keragaman protozoa, alga, dan metazoa dalam air limbah dan biofilm pada IPAL komunal Bakti Warga, Sleman, D.I. Yogyakarta
2. Bagaimana kelimpahan dan keragaman protozoa, alga, dan metazoa yang terdapat pada setiap unit pengolahan di IPAL komunal Bakti Warga, Sleman, D.I. Yogyakarta?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi kandungan organik (BOD) air limbah terhadap keragaman protozoa, alga, dan metazoa yang terdapat pada IPAL komunal Bakti Warga, Sleman, D.I. Yogyakarta?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menentukan metode pengujian keragaman protozoa, alga, dan metazoa yang sesuai dalam air limbah dan biofilm pada IPAL komunal Bakti Warga, Sleman, D.I. Yogyakarta

2. Untuk menganalisis kelimpahan dan keragaman protozoa, alga, dan metazoa pada setiap unit pengolahan di IPAL komunal Bakti Warga, Sleman, D.I. Yogyakarta
3. Untuk melakukan pemetaan pengaruh konsentrasi kandungan organik (BOD) air limbah terhadap keragaman dan kelimpahan protozoa, alga, dan metazoa pada setiap unit IPAL komunal bakti Warga, Sleman, D.I. Yogyakarta

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini untuk mengetahui keragaman protozoa, alga, dan metazoa pada masing-masing unit IPAL komunal bakti Warga, Sleman, D.I. Yogyakarta. Dari hal ini dapat dilihat performa RBC dalam menyisihkan polutan dari pemanfaatan mikroba khususnya protozoa, alga, dan metazoa pada biofilm.

Adapun manfaat lain yang diperoleh dari tugas akhir ini, baik dari segi perguruan tinggi, masyarakat, hingga pemerintah adalah :

1. Bagi Perguruan Tinggi

   Hasil akhir dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi pembelajaran bagi mata kuliah yang berkaitan dengan sistem pengolahan air limbah khususnya pada pengolahan menggunakan mikroba.
2. Bagi Masyarakat

   Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam merencanakan sebuah unit IPAL.
3. Bagi Pemerintah

   Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk dijadikan masukan ataupun pertimbangan pemerintah dalam perancangan unit IPAL.

1.5 Asumsi Penelitian

Asumsi penelitian merupakan anggapan dasar yang diyakini kebenarannya dan dianggap sebagai titik tolak penelitian oleh penulis. Asumsi penelitian harus didukung dengan hasil penemuan pada penelitian sebelumnya yang relevan. Asumsi dasar penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kondisi unit IPAL akan berpengaruh terhadap kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga
2. Kelimpahan protozoa dan metazoa akan mencapai keadaan yang optimal pada unit RBC
3. Protozoa, metazoa, dan alga akan mencapai kelimpahan yang tinggi pada biofilm
4. Konsentrasi BOD akan berpengaruh terhadap keragaman dan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi yang dianalisis berada di IPAL komunal Bakti Warga, Sleman, D.I. Yogyakarta
2. Parameter yang diujikan adalah protozoa, metazoa, dan alga
3. Sumber sampel diambil pada unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), *Anaerobic Filter*, *Rotating Biological Contactor* (RBC), dan bak sedimentasi
4. Pengamatan morfologi protozoa, metazoa, dan alga menggunakan mikroskop pada perbesaran 40x sampai dengan 400x

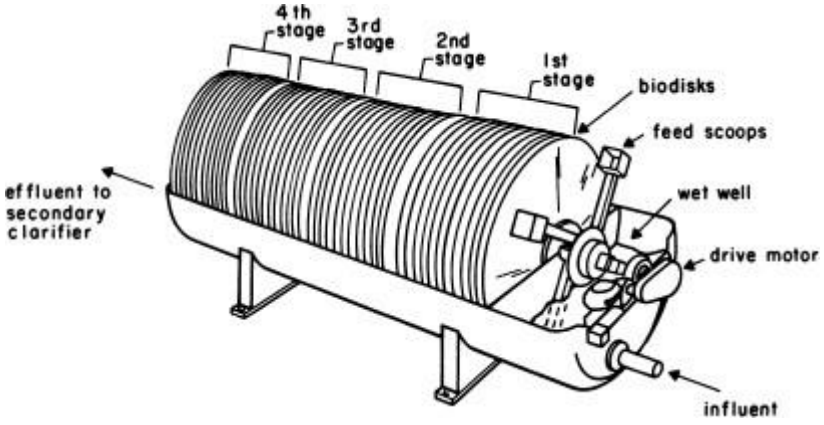
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Keberadaan suatu limbah yang berada di lingkungan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan gangguan kesehatan jika tidak dikelola dengan baik. Limbah khususnya yang berasal dari kegiatan domestik dapat diolah dengan menggunakan instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Dalam Pengertiannya IPAL merupakan suatu struktur bangunan yang dirancang dengan tujuan untuk membuangdan mengolah limbah sehingga limbah tersebut memungkinkan untuk digunakan kembali untuk aktivitas yang lain. Pengolahan ini dilakukan berdasarkan kandungan dan polutan yang terdapat pada limbah. Pengolahan limbah yang ada di IPAL dapat menggunakan teknologi secara fisika, kimia, biologi, dan kombinasi antara ketiga tahapan teknologi tadi (Wulandari, 2014).

Ada beberapa tahapan proses dalam pengolahan air limbah, yaitu tahapan pengolahan *pre treatment, primary treatment, secondary treatment*, dan *tertiary treatment.* Pada tahapan pengolahan *Secondary Treatment* biasanya terdapat pengolahan limbah secara biologis. Pengolahan ini memanfaatkan mikroba untuk membersihkan zat-zat organik atau mengubah zat organik yang terdapat pada limbah (Kencanawati, 2016). Setelah melalui proses ini diharapkan limbah tersebut dapat digunakan kembali untukaktivitas lain. Terdapat tiga jenis klasifikasi pada proses pengolahan air limbah secarabiologi yaitu proses biomassa tersuspensi (*suspended culture*), proses biomassa melekat (*attached culture*), dan *lagoon*/kolam (Said, 2000).

Rotating Biological Contactor atau yang sering disingkat dengan RBC adalah sebuah teknologi pengolahan air limbah dengan mengadaptasi proses pengolahan biomassa melekat atau biakan melekat (*attached growth*). RBC menggunakan media berupa piringan baja berbentuk bulat tipis yang dipasang secara berjajar dalam suatuporos dan berputar dalam suatu reaktor. Piringan ini berguna untuk pengembangbiakan mikroorganisme yang nantinya akan membentuk biofilm dan mikroorganisme tersebut dimanfaatkan untuk penyisihan polutan pada air limbah yang dikontakkan (Said, 2005).



(Sumber : Kinner, et al., 2016)

Gambar 1. *Rotating Biological Contactor* (RBC)

Prinsip kerja dari pengolahan RBC ini adalah dengan mengotakkan lapisan mikro-organisme yang melekat pada permukaan media reaktor dengan air limbah yang mengandung polutan organik. Tempat melekatnya mikroorganisme ini membentuk suatu modul, dari modul tersebut nantinya akan diputar pada air limbah yang dialirkansecara kontinyu dan menghasilan posisi dimana setengah dari modul tersebut tercelupkedalam air limbah dan setengahnya lagi terdapat kontak dengan oksigen. Dari keadaan tersebut maka akan tumbuh mikroorganisme seperti bakteri, alga, protozoa, fungi, dan mikroorganisme lain. Mikroorganisme tersebut tumbuh melekat pada permukaan media putar dan membentuk sebuah lapisan yang biasa kita sebut biofilm (Nurkholis, et al., 2016).

Mikroorganisme tersebut dapat tumbuh pada permukaan media karena mikroorganisme mengambil atau menguraikan senyawa organik pada air limbah yangdikontakkan dan mengambil oksigen yang larut pada air ataupun oksigen pada udara.Hal tersebut digunakan mikroorganisme untuk proses metabolisme, sehingga kandungan polutan organik dalam air limbah dapat berkurang. Mikroorganisme dalammelakukan proses metabolisme tentu menghasilkan senyawa, yaitu berupa padatan dan gas. Senyawa gas akan tersebar ke udara melalui rongga yang ada pada media,sedangkan untuk senyawa padatan akan melekat pada lapisan biofilm yang nantinyadapat terurai dan larut kedalam air (Said, 2005).

3.2 Mikroorganisme Pembentuk Biofilm IPAL

Pada komponen biofilm didapatkan informasi mengenai pengaruh aktivitas

organisme lain dan memiliki pengaruh tertentu terhadap aktivitas bakteri (Babko, et al., 2014). Pada unit RBC mikroorganisme dapat tumbuh pada permukaan media karena mikroorganisme mengambil atau menguraikan senyawa organik pada air limbah yang dikontakkan dan mengambil oksigen yang larut pada air ataupun oksigen pada udara.Hal ini digunakan mikroorganisme untuk proses metabolisme, sehingga kandungan polutan organik dalam air limbah dapat berkurang. Mikroorganisme dalam melakukan proses metabolisme tentu menghasilkan senyawa, yaitu berupa padatan dan gas. Senyawa gas akan tersebar ke udara melalui rongga yang ada pada media,sedangkan untuk senyawa padatan akan melekat pada lapisan biofilm yang nantinya dapat terurai dan larut kedalam air (Said, 2005). Dari keadaan tersebut maka akan tumbuh mikroorganisme seperti bakteri, alga, protozoa, fungi, dan mikroorganisme lain. Mikroorganisme tumbuh melekat pada permukaan media putar dan membentuk sebuah lapisan yang biasa kita sebut biofilm (Said, 2005).

Biofilm dapat terbentuk secara optimal pada suhu 12,7 hingga 32,2^{o}C dan pada pH 7,1 hingga 7,7 (Rivera, et al., 1988). Pada penelitian lain disebutkan bahwa protozoa dapat hidup dalam kondisi suhu minimal antara 16-25 ^{o}C dan suhu maksimal antara 30-40 ^{o}C, sedangkan pH berada dalam rentang 6-8 (Diaz, et al., 2016). Untuk mikroalga terutama jenis diatom memiliki suhu optimal untuk hidup antara 20-30 ^{o}C dan pH antara 8,2-87 (Effendi, 2003 dalam Sulaiman, 2012). Sedangkan disebutkan oleh goldman & Horne (1983) bahwa fitoplankton (termasuk mikroalga) dapat hidup dan berkembang pada kisaran pH 6,5-8 (Goldman & Horne, 1983 dalam Alghiffari 2014). Distribusi mikroorganisme pada IPAL dapat dihubungkan dengan nilai BOD_5 pada masing masing unit. Hal ini untuk menghubungkan kualitas air limbah dengan kelimpahan organisme, karena protozoa dan metazoa diyakini sebagai bioindikator kinerja unit dan kualitas effluent IPAL. Hubungan itu dapat ditunjukkan dengan nilai korelasi, baik berupa korelasi negatif maupun korelasi positif (Cereceda, et al., 2000). Peran protozoa penting sebagai predator bagi bakteri dikarenakan jika bakteri mengalami *overpopulation* maka akan menyebabkan biomassa meningkat dan menanggu kinerja dari IPAL (Sudiana, 1999). Mayoritas kelimpahan komunitas protozoa diketahui menujukkan korelasi negatif dengan BOD_5 (Tan, et al., 2010).

Pada suatu pengolahan limbah menggunakan teknologi RBC ditemukan bahwa protozoa (ciliata, flagellata, dan amuba) dan metazoa (rotifera, nematoda, dan anellida) adalah penghuni khas dari unit tersebut. Hal ini dikarenakan semua sampel yang dianalisis ditemukan adanya protozoa dan metazoa (Cereceda, et al., 2000). Dalam pengolahan air limbah secara biologi mikroorganisme yang paling berperan adalah bakteri (Fisma & Bhernama, 2020). Di dalam sebuah struktur perifiton ditemukan beberapa organisme seperti bakteri, jamur, ganggang, rhizopoda, flagellata, ciliata, rotifera, dan nematoda (Babko, et al., 2014). Dalam pengamatan pada suatu unit RBC menggunakan mikroskop ditemukan mikroorganisme berupa amoeba, flagellata heterotrofik, flagellata autrofik, rotifera, nematoda, annelida, dan ciliata. Dari komposisi mikroorganisme tersebut komposisi mayoritas yaitu ciliata dengan jumlah 78% (Cereceda, et al., 2001).

Sebuah IPAL diambil beberapa titik pengambilan sampel dan didapatkan kelimpahan protozoa dan metazoa menjadi mayoritas dengan jumlah mencapai 75 % sampai 95% (Babko, et al., 2014). Untuk unit awal ditemukan bahwa flagellata heteroik dan ciliata yang berenang bebas seperti *Cyclidium glaucoma* dan *Colpidium colpoda* menjadi mikroorganisme yang dominan. Sedangkan pada tahap akhir mikrooganisme yang mendominasi berupa amuba cangkang dan ciliata yang menempel seperti *Epistylis plicatilis* dan *zoothamnium procerius*. Bakteri memanfaatkan bahan organik menjadi biomassa agar dapat terpisah dari effluent dengan membentuk flok (Babko, et al., 2014). Keberadaan ciliata yang mendominasi disebabkan karena ciliata merupakan predator bagi bakteri yang tidak bisa memanfaatkan bahan organik menjadi flok (Posponegoro, 1998). Protozoa dapat memilah bakteri yang dimakan karena rongga mulut protozoa dapat memfiltrasi partikel dengan ukuran tertentu. Jadi bakteri yang mampu membentuk flok akan membuat koloni dan berlindung dari predator seperti protozoa dan metazoa (Pauli, et al., 2001). Protozoa sendiri berinteraksi dengan mikroorganisme dan berperan untuk menyobek, menginokulasi, dan mengubah kandungan organik dalam air limbah secara kimia. Beberapa jenis protozoa merupakan predator bagi bakteri, fungi, alga, kapang, atau protozoa lainnya (Serrano, et al., 2008).

Pengolahan limbah seringkali memanfaatkan alga sebagai mikroorganisme penyisih. Istilah alga tidak hanya digunakan dalam penamaan pada sebuah

taksonomi, tetapi istilah alga sendiri digunakan untuk organisme yang dari segi fisiknya bersifat autrofik dan dapat berfotosintesis (Bellinger & Sigee, 2010). Alga jenis *Chlorella minutissima* menjadi jenis alga yang banyak dimanfaatkan untuk removal BOD dan COD. Banyak penelitian yang dilakukan menunjukan penyisihan BOD dan COD alga jenis *Chlorella minutissima* sebesar 31% hingga 82% untuk BOD dan 27% hingga 75% untuk COD. Alga dalam pertumbuhannya membutuhkan nitrogen, fosfor, dan CO_2. Pada pengamatan menggunakan mikroskop yang dilakukan di IPLT Sewon, ditemukan alga dengan ciri-ciri morfologi sel yang berbentuk bulat dengan diameter berkisar antara 2 sampai 10 μm (Waizh, 2014).

Kelompok organisme lain yang beragam dan melimpah yaitu nematoda. Nematoda merupakan kelompok dari metazoa bersama dengan beberapa organisme lain yang sering ditemukan dalam IPAL yaitu rotifera dan annelida (Cereceda, et al., 2000). Nematoda dapat berperan penting dalam pengolahan air limbah yaitu pada penghilangan konsentrasi bakteri yang tidak berperan dalam pengolahan air limbah (Santos, et al., 2014). Nematoda dianggap sebagai predator bagi rotifera, protozoa, dan nematoda lainnya. terdapat banyak jumlah nematoda yang ditemukan dalam pengolahan air limbah secara aerobik. Nematoda ini berperan terhadap pengendalian bakteri dan organisme lainnya seperti rotifera, protozoa, dan nematoda lainnya (T. Calaway, 1963).

3.3 Mikroskop

Mikroskop adalah alat untuk mengidentifikasi organisme yang akan diamati yaitu protozoa, alga, dan metazoa. Protozoa, alga, dan metazoa diamati dengan mikroskop untuk mengidentifikasi morfologi dan mengkarakterisasi keragaman dan kelimpahan mikroorganisme tersebut. Sampel diamati dengan medan terang menggunakan perbesaran 100, 250, dan 400x. struktur morfologi dari mikroorganisme yang telah diamati dan dibandingkan dengan data literatur (Cereceda, et al., 2001).

3.4 Penelitian Terdahulu

Dibawah ini merupakan penelitian terdahulu yang menjadi acuan peneliti dalam menganalisis protozoa, metazoa dan alga pada IPAL

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti, Tahun	Hasil Penelitian Secara Umum
1.	Babko, Kuzmina, Lagod, & Glen, 2014	Dalam sebuah struktur perifiton dalam unit pengolahan air limbah ditemukan beberapa organisme pembentuk. Organisme itu berupa protozoa, metazoa. Alga, dan fungi. Kelimpahan tertinggi ditemukan bahwa protozoa dan metazoa membentuk perifiton dengan persentase 75% hingga 95%. Kelimpahan masing-masing organisme dalam setiap unit mengalami perbedaan. Hal ini berkaitan dengan pengaruh dari beberapa faktor. Contoh pada kasus flagellata yang mendominasi kelimpahan pada unit awal dikarenakan kebutuhan energinya yang lebih rendah.
2.	Cereceda, M.Alvares, Serrano. & Guinea, 2001	Analisis organisme pada unit RBC menggunakan mikroskop ditemukan beberapa organisme pembentuk biofilm. Dalam pengamatan tersebut ditemukan banyak mikroorganisme pembentuk biofilm diantaranya amoeba, flagellata, rotifera, nematoda, anellida, dan ciliata. Mayoritas organisme pembentuk merupakan ciliata dengan persentase 78,53%
3.	Cereceda, Serrano, & Guinea, 2000	Protozoa dan metazoa merupakan penghuni khas dari biofilm RBC, hal ini dikarenakan temuan protozoa dan metazoa di semua sampel yang diamati. Protozoa

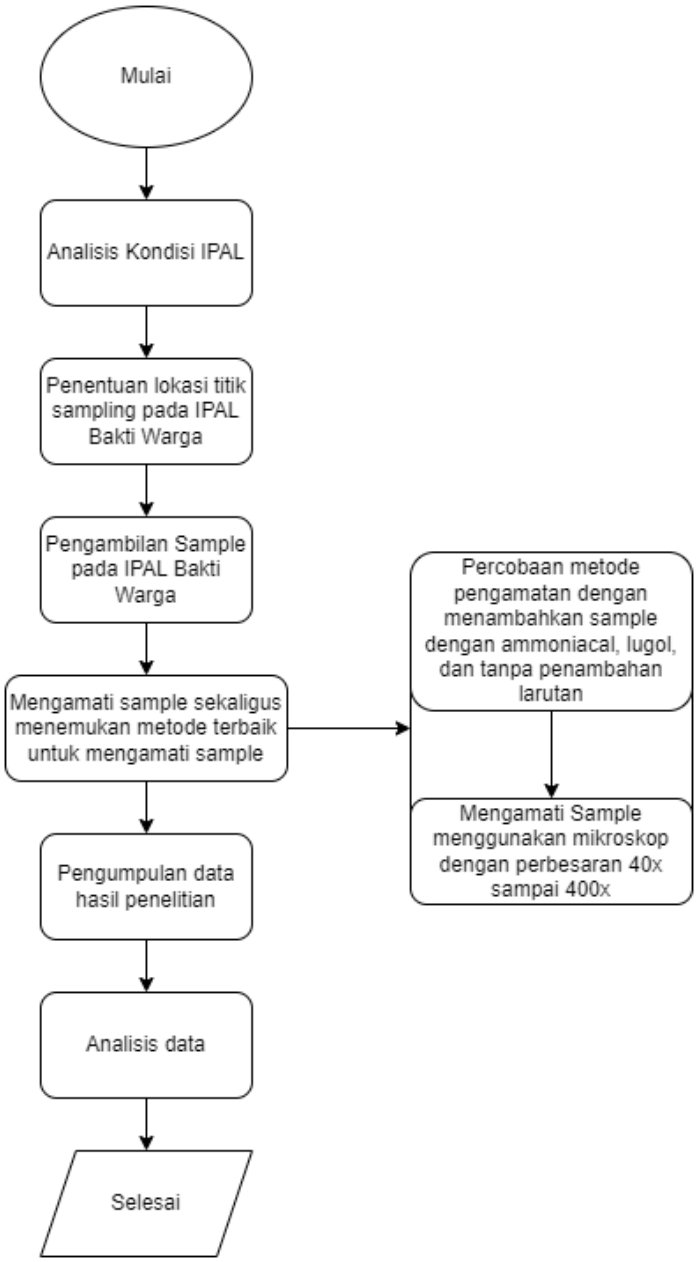
	memiliki kelimpahan yang lebih besar daripada metazoa. Jenis ciliata mendominasi dengan kelimpahan sebesar 90% dan metazoa memiliki kelimpahan tertinggi di angka 16,7%. Ciliata jenis peritrich seperti *Vorticella convallaria, Epistylis entzii* dan *Carchesium* menjadi spesies yang paling banyak ditemukan dalam sampel. Hal ini terjadi karena kemampuan protozoa jenis ini yang menetap pada lingkungan biofilm tetap karena keberadaan tangkai.

Dituliskan dalam beberapa peneilitian terdahulu bahwa ciliata merupakan mikroorganisme yang selalu mendominasi unit pengolahan air limbah. Sebagian besar penghuni unit IPAL merupakan mikroorganisme seperti protozoa dan metazoa, karena mikroorganisme ini merupakan penghuni khas dari sistem pengolaha air limbah. Sementara itu, penelitian mengenai protozoa, metazoa, dan alga di Indonesia ini masih minim. Oleh karena itu, peneliti memilih untuk mengangkat topik ini mengenai hal tersebut.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti



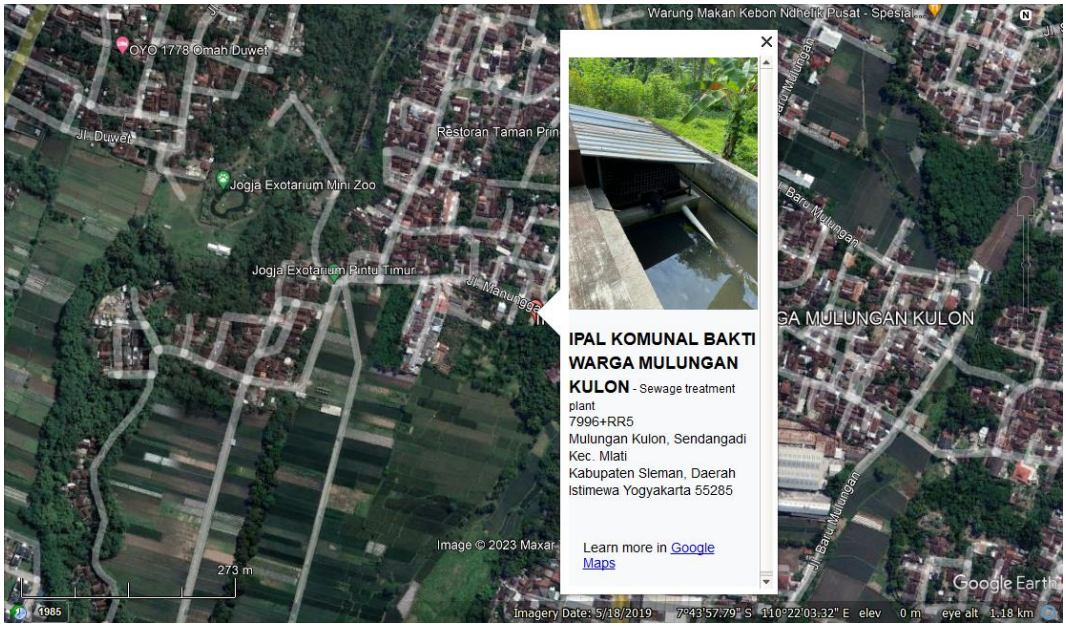
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Gambar 2 diatas merupakan gambaran alur penelitian dari mulai hingga selesai. Penelitian dimulai dengan analisis dan mengamati kondisi IPAL. Selanjutnya

dilakukan penentuan lokasi sampling pada tiap unit teknologi IPAL yang nantinya akan diamati di laboratorium. Kegiatan sampling dilakukan pada pada bak ABR, bak filter anaerob, unit RBC, dan bak sedimentasi. Selanjutnya sampel tersebut akan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis kelimpahan dan keragaman protozoa dengan mengamati morfologi menggunakan mikroskop.

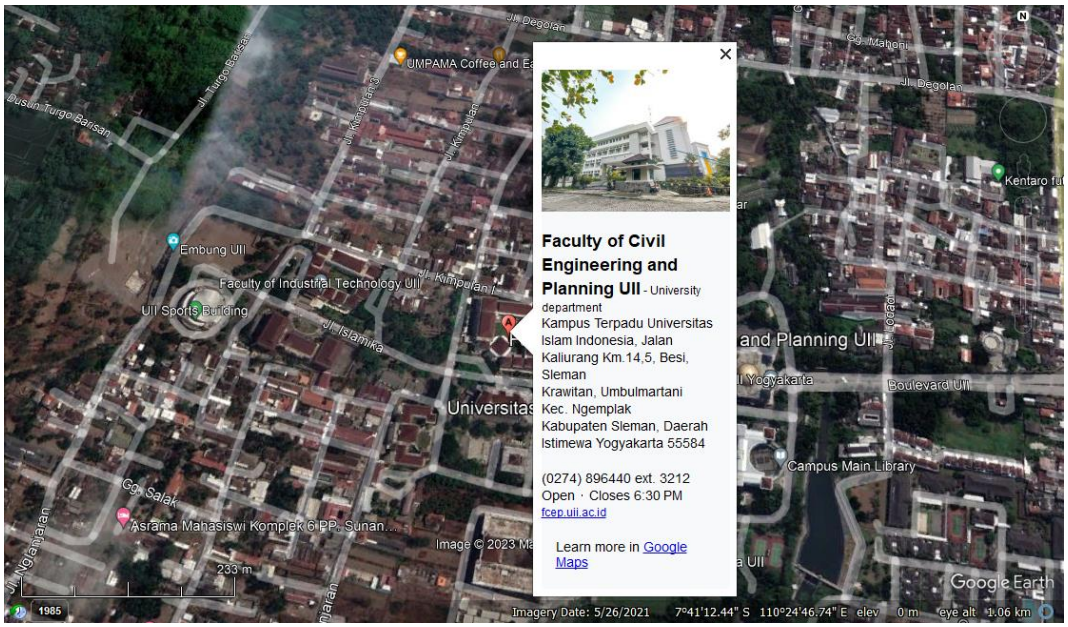
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan data primer IPAL Bakti Warga, Kabupaten Sleman. Lokasi dari penelitian ini berada di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Bakti warga yang beralamat di Mulungan Kulon, Sendangjati, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman. Untuk pengamatan parameter yang diuji berupa keragaman protozoa, alga, dan metazoa dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi, Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan selama 5 bulan yang dimulai dari bulan Desember 2022 hingga April 2023. Penelitian dimulai dengan survei ke IPAL terkait dan diskusi mengenai perizinan penelitian. Setelah perizinan didapatkan maka dilanjutkan dengan pengambilan sampel pada masing-masing unit IPAL, yaitu pada Bak ABR, Bak AF, RBC, dan bak sedimentasi. Untuk unit RBC diambil sampel pada bagian air limbah dan juga biofilm pada cakram. Peta lokasi IPAL Komunal Bakti Warga disajikan pada gambar 2. Sedangkan untuk peta lokasi pengujian protozoa, alga, dan metazoa disajikan pada gambar 3.



(Sumber : Goggle Earth)

Gambar 3. Peta Lokasi IPAL Bakti Warga



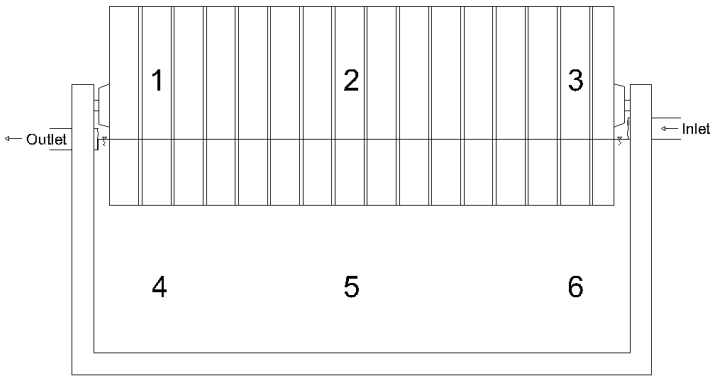
(Sumber : Google Earth)

Gambar 4. Peta Lokasi Pengujian Sampel

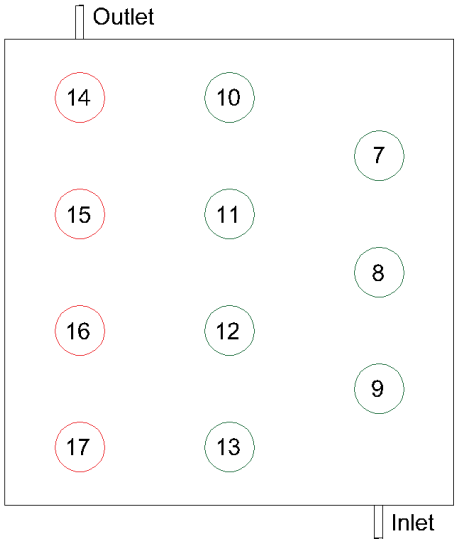
3.3 Metode Pengambilan Sampel

Sampling dilakukan pada unit ABR, anaerobic filter, RBC, dan bak sedimentasi. Untuk RBC pengambilan sampel dilakukan pada bagian biofilm, dan air. Pengambilan sampel unit ABR, *anaerobic filter*, dan bak sedimentasi dilakukan secara *composite sampling* untuk masing-masing unitnya. Sedangkan pada RBC dilakukan pengambilan sampel secara *grab sampling* untuk bagian awal, tengah,

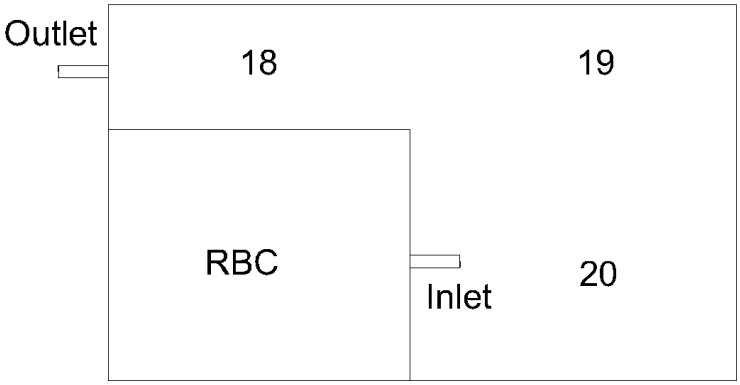
dan akhir RBC. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kelimpahan pada setiap bagian RBC. Pengambilan sampel dilakukan masing-masing unit satu kali, analisis dilakukan berdasarkan spasial atau perbedaan tempat antar unit IPAL. Semua jenis pengambilan sampling baik secara *grab sampling* dan *composite sampling* dilakukan berdasarkan SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Pengambilan sampel pada RBC dilakukan pada tiga titik, untuk detail titik sampling sudah digambarkan pada gambar 3.3. Pada pengambilan sampel pada biofilm dilakukan dengan cara yang merujuk pada Madoni (1988) yang dibahas dalam jurnal oleh Cereceda dkk (2001). Dijelaskan bahwa pengambilan sampel pada biofilm dilakukan dengan cara mengikis area pada area disk. Selanjutnya sampel diencerkan dengan air yang disaring dengan saringan berdiameter lubang 45 µm hingga volume akhir 20 ml.



Gambar 5. Penentuan Titik Pengambilan Sampel RBC



Gambar 6. Penentuan Titik Pengambilan Sampel ABR dan AF



Gambar 7. Penentuan Titik Pengambilan Sampel Bak Sedimentasi

Tabel 2. Metode Pengambilan Sampel Setiap Unit IPAL

Parameter	Unit	Titik Sampel		Metode Sampling	Analisis Metode
Protzoa, metazoa dan alga	ABR	Air	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	Composite Sampling	SNI 6989.59:2008 Air dan air limbah – Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah
	Anaerobic Filter	Air	14, 15, 16, 17	Composite Sampling	SNI 6989.59:2008 Air dan air limbah – Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah
	RBC	Biofilm	1, 2, 3	Grab Sampling	Cereceda, *et* al (2001)
		Air	4, 5, 6	Grab Sampling	SNI 6989.59:2008 Air dan air limbah – Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah
	Bak Sedimentasi	Air	18, 19, 20	Composite Sampling	SNI 6989.59:2008 Air dan air limbah – Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah

Gambar 5-7 dan tabel 2 yang berisi penentuan titik sampling dan metode sampling. Semua unit dari IPAL mengambil sampel uji secara composite kecuali untuk unit RBC. *Grab sampling* digunakan pada RBC dikarenakan peneliti ingin mengetahui keragaman protozoa, metazoa dan alga yang berada pada daerah awal, tengah, dan akhir RBC. Hal ini berkaitan dengan RBC sebagai pengolahan post treatment dan pengolahan secara aerobik yang menggunakan biofilm sebagai

tempat berkembangnya mikroba. Sehingga keberadaan komunitas protozoa, alga, & metazoa menjadi sesuatu yang menarik perhatian peneliti.

3.4 Alat dan Bahan

3.2.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada masing-masing unit IPAL Bakti Warga. Terdapat empat unit teknologi yang terdapat pada IPAL yaitu ABR, *Anaerobic Filter*, RBC, dan Bak Sedimentasi. Sampel sendiri terdiri dari dua macam yaitu sampel air dan sampel biofilm. Alat, bahan dan cara pengambilan untuk kedua sampel ini berbeda. Adapun alat dan bahan yang digunakan pada saat pengambilan sampel air adalah botol (100 mL) sebanyak 3 buah, spoid/suntikan (50 mL), dan selang. Sedangkan sampel biofilm alat dan bahan yang digunakan adalah *cotton swab* steril, dan botol plankton sebagai wadah sampel.

3.2.2 Pengujian Protozoa, Metazoa dan Alga

Pengujian sampel dilakukan secara *trial & error* dengan menggunakan tiga metode berdasarkan sumber yang diacu. Yaitu, metode *ammoniacal silver carbonate* yang dibahas dalam jurnal Cereceda *et* al (2000) dan buku oleh Serrano *et* al (2008), metode dengan penambahan lugol dalam sampel berdasarkan SNI 06-3963-1995 Tentang Pengujian Jenis dan Jumlah Plankton Dalam Air, serta Serta metode pengamatan langsung tanpa penambahan larutan berdasarkan jurnal Babko, et al (2014). Metode penambahan *ammoniacal silver carbonate* menggunakan alat berupa gelas beaker 40 ml, kompor, thermometer, pipet ukur 10 ml, karet pipet dan pipet tetes. Sedangkan untuk bahan berupa formalin (37%), aquades, *tween 80/polysorbate* (4%), *bacteorogical peptone* (5%), *pyridine*, *ammoniacal silver carbonate*, dimana pembuatan *ammoniacal silver carbonate* menggunakan bahan berupa Na_2CO_3 (5%), $AgNO_3$ (10%), dan NH4OH. Untuk metode penambahan lugol hanya memerlukan alat dan bahan berupa gelas beaker, pipet ukur 10 ml, karet pipet, dan lugol. Setelah membuat larutan diatas maka analisis protozoa, metazoa dan alga dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop, alat yang digunakana berupa mikroskop dengan fase kontras, preparat *sedgewick rafter*, preparat cekung (25 μL), dan pipet tetes.

3.5 Prosedur Penentuan Metode Pengamatan

Terdapat tiga metode yang akan dicoba pada penelitian ini yaitu, *ammoniacal silver carbonate,* Lugol, dan tanpa penambahan larutan. Untuk menentukan metode yang tepat digunakan maka akan dilakukan skoring terhadap masing-masing metode. Sebelum dilakukan skoring ditentukan terlebih dahulu parameter untuk membandingkan metode-metode tersebut. Parameter ini ditentukan berdasarkan kebutuhan peneliti yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Berikut merupakan parameter yang ditentukan oleh peneliti :

a. Kejelasan Gambar

   Parameter ini berkaitan dengan kualitas gambar yang dihasilkan. Keadaan sample yang diamati sering bercampur dengan flok sehingga dapat menganggu pengamatan. Peneliti melihat mana metode yang menghasilkan gambar mikroorganisme paling jelas dan tidak ada benda lain yang menganggu pengamatan. Mikroorganisme harus dalam keadaan yang jelas agar morfologi dapat terlihat dengan jelas.

b. Enumerasi Mikroorganisme

   Metode ini membandingkan mana yang lebih cocok untuk perhitungan. Perhitungan dilakukan secara manual dengan menghitung satu-persatu organisme dalam mikroskop.

c. Identifikasi Mikroorganisme

   Identifikasi mikroorganisme dimasukkan dalam parameter karena perlunya analisis morfologi untuk menentukan taksonomi mikroorganisme. Keadaan gambar harus jelas memperlihatkan morfologi mikroorganisme agar tidak terjadi kesalahan dalam penagamatan morfologi.

d. Pergerakan Mikroorganisme

   Dapat diketahui protozoa dan metazoa bergerak aktif pada saat berenang dalam sebuah sampel pengamatan. Pergerakan ini harus direduksi agar analisis terutama enumerasi mudah dilakukan.

e. Persiapan Sampel

Persiapan sampel berkaitan dengan waktu pengamatan yang harus dilakukan 30 menit hingga 12 jam setelah pengambilan sampel. maka dari itu, sampel yang akan diamati harus bisa memaksimalkan waktu yang terbatas ini. Semakin lama persiapan sampel maka semakin sedikit waktu yang tersisa untuk pengamatan, sehingga analisis akan tidak efektif.

Setelah dilakukan analisis metode berdasarkan parameter diatas maka dilakukan skoring berdasarkan kebutuhan dari peneliti. Skoring dilakukan dengan nilai 1-4 pada setiap parameter, semakin tinggi nilai maka semakin bagus metode tersebut pada parameter tersebut. Berikut keterangan skoring dalam penilaian metode :

- 1 = Kurang
- 2 = Cukup
- 3 = Baik
- 4 = Sangat Baik

setelah dilakukan skoring pada tiap metode dilanjutkan dengan penjumlahan dari penilaian setiap paremeter. Metode dengan nilai tertinggi merupakan metode yang terpilih dan digunakan dalam penelitian ini.

3.6 Prosedur Analisis Data

Analisis protozoa, alga, & metazoa dilakukan menggunakan beberapa metode yang dibahas dalam jurnal Cereceda *et* al (2000), buku oleh Serrano *et* al (2008), Ariana *et* al (2014), dan menggunakan SNI 06-3963-1995 Tentang Pengujian Jenis dan Jumlah Plankton Dalam Air. Pengamatan protozoa, metazoa, dan alga dilakukan 30 menit hingga 12 jam dari pengambilan sampel (Serrano, et al., 2008). Sampel terdiri dari sampel air limbah dan biofilm.

Untuk pengamatan air limbah menggunakan SNI 06-3963-1995, bahwa pengamatan dilakukan menggunakan preparat sedgewick rafter dan diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 100 hingga 200. Sebelum diamati sampel dapat ditambahkan formalin ataupun lugol yang digunakan untuk mengawetkan sampel dan memperlambat pergerakan mikroorganisme. Untuk menghitung kelimpahan protozoa dengan rumus sel hitung Sedgwick-Rafter sesuai pada SNI 06-3963-1995

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

Dimana :

N = jumlah individu protozoa per ml

C = jumlah protozoa yang dihitung

A = luas lapangan yang dihitung (mm^2)

D = kedalaman sel hitung Sedwick-rafter (mm)

F = jumlah lapangan yang dihitung

Untuk sampel biofilm menggunakan metode yang dibahas dalam Serrano (2008) serta menggunakan rumus perhitungan APHA (1989) dalam Ariana *et* al (2014). Sampel diambil sebanyak 25 µL lalu diamati menggunakan mikroskop fase kontras (Cereceda, et al., 2000). preparat yang digunakan yaitu preparat dengan ukuran 18x18 cm dan untuk area sampelnya. Dalam pengamatan nanti dilakukan dengan mengggunakan preparat cekung yang mampu untuk menampung sampel sebanyak 25 µL. Lalu sampel tersebut diamati secara *zig zag* menggunakan mikroskop (Serrano, et al., 2008). Rumus dari APHA (American Public Health Association), 1989 yang dibahas dalam jurnal Ariana *et* al (2014) adalah sebagai berikut.

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

Dimana :

N = Kelimpahan individu fitoplankton (individu/ml)

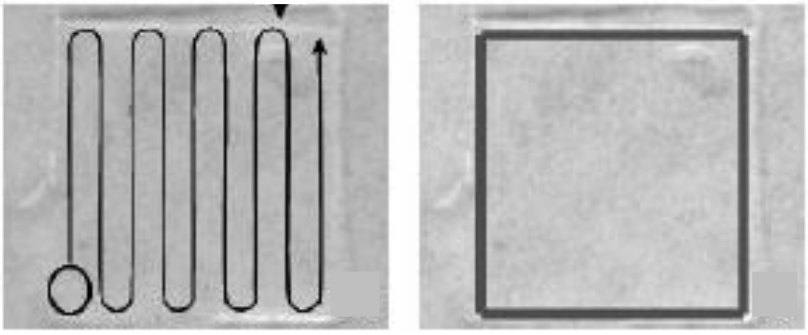
Z = Jumlah individu fitoplankton

X = Volume air sampel yang tersaring (ml)

Y = Volume 1 tetes air (ml)

V = Volume air yang disaring (ml)

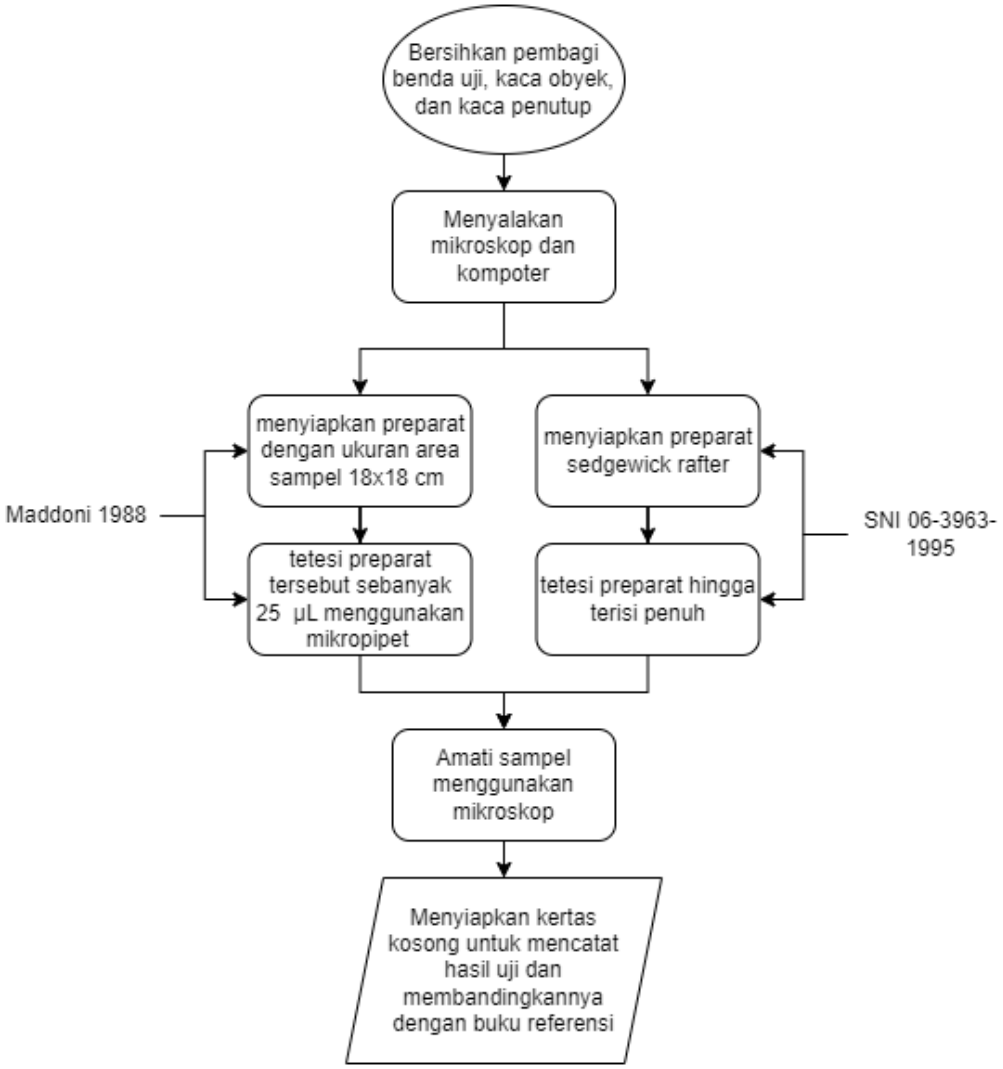
Penulis juga menggunakan metode pengamatan mikroskop secara zig-zag seperti yang ditulis dalam buku Serrano *et* al (2008). Metode ini dapat mengurangi kemungkinan mikroorganisme terhitung lebih dari satu kali, sehingga hasil yang didapatkan memiliki tingkat akurasi yang tinggi juga. (Serrano, et al., 2008)



(Sumber : Serrano, et al., 2008)

Gambar 8. Metode Pengamatan Mikroskop Secara Zig-zag

Tahapan pengujian ditunjukkan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut :



Gambar 9. Diagram Alir Tahapan Pengujian Sampel

Analisis kelimpahan protozoa, alga, & metazoa dihitung satu persatu dan dikelompokkan berdasarkan filum hingga spesiesnya dengan membandingkannya berdasarkan buku, jurnal maupun *paper* referensi. Adapun beberapa referensi yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Serrano, S., Arregui, L., Perez-Uz, B., Calvo, P., & Guinea, A. (2008). *Guidelines for the Identification of Ciliates in Wastewater Treatment Plants.* London: IWA Publishing.
2. Wulandari, S. (2010). *Mengenal Protozoa.* Semarang: PT. Sindur Press.
3. Lynn, H., Denis. (1979). *The Ciliated Protozoa Characterization, Classification, and Guide to the Literature.* New York: Pergamon Press.

4. Archibald, John., Simpson, Alastair., Slamovits, Claudio. (2017). *Handbook of the Protist.* Boston: Springer International Publishing.
5. Belinger, Edward., Sigae, David., (2010). *Freshwater Algae.* Great Britain: A John Wiky & Son, Ltd, Publication.

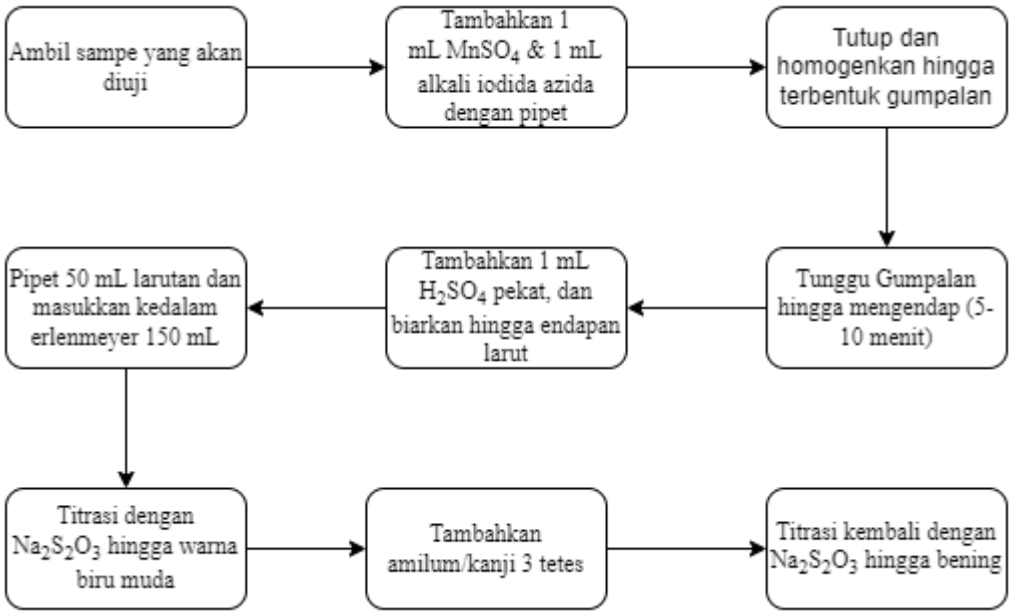
Komunitas mikroba tersebut lalu di data per individu setiap preparat baik untuk ukuran 25 μL maupun sedgewick rafter dan diulangi hingga 3 kali pengamatan dan dibuat rata-ratanya (Cereceda, et al., 2000). Berikut merupakan tabel metode pengujian dan metode analisis untuk masing-masing-masing sampel.

Tabel 3. Metode Pengujian Sampel

Parameter	Unit	Titik Sampel		Metode Pengujian	Analisis Metode
Protozoa, alga, & metazoa	ABR	Air	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	Pengamatan dengan mikroskop	SNI 06-3963-1995, Cereceda *et* al (2000) & Serrano *et* al (2008)
	Anaerobic Filter	Air	14, 15, 16, 17	Pengamatan dengan mikroskop	SNI 06-3963-1995, Cereceda *et* al (2000) & Serrano *et* al (2008)
	RBC	Biofilm	1, 2, 3	Pengamatan dengan mikroskop	Cereceda *et* al (2000), Ariana *et* al (2014) & Serrano *et* al (2008)
		Air	4, 5, 6	Pengamatan dengan mikroskop	SNI 06-3963-1995, Cereceda *et* al (2000) & Serrano *et* al (2008)
	Bak Sedimentasi	Air	18, 19, 20	Pengamatan dengan mikroskop	SNI 06-3963-1995, Cereceda *et* al (2000) & Serrano *et* al (2008)

3.7 Prosedur Analisis Korelasi

Koefisien korelasi digunakan untuk melihat hubungan antara laju kelimpahan protozoa, metzoa, dan alga dengan BOD. Sebelum dilakukan analisis korelasi dilakukan terlebih dahulu untuk pengujian BOD. BOD diuji menggunakan acuan SNI 6989-72-2009 Tentang Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demnad*/BOD). Untuk pengujian DO sendiri menggunakan SNI 06-6989.14-2004 Tentang Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida). Dalam pengujian DO setiap sampel dipisahkan menjadi 2 untuk pengujian DO_0 dan DO_5. Untuk setiap pengujian DO digunakan prosedur sebagai berikut :



Gambar 10. Prosedur pengujian DO sesuai SNI 06-6989.14-2004 Tentang Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida).

Untuk perhitungan oksigen terlarut setelah dilakukan pengujian titrasi maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$\textit{Oksigen terlarut (mg/L)} = \frac{V \; x \; N \; x \; 8000 \; x \; F}{50} \qquad (3)$$

Dimana :

V : mL $Na_2S_2O_3$

N : Normalitas $Na_2S_2O_3$

F : Faktor (volume botol dibagi botol dibagi volume botol dikurangi volume pereaksi MnSO4 dan alkali iodida azida)

Setelah dilakukan perhitungan oksigen terlarut baik pada DO_0 dan DO_5 dilanjutkan dengan perhitungan BOD yaitu menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

BOD_5 = Nilai BOD_5 contoh uji (mg/L)

A_1 = Oksigen terlarut contoh uji sebelum inkkubasi (0 hari) (mg/L)

A_2 = Oksigen terlarut contoh uji sebelum inkkubasi 5 hari (mg/L)

B_1 = Kadar oksigen terlarut blanko sebelum inkubasi (0 hari) (mg/L)

B_2 = Kadar oksigen terlarut blanko sebelum inkubasi 5 hari (mg/L)

V_B = Volume suspensi mikroba (mL) dalam botol DO blanko

V_c = Volume suspensi mikroba dalam botol contoh uji (mL)

P = Perbandingan volume contoh uji (V_1) per volume (V_2)

Setelah dilakukan pengujian maka hasil dari BOD setiap unit diketahui, maka analisis korelasi dapat dilakukan. Korelasi koefisien dianalis dengan data BOD tiap unit dengan kelimpahan pada masing-masing jenis mikroorganisme. Data diuji normalitas dan linieritas terlebih dahulu. Jika data tersebut tidak normal ataupun linier maka data akan duji korelasi menggunakan pengujian non paremetrik sedangkan jika data tersebut normal dan linier akan diuji menggunakan pengujian parametrik.

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Survei IPAL Komunal

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah survei lokasi IPAL komunal. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi eksisting IPAl komunal dan juga bertanya dan berkoordinasi terkait izin untuk melakukan penelitian di IPAL komunal tersebut. Survei IPAL komunal dilaksanakan dua kali pada tanggal 15 dan 17 Februari 2022. Pada saat survei peneliti memastikan apakah IPAL komunal tersebut sesuai dengan kriteria peneliti yaitu memiliki dua jenis pengolahan secara aerobik dan anaerobik. Selain itu peneliti memastikan apakah kondisi IPAL dalam keadaan baik dan IPAL tersebut memungkinkan terdapat koloni mikrobiologis yang tumbuh. Aspek kemudahan dalam pengambilan sampel juga harus menjadi pertimbangan peneliti dalam menentukan lokasi penelitian. Setelah beberapa aspek dan kriteria seperti kondisi fisik dan juga perizinan maka peneliti memilih IPAL yang digunakan yaitu IPAL Bakti Warga yang berlokasi di di Mulungan Kulon, Sendangjati, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman. Setelah itu peneliti melakukan koordinasi lanjutan dengan pihak IPAL komunal guna untuk pengambilan sampel dan meminta untuk pendampingan.

4.2 Kondisi Eksisting IPAL Komunal Bakti Warga

Penelitian dilakukan pada IPAL Bakti Warga yang berada di Mulungan Kulon, Sendangjati, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman. IPAL Bakti Warga mempunyai kapasitas sebanyak 150 kk dan saat ini melayani kurang lebih 160 kk. Terdapat empat unit pengolahan yang digunakan pada IPAL ini diantaranya ABR, AF, RBC, dan bak sedimentasi. IPAL komunal Bakti Warga dibagun pada tahun 2012 yang diinisiasi oleh warga Mulungan Kulon serta bekerjasama dengan Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna Pengolahan Limbah Cair (PUSTEKLIM). Pembangunan IPAL komunal Bakti Warga mendapat bantuan dari Kementerian Luar Negeri Pemerintah Jepang dalam Skema Proyek Bantuan Hibah untuk Lembaga Swadaya Masyarakat Jepang. Kondisi eksisting IPAL komunal Bakti Warga cukup terawat dan rutin dilakukan pembersihan serta pengurasan. Hal ini berdampak pada kondisi IPAL yang bersih dan tidak menimbulkan bau yang

berlebihan, selain itu kondisi fisik dari *effluent* yang dihasilkan cukup jernih ketika dilihat dengan mata telanjang. Terdapat papan informasi berkaitan dengan IPAL komunal Bakti Warga pada lingkungan IPAL, informasi yang disajikan cukup lengkap mulai dari denah/*layout* IPAL hingga terdapat informasi mengenai kapasitas dari IPAL komunal Bakti Warga. Berikut gambar kondisi IPAL komunal Bakti Warga yang dapat dilihat dari gambar 9.



Gambar 11. kondisi IPAL Bakti Warga. kondisi bak *anaerobic baffled reactor* dan *anaerobic filter* dilihat dari atas manhole (a-b). Kondisi *rotating biological contactor* dan bak sedimentasi (c).

4.3 Pengambilan Sampel

4.1 Persiapan Alat Pengambilan Sampel

Sebelum pengambilan sampel, dilakukan persiapan alat terlebih dahulu. Persiapan alat dilakukan agar pada saat pelaksanaan pengambilan sampel dapat dilakukan secara baik dan sesuai dengan prosedur yang direncanakan. Ada dua jenis sampel yang akan diambil yaitu berupa air limbah dan biofilm. Dari kedua sampel tersebut terdapat perbedaan cara pengambilan, sehingga diperlukan persiapan.

Adapun sampel limbah diambil dari unit ABR, AF, RBC, dan bak sedimentasi. Sedangkan pengambilan sampel biofilm diambil pada cakram unit RBC. Untuk alat yang dipersiapkan pada saat pengambilan sampel air limbah yaitu botol (100 mL) sebanyak 3 buah, spoid/suntikan (50 mL), dan selang. Sedangkan sampel biofilm alat yang digunakan berupa *cotton swab* steril, dan botol plankton sebagai wadah sampel. Botol yang digunakan baik botol air limbah maupun botol plankton sebelum digunakan harus dicuci terlebih dahulu dan disemprot alkohol untuk sterilisasi wadah. Sedangkan wadah yang digunakan untuk membawa botol sampel dari lokasi IPAL menuju laboratorium menggunakan *ice box* yang sudah disterilisasi dengan desinfektan.

4.2 Pengambilan Sampel Air Limbah

Sampel air limbah diambil pada unit ABR, AF, RBC, dan bak sedimentasi. Untuk waktu pengambilan sampel pada air limbah ini dilakukan sebanyak empat kali, dengan pemberian waktu satu hari untuk satu unit pengolahan. Cara pengambilan ini dilakukan karena pada saat pengamatan dilakukan secara *in vivo* atau langsung diamati. Hal ini diacu dalam buku serrano, et al bahwa pengamatan dapat dilakukan dalam waktu 30 menit hingga 12 jam dari pengambilan sampel (Cereceda, et al., 2000). Untuk sampel yang belum diamati dapat disimpan dalam lemari pendingin dengan suhu 7^{o}C (Babko, et al., 2014).

Pengambilan sampel menggunakan poid/suntikan dan selang. Penggunaan alat ini untuk mengambil sampel air limbah yang berada dalam bak. Karena kedalaman air limbah yang cukup dalam sehingga penggunaan suntikan dan selang digunakan dalam pengambilan sampel. Selang dan suntikan yang digunakan dalam keadaan steril. Setelah itu air limbah dipindahkan dalam botol hingga botol tersebut penuh, lalu botol ditutup hingga rapat dan simpan dalam *ice box*. Setelah itu sampel dibawa ke laboratorium untuk segera diamati dengan mikroskop. Pengambilan sampel dilakukan secara *grab sampling* untuk unit RBC, dikarenakan pengamatan RBC dilakukan dengan membagi RBC menjadi tiga bagian yaitu bagian awal, tengah, dan akhir. Sedangkan pada unit ABR, AF, dan bak sedimentasi melakukan sampling secara komposit. Untuk titik pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 5, 6, dan 7. Metode pengambilan sampel secara *grab sampling* dan

composite sampling mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah.

4.3 Pengambilan Sampel Biofilm

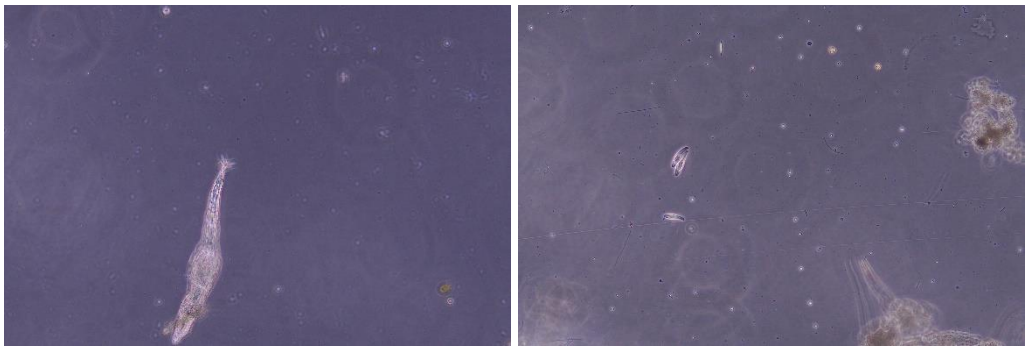
Biofilm diambil pada bagian cakam RBC, cakram tersebut merupakan media bagi kumpulan mikroorganisme hidup dan membentuk sebuah padatan yang disebut dengan biofilm. Pengambilan sampel pada biofilm dilakukan secara gram sampling. Seperti sampel air limbah RBC, pengamatan pada biofilm dilakukan dengan membagi RBC menjadi tiga bagian yaitu bagian awal, tengah, dan akhir. Pengambilan sampel pada biofilm mengacu pada Madoni (1988) yang dibahas dalam jurnal oleh Cereceda dkk (2001). Alat yang digunakan untuk pengambilan biofilm adalah *cotton swab* steril dan botol plankton sebagai wadah sampel. Langkah pengambilan sampel dilakukan dengan menggoreskan cotton swab steril pada permukaan cakram hingga biofilm menempel pada cotton swab steril. Dilanjutkan dengan memindahkan goresan biofilm pada cotton swab steril pada botol plankton yang sudah dipersiapkan. Selanjutnya sampel tersebut dimasukkan ke dalam *ice box* dan dibawa menuju laboratorium. Untuk waktu pengamatan sama dengan air limbah yaitu 30 menit hingga 12 jam jam setelah pengambilan sampel (Serrano, et al., 2008).

4.4 Perbandingan Metode Acuan Pengamatan Sampel

Sebelum dilakukannya pengamatan kelimpahan dan keragaman mikroorganisme IPAL Bakti Warga, peneliti terlebih dahulu melakukan pengujian percobaan pada metode yang akan digunakan. Tujuan dari percobaan ini adalah membandingkan dan mencari metode terbaik untuk mendapatkan gambar mikroorganisme yang jelas. Hal ini berguna untuk membandingkan mikroorganisme dengan gambar dari sumber terkait guna menentukan taksonomi dari mikroorganisme tersebut. Adapun metode yang dibandingkan adalah metode *ammoniacal silver carbonate* yang dibahas dalam jurnal Cereceda *et* al (2000) dan buku oleh Serrano *et* al (2008), metode dengan penambahan lugol dalam sampel berdasarkan SNI 06-3963-1995 Tentang Pengujian Jenis dan Jumlah Plankton dalam Air. Serta metode pengamatan langsung tanpa penambahan larutan berdasarkan jurnal Babko, et al (2014).

4.4.1 Tanpa Penggunaan Larutan

Pengamatan sampel menggunakan metode tanpa menggunakan larutan merupakan metode yang paling mudah diterapkan dan kemungkinan mikroorganisme hidup tinggi, karena sampel tidak terkontaminasi larutan apapun. Metode ini banyak diterapkan pada beberapa jurnal, paper yang membahas mengenai pengamatan morfologi mikroorganisme. Pada penelitian ini metode pengamatan tanpa penambahan larutan, mengacu pada jurnal dari Babko, et al (2014) yang berjudul. Dalam jurnal tersebut sampel diamati langsung menggunakan mikroskop lalu organisme yang terlihat diidentifikasi dan diklasifikasikan kedalam kelompok morfologis sesuai dengan referensi yang diacu. Gambar dari percobaan ini dapat terlihat pada gambar 12.



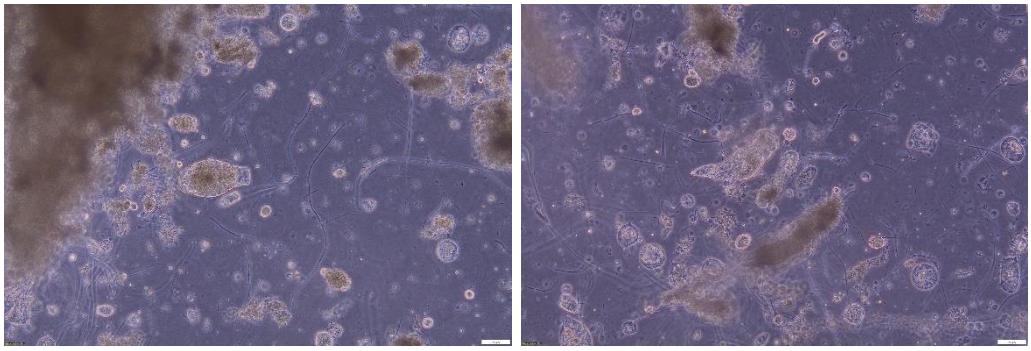
Gambar 12. Hasil Pengamatan Sampel Tanpa Penambahan Larutan menggunakan perbesaran 100x fase kontras I

Dari gambar 12 disimpulkan bahwa pengamatan dengan metode ini menghasilkan gambar yang cukup jelas, namun warna antara flok dan organisme sedikit ada kemiripan. Warna flok dan organisme cenderung mirip sehingga kualitas gambar tidak sebaik *ammoniacal silver carbonate*. Pada metode ammoniacal silver carbonate gambar terlihat jelas struktur morfologinya dikarenakan sel dari mikroorganisme dirasapi larutan perak sehingga menghasilkan warna yang berbeda. Tetapi pada metode tanpa penambahan larutan struktur morfologi semua mikroorganisme dapat terlihat, sehingga analisis dan identifikasi dapat memudahkan peneliti. Pada metode ini mikroorganisme masih dapat bergerak bebas sehingga morfologi mikroorganisme dapat terlihat dalam beberapa posisi dari pergerakannya. Kekurangan dari metode ini adalah pada saat perhitungan kelimpahan. Peneliti sedikit kesulitan dengan pergerakan dari mikroorganisme

karena ada kemungkinan mikroorganisme tersebut terhitung lebih dari sekali, terutama pada jenis mikroorganisme yang bersifat free *swimming*. Tetapi hal ini tidak terlalu berpengaruh karena kelimpahan mikroorganisme free *swimming* dalam air limbah tidak banyak bergerak sehingga memudahkan perhitungan. Pembuatan sampel pada metode ini sangat mudah karena sampel tidak ditambahkan larutan apapun.

4.4.2 Penambahan Lugol

Metode ini sesuai dengan yang ditulis dalam SNI 06-3963-1995 Tentang Pengujian Jenis dan Jumlah Plankton dalam Air. Ditulis dalam SNI bawah larutan yang digunakan merupakan formalin. Perubahan penggunaan formalin menjadi lugol dilakukan penulis dikarenakan sebelumnya penulis berkonsultasi dengan pihak laboratorium agar formalin diganti dengan lugol. Penggunaan lugol ini juga dibahas dalam jurnal Indrayani, et al (2014) bahwa penggunaan formalin (4%) sebagai pengawet sampel dapat diganti menggunakan lugol yang mengandung iodium. Larutan lugol dalam hal ini selain berfungsi sebagai pengawet juga dapat menghambat pergerakan dari mikroorganisme. Langkah penggunaan dari metode ini adalah dengan mencampur sampel dengan lugol sebanyak 3-4 tetes. Setelah itu sampel dihomogenkan dan dapat diamati di mikroskop. Untuk hasil dari pengamatan dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Hasil Pengamatan Sampel dengan Penambahan Larutan Lugol menggunakan perbesaran 100x fase kontras I

Pada pengamatan sampel terlihat bahwa mikroorganisme tidak terlihat jelas sperti pada metode ammoniacal silver carbonate. Tidak ada warna khusus yang

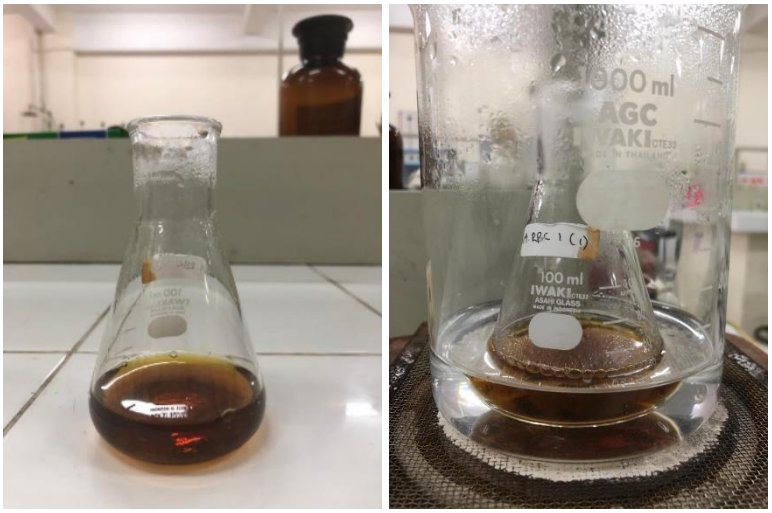
ditimbulkan dari penambahan larutan lugol pada sampel, sehingga pengamatan terganggu dengan flok. Pada metode ini pergerakan beberapa mikroorganisme masih terlihat, dan beberapa yang lain terlihat sudah dalam kondisi mati. Kondisi ini yang membuat peneliti kesulitan dalam identifikasi mikroorganisme. Beberapa mikroorganisme yang tidak bertahan ketika larutan ditambahkan dengan lugol dan menyebabkan mikroorganisme tersebut mati. Hal ini terlihat dari gambar 13 bahwa kondisi mikroorganisme sulit untuk diidentifikasi karena beberapa tidak ada pergerakan. Pembuatan lauran dalam metode ini cukup mudah karena sampel hanya ditetesi lugol saja.

4.4.3 *Ammonical Silver Carbonate*

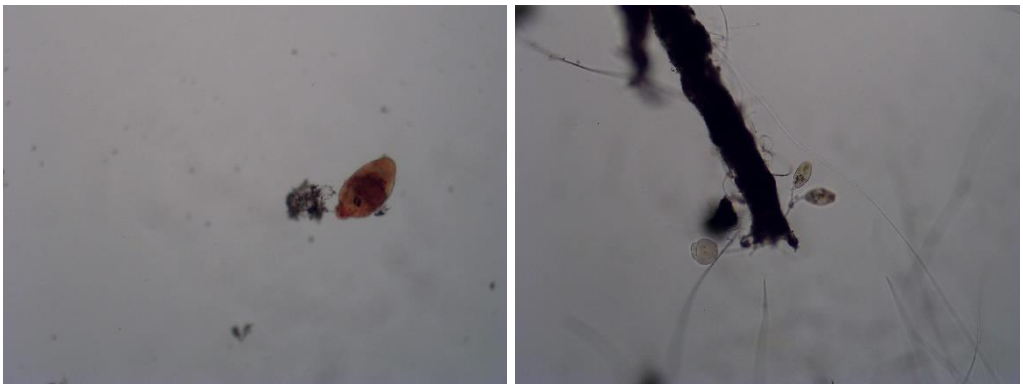
Metode pengamatan menggunakan penambahan cairan *silver carbonate* dibahas dalam paper karya Galiano (1993). Metode ini sudah mengalami beberapa modifikasi dari pertama kali di publikasi oleh Fernando-Galiano pada tahun 1976. *Ammoniacal silver carbonate* dapat digunakan untuk mengobservasi struktur dari ciliata, terutama *mainly kinetosomes, nukleus, dan kinetodesmal* (Galiano, 1993). Selanjutnya metode ini juga dibahas dalam beberapa jurnal dan buku. Dua contoh sumber bacaan yang digunakan penulis memuat metode ini yaitu dalam jurnal Cereceda *et* al (2000) dan buku oleh Serrano *et* al (2008). Metode ini menggunakan larutan *ammoniacal silver carbonate* untuk dicampurkan dengan sampel. Struktur dari protozoa akan diresapi perak yang merupakan larutan utama dari metode ini, sehingga struktur protozoa akan menghasilkan sebuah warna yang berbeda. Pewarnaan ini yang nantinya akan membantu penulis dalam mengamati dan membandingkan protozoa pada sumber bacaan untuk dianalisis taksonominya.

Langkah pengujian metode ini seperti yang dijelaskan dalam *paper* karya Galiano (1993) adalah sebagai berikut. pertama siapkan gelas beaker dengan ukuran 40 ml lalu tambahkan beberapa larutan diantaranya : 2 tetes formalin, 2 ml sampel, 2 ml tween 80/polysorbate (4%), 25-30 tetes *bacteriological pepton*, 10 tetes *pyridine*, 2 ml larutan *ammoniacal silver carbonate*, dan 30 ml aquades. Untuk pembuatan larutan ammoniacal silver carbonate adalah dengan mencampurkan 150 ml Na_2CO_3 (5%), 50 ml $AgNO_3$ (10%) dalam 1000 ml jar put. Lalu tambahkan NH_4OH tetes demi tetes hingga endapan terlarut. Selanjutnya tambahkan $NaCO_3$

sebanyak 800 ml. Dalam pembuatan larutan ammoniacal silver carbonate peneliti mengurangi takaran dalam larutan, dikarenakan kebutuhan larutan yang hanya memerlukan 2 ml saja. Maka untuk masing-masing campuran larutan peneliti membagi 100 ml takaran larutan tersebut. Sehingga masing-masing larutan tersebut dicampurkan dalam 10 ml gelas beaker, dengan rincian 1,5 ml Na_2CO_3 (5%), 0,5 ml $AgNO_3$ (10%), $NaCO_3$ 8 ml. Setelah itu larutan dalam gelas beaker pertama (gelas bealer 40 ml) dihomogenkan. Lalu masukkan larutan tersebut kedalam air dengan suhu 65^oC hingga larutan berubah warna menjadi coklat kehitaman. Pindahkan larutan tersebut kedalam gelas beaker 100 ml dan tambahkan 50 ml akuades. Setelah ditambahkan aquades maka larutan tersebut dapat diamati menggunakan mikroskop. Untuk hasil dari pengamatan dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 14. Pembuatan Larutan *Ammoniacal Silver Carbonate* pada proses pemanasan larutan



Gambar 15. Hasil Pengamatan Sampel dengan Penambahan Larutan Ammoniacal Silver Carbonate menggunakan perbesaran 100x fase kontras 0.

Terlihat gambar hasil pengamatan menggunakan metode ammoniacal silver carbonate, bahwa organisme yang akan diamati terlihat memiliki warna yang berbeda. Warna yang ditimbulkan dari metode ini terlihat seperti merah kekuningan. Mikroorganisme terlihat jelas karena terdapat perbedaan warna dari zat disekitarnya. Keadaan ini membuat metode ini menjadi metode yang cokok untuk melakukan enumerasi. Namun terdapat beberapa kesulitan yang dialami peneliti ketika akan membandingkan hasil pengamatan dengan sumber bacaan. Kesulitan itu disebabkan karena mikroorganisme tersebut sudah tidak bergerak, sehingga banyak mikroorganisme mati tidak dalam posisi yang mudah untuk diamati dan cenderung sulit untuk dianalisis. Terlihat pada gambar 15 bahwa posisi dari mikroorganisme tersebut sulit untuk diamati morfologinya, sehingga peneliti memiliki banyak persepsi terhadap jenis dari mikroorganisme tersebut. Untuk pembuatan larutan sendiri tergolong cukup memakan waktu sehingga jika metode ini digunakan maka dikhawatirkan pengamatan akan tidak maksimal, mengingat waktu pengamatan hanya 30 menit hingga 12 jam setelah pengambilan sampel.

4.4.4 Penentuan Metode Pengamatan

Perbandingan metode menggunakan tabel dengan lima parameter untuk menilai setiap metode. Parameter berdasarkan kebutuhan penulis untuk menganalisis protozoa, metazoa, dan alga pada sampel. Sebelum dilakukan skoring terlebih dahulu metode dibandingkan dalam matriks pada tabel 4.

Tabel 4. Matriks Perbandingan Metode Pengamatan dengan parameter yang telah ditentukan

Parameter	Metode Tanpa Penambahan larutan	Metode Lugol	Metode Ammoniacal Silver Carbonate
Kejelasan Gambar	keberadaan 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
Enumerasi Mikroorganisme	Organisme bisa dihitung manual namun memerlukan ketelitian yang tinggi	Organisme bisa dihitung manual namun memerlukan ketelitian yang tinggi	Organisme bisa dihitung manual
Identifikasi Mikroorganisme	morfologi dapat diidentifikasi karena pergerakan mikroorganisme masih ada, jadi 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
Pergerakan Mikroorganisme	Organisme masih hidup dan bergerak lincah	Organisme masih sebagian masih hidup namun pergerakan melemah dan sebagian mati	Organisme tidak ada pergerakan
Persiapan Sampel	Tidak memerlukan waktu persiapan yang lama	Memerlukan sedikit waktu persiapan untuk mencapur lugol dengan sampel	Memerlukan waktu persiapan yang lama

Setelah diidentifikasi menggunakan matriks maka dilakukan skoring. Adapun kriteria skoring adalah setiap parameter dinilai menggunakan satuan angka dari 1 sampai 4. Untuk keterangan dari setiap nilai tersebut :

- 1 = Kurang
- 2 = Cukup

- 3 = Baik
- 4 = Sangat baik

Nilai tersebut dijumlahkan dan akan keluar total nilai yang digunakan sebagai penentuan metode pengamatan.

Tabel 5. Perbandingan Metode Pengamatan Protozoa, Metazoa, dan Alga dengan metode skoring

Perbandingan metode																
No	**Parameter**	**Pengamatan Langsung**					**Lugol**					***Ammoniacal Silver Carbonate***				
		1	**2**	**3**	**4**	**Nilai**	**1**	**2**	**3**	**4**	**Nilai**	**1**	**2**	**3**	**4**	**Nilai**
1.	Kejelasan gambar		v			2		v			2			v		3
2.	Enumerasi mikroorganisme		v			2		v			2				v	4
3.	Identifikasi mikroorganisme				v	4		v			2	v				1
4.	Pergerakan mikroorganisme		v			2			v		3					4
5.	Persiapan sampel				v	4		v			2	v				1
	Total nilai					**14**					**11**					**13**

Tabel 4 menunjukkan penilaian metode yang digunakan. Metode *ammoniacal silver carbonate* mendapatkan nilai 13 dan lugol memperoleh nilai 11. Sedangkan nilai tertinggi didapatkan metode pengamatan secara langsung. Metode pengamatan langsung dianggap sesuai untuk diterapkan pada penelitian ini karena struktur morfologi masih jelas sehingga analisis mudah dilakukan. Hal ini didasari dengan tujuan penelitian untuk menentukan keragaman, maka analisis morfologi mikroorganisme harus dilakukan. Namun jika ingin melakukan perhitungan jenis protozoa saja bisa memakai metode *ammoniacal silver carbonate.* Penggunaan metode *Ammoniacal Silver Carbonate* yang memberi pewarnaan pada mikroorganisme akan mempermudah perhitungan. Jadi, dari hasil penilaian metode, didapatkan pengamatan langsung tanpa penggunaan larutan sesuai dan tepat untuk digunakan dalam penelitian ini.

4.5 Pengujian Laboratorium

Sampel yang diambil di IPAL Bakti Warga dibawa menuju laboratorium untuk dilakukan pengujian. Pengujian meliputi pengamatan sampel air limbah dan biofilm menggunakan mikroskop fase kontras. Selain itu dilakukan juga pengujian BOD untuk setiap unit IPAL. Pengujian BOD bertujuan untuk membandingkan adanya korelasi antara kandungan bahan organik dalam air limbah dengan keadaan mikroorganisme yang diamati. Pengamatan dilakukan menggunakan metode tanpa penambahan larutan dalam sampel. Hal ini dilakukan berdasarkan hasil skoring yang dilakukan.

Percobaan metode tanpa penambahan larutan menunjukkan bahwa metode ini cocok digunakan dalam pengamatan dan hasil gambar morfologi mikroorganisme terlihat cukup jelas. Sehingga proses analisis dan identifikasi mirkoorganisme dapat dilakukan oleh peneliti. Pengamatan sampel digunakan dua jenis preparat, hal ini mengacu pada beberapa referensi yang digunakan peneliti yaitu Cereceda, *et* al (2000), Serrano, *et* al (2008), dan SNI 06-3963-1995 Tentang Pengujian Jenis dan Jumlah Plankton Dalam Air. Perbedaan ini ditunjukkan pada ukuran preparat yang digunakan. Untuk sampel air limbah digunakan preparat *sedgewick rafter* sesuai SNI dan biofilm menggunakan preparat cekung dengan *cover glass* berukuran 18x18 cm dan kapasitas sampel 25 µL. Untuk perhitungan kelimpahan menggunakan rumus yang dicantumkan dalam SNI, yang tentunya terdapat perbedaan dalam perhitungan dari dua preparat tersebut.

4.5.1 Pengamatan Sampel Air limbah

Analisis kelimpahan dan keragaman protozoa, metazoa, dan alga dalam air limbah menggunakan acuan dari jurnal Cereceda *et* al (2000), buku oleh Serrano *et* al (2008) dan SNI 06-3963-1995 Tentang Pengujian Jenis dan Jumlah Plankton dalam Air. Pengamatan dilakukan pada mikroskop fase kontras dengan menggunakan preparat *sedgewick rafter.* Preparat ini memiliki kapasitas volume sebanyak 1 ml, dengan panjang preparat 50 mm, lebar 20 mm dan kedalaman 1 mm. Penggunaan preparat ini dikarenakan sampel yang diamati merupakan cairan sehingga cocok untuk penggunaan preparat sedgewick rafter. Satuan dari pengamatan sampel air limbah merupakan individu/ml, jadi dalam satu ml sampel

akan ada individu yang dihitung. Pengamatan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali untuk setiap 100 ml sampel. Metode ini disesuaikan menurut Perez-Uz et al (1998) yang dibahas dalam buku oleh Serrano *et* al (2008). Dijelaskan bahwa pengamatan dilakukan pengulangan tiga kali dengan volume setiap sampel yang berada di preparat sebanyak 25 μL untuk studi pada RBC.

Proses pengamatan mikroorganisme pada air limbah dilakukan selama empat hari, dengan rincian pengamatan sampel untuk satu unit dalam satu hari. Hal ini dilakukan karena menyesuaikan dengan prosedur pengamatan yang dilakukan 30 menit sampai 12 jam setelah pengambilan sampel. Sampel dipersiapkan dan diamati pada mikroskop fase kontras. Lama dari pengamatan setiap sampel relatif, berkisar antara 30 menit hingga 12 jam. Dengan metode pengulangan tiga kali waktu yang dibutuhkan untuk mengamati mikroorganisme dalam sebuah unit membutuhkan waktu antara 1,5 jam hingga 3 jam dalam sehari. Perbedaan terjadi pada unit RBC, dimana pada unit ini pengamatan dilakukan pada bagian awal, tengah, dan akhir. Karena masih dalam lingkungan unit yang sama, maka pengambilan sampel juga harus dilakukan dalam satu waktu, perbedaan waktu pada saat pengambilan sampel akan memengaruhi jumlah dan kondisi dari mikroorganisme yang akan diamati. Selain itu kondisi BOD juga akan berbeda jika dalam satu unit pengambilan sampelnya berbeda. Hal ini akan berpengaruh terhadap korelasi dari kondisi BOD dan jumlah dari mikroorganisme pada RBC. Pengamatan yang dilakukan pada unit RBC harus dilakukan pemangkasan pada setiap pengamatannya. Kondisi ini tidak mengurangi ketelitian dalam proses analisis dan perhitungan mikroorganisme. Karena dengan estimasi waktu minimal yaitu 30 menit pengamatan 9 sampel dapat dilakukan dengan waktu 4,5 jam. Maka dari itu pengamatan unit RBC dapat diselesaikan dalam sehari. Pada mikroskop perbesaran yang dapat digunakan pada preparat *sedgewick rafter* adalah 40x dan 100x dengan menggunakan fase kontras 0 hingga 4. Preparat *sedgewick rafter* tidak bisa diamati menggunakan perbesaran 400x, hal ini dikarenakan ketebalan preparat yang menyebabkan sampel dapat tertekan dan dapat merusak preparat.

4.5.2 Pengamatan Sampel Biofilm

Pengamatan yang dilakukan pada biofilm RBC dilakukan secara berbeda dengan air limbah. Perbedaan ini didasari dari jenis sampel biofilm yang berupa padatan. Selain itu kondisi kelimpahan mikroorganisme pada biofilm berkali lipat dibandingkan dengan kondisi kelimpahan di air limbah. Metode yang digunakan untuk mengamati sampel biofilm menggunakan referensi yang sama dengan air limbah yaitu dari jurnal Cereceda *et* al (2000), buku oleh Serrano *et* al (2008) dan Ariana *et* al (2014), tetapi untuk kasus ini penerapan metode yang digunakan akan berbeda. Perbedaan itu terletak pada jenis preparat yang digunakan yaitu preparat cekung yang dapat menampung volume air sampel sebanyak 25 μL. Selain itu perhitungan kelimpahan yang digunakan berbeda dengan air limbah, namun untuk referensi perhitungan mengacu pada Ariana *et* al (2014)

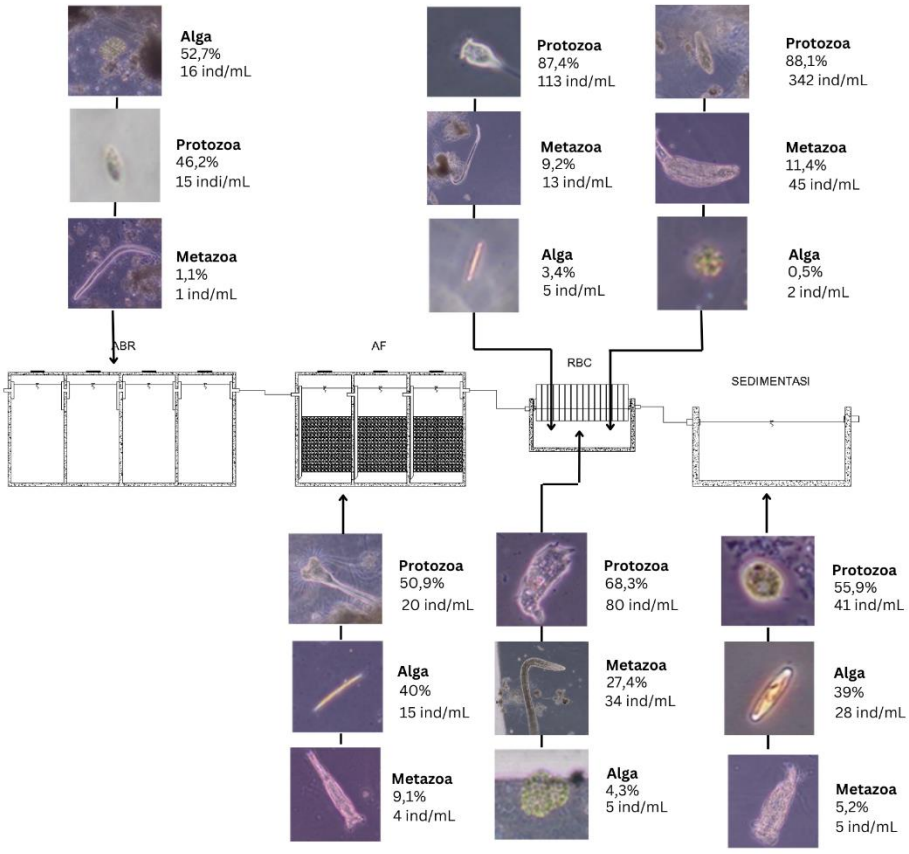
Dalam pengamatan sampel biofilm dilakukan sehari setelah waktu pengamatan sampel air limbah RBC. Sampel pengujian BOD diambil ada saat pengambilan untuk pengamatan air limbah, sehingga perbedaan pengamatan antara biofilm dan air limbah RBC yang hanya berjarak waktu satu hari agar kondisi dari BOD bak RBC tidak berbeda jauh. Hal ini dilakukan karena pengujian pada bak RBC hanya dilakukan satu hari saja, jadi uji korelasi mikroorganisme dan kondisi BOD pada biofilm dilakukan menggunakan hasil BOD air limbah RBC. Langkah untuk pengujian sampel biofilm dilakukan selama 30 menit hingga 12 jam setelah waktu pengambilan sampel (Serrano, et al., 2008). Lalu sampel yang belum diamati dimasukkan kedalam lemari pendingin yang bersuhu 7^{o}C (Babko, et al., 2014). Setelah itu siapkan preparat cekung dan *cover glass* dengan ukuran 18x18 cm. Langkah pengamatan sama dengan preparat *sedgewick rafter* yaitu secara zig-zag. Penggunaan preparat cekung ini memungkinkan untuk perbesaran mikroskop hingga 400x. Hal ini dikarenakan kondisi preparat yang lebih tipis dibandingkan dengan preparat *sedgewick rafter*, jadi perbesaran yang digunakan adalah 40x, 100x, dan 400x dengan fase kontras 0 hingga 4. Pengamatan setiap satu sampel biofilm dapat dilakukan selama 15 hingga 1 jam. Proses pengamatan yang lebih cepat dibandingkan dengan sampel air limbah dikarenakan ukuran permukaan preparat yang lebih kecil.

4.5.3 Hasil Pengamatan dan Analisis Kelimpahan dan Keragaman Komunitas Mikroorganisme Air Limbah IPAL Komunal Bakti Warga

Berikut merupakan hasil dari analisis yang dilakukan oleh peneliti setelah dilakukannya pengamatan menggunakan mikroskop. Indentifikasi dan analisis dilakukan terhadap gambar yang sudah didapatkan dari pengamatan. Gambar tersebut dicocokkan morfologinya dengan sumber acuan yang digunakan. Identifikasi dan analisis dilakukan menggunakan beberapa sumber acuan baik buku, jurnal, paper maupun web yang kredibilitas. Buku yang digunakan sebagai sumber acuan perbandingan morfologi mikroorganisme diantaranya oleh Serrano *et* al (2008), Kuppers *et* al (2020), Bellinger *et* al (2010), Edmoson (1959), Sulastri (2014), dan farhad (2020). Sedangkan untuk jurnal dan paper yang digunakan diantaranya oleh Lukashanets, *et* al. (2022), Phyu & Moe (2019), Kuzeff (2012), Sulaiman (2012), Ambarwati, *et* al. (2014), Condori, *et* al. (2021), Indrayani, *et* al. (2014), Charubhun & Charubhun (2000). Web yang digunakan untuk analisis dan identifikasi merupakan web yang memiliki kredibilitas dan digunakan pada beberapa penelitian. Berikut merupakan web yang digunakan *nordicmicroalgae.com, protist.i.hosei.ac.jp, plingfactory.de*, *inaturalist.nz*, dan *ncvetp.org*. Untuk identifikasi taksonomi penulis mengacu pada web *ncbi.nlm.nih.gpv*, web ini merupakan web yang menjadi bagian dari *United States National Institutes of Health.*

Hasil pengamatan menghasilkan bahwa hampir sebagian besar komunitas mikroorganisme didominasi oleh protozoa. Unit pengolahan bak ABR mempunyai kelimpahan terendah dan unit RBC memiliki kelimpahan tertinggi. Protozoa dan metazoa banyak menghuni unit dengan kondisi oksigen yang cukup. Sedangkan pada unit dengan kondisi anaerob mengakibatkan protozoa dan metazoa tidak berkembang dengan baik. Alga menghuni pada unit awal dan akhir IPAL, namun jenis alga yang menghuni pada dua unit tersebut merupakan alga yang berbeda. Bagian awal unit alga disusun oleh alga dari jenis *cyanobacteria* dan pada bagian akhir jenis alga lebih variatif seperti dari jenis viridiplantae dan chromista. Gambar 16 dibawah menunjukkan proporsi presentase dari protozoa, metazoa, dan alga

dalam tiap unit IPAL Bakti Warga, untuk kondisi detailnya akan dibahas dalam baberapa point berikutnya.



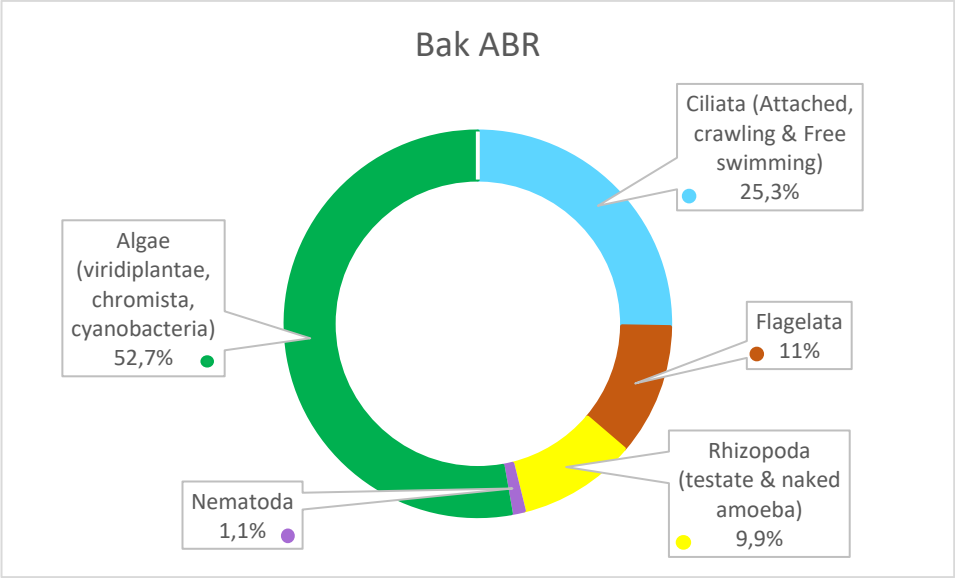
Gambar 16. Kondisi kelimpahan dan proporsi persentase pada setiap unit IPAL Bakti Warga dilihat dari komposisi protozoa, metazoa, dan alga

1. *Anaerobic Baffled Reaktor* (ABR)

Dalam unit ABR kondisi kelimpahan protozoa, metazoa dan alga mengalami kondisi yang minim. Beberapa protozoa ditemukan pada unit ini seperti flagellata, amoeba *testate*, dan ciliata *free swimming*. Keberadaan dari flagellata sudah dibuktikan dalam Babko *et* al (2014) bahwa pada unit awal flagellata akan mendominasi. Flagellata diketahui mampu hidup dalam keadaan beban organik tinggi karena flagellata sendiri selain dapat mengendalikan bakteri dan juga membutuhkan nutrisi terlarut. Keberadaan flagellata yang tinggi juga menjadi indikasi bahwa terdapat rasio makanan terhadap massa (F/M *ratio*) yang tinggi (Marx, et al., 2010). Selain flagellata terdapat protozoa lain yang lebih mendominasi yaitu amoeba *testate*. Amoeba

ini juga ditemukan dalam keadaan yang melimpah pada kondisi beban organik tinggi. Spesies amoeba *testate* yang ditemukan diantaranya *Planocaria carita* dan *Arcella sp*. Beberapa jenis ciliata juga ditemukan pada bak ini seperti ciliata *free swimming* seperti *Tetrahymena pyriformis dan Colpidium colpoda.* Kedua spesies ciliata tersebut merupakan spesies yang biasanya ditemukan dalam kondisi beban organik tinggi (Cereceda, et al., 2000).

Untuk kondisi suhu pada unit ABR didapatkan angka 24,3^{o}C, sedangkan pH sebesar 6,28. Kondisi ini masih dalam rentang optimal untuk protozoa, metazoa, dan alga hidup. Jadi faktor suhu dan pH tidak menjadi alasan untuk protozoa, metazoa, dan alga tidak bisa berkembang disini. Namun ketidakberadaan oksigen pada unit ABR mampu menganggu pertumbuhan mikroorganisme di unit ABR, sehingga menyebabkan kelimpahan mikroorganisme yang minim. Beberapa protozoa yang ditemukan di ABR seperti dari spesies flagellata, amoeba *testate,* dan ciliata *free swimming* dikatakan oleh beberapa peneliti sebagai mikroorganisme anaerob fakultatif karena mikroorganisme tersebut banyak ditemukan dalam kondisi anaerob dan aerob (Cereceda, et al., 2000), (Babko, et al., 2014). Kehadiran ciliata *free swimming* dalam unit awal pengolahan mengidikasikan kelimpahan bakteri dengan nutrisi yang masih banyak (Babko, et al., 2022). Keberadaan amoeba *testate* pada bak ABR juga mengindikasikan bahwa beban organik tinggi tinggi (Permadi, 2011). Selain itu keberadaan flagellata dan amoeba juga menjadi indikasi bahwa konsentrasi oksigen dalam bak tersebut rendah (Sowinska & Makowska, 2015).



Gambar 17. Persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada sampel air limbah unit *anaerobic baffled reactor*

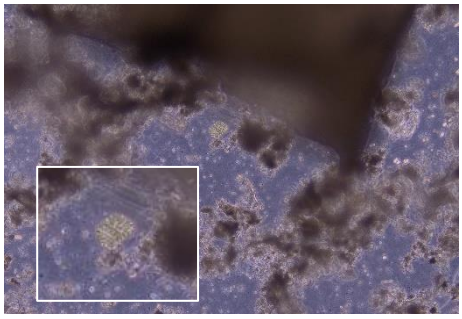
Dalam bak ABR banyak ditemukan alga dengan jenis *cyanobacteria*. *Coelosphaerium sp.* merupakan spesies alga yang ditemukan dalam bak ABR. Dengan kondisi bak ABR yang tanpa oksigen dan tanpa cahaya mengakibatkan alga jenis ini beradaptasi untuk hidup. *Cyanobacteria* dapat terus bermetabolisme pada saat kondisi gelap karena kadar *alarmones* meningkat pada kondisi ini. *Alarmones* merupakan senyawa yang dihasilkan nukleotida untuk menanggapi respon perubahan lingkungan pada mikroorganisme sehingga mikroorganisme tersebut dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak sesuai dengan habitatnya. Kehadiran senyawa ini mampu merubah metabolisme dan fisiologi mikroorganisme (Hood, et al., 2015). Senyawa *alarmones* dapat membuat *cyanobacteria* menurunan proses seluler sehingga akan menghemat energi yang digunakan. Pada kondisi gelap *Cyanobateria* dapat memanfaatkan bahan organik untuk dipecah menjadi energi dengan proses fermentasi. Energi dari fermentasi ini nantinya akan digunakan untuk bermetabolisme (Stal & Moezelaar, 1997). Dalam air limbah sendiri *cyanobacteria* berguna dalam penyisihan kandungan organik. Dari kondisi ini dapat diasumsikan bahwa keberadaan *cyanobacteria* merupakan indikasi kandungan BOD yang tinggi karena salah satu

mikroorganisme jenis ini mampu bertahan dalam kondisi anaerob dan tanpa cahaya.

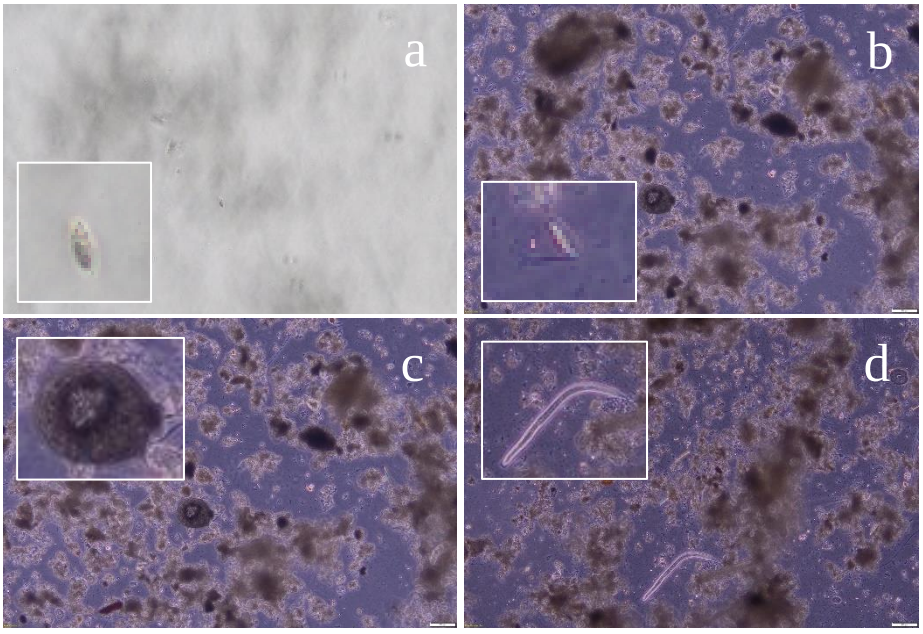
Tabel 6. Kelimpahan relatif dan proporsi persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga dalam unit ABR

Bak ABR			
Jenis	**Kelimpahan Relatif (ind/ml)**	**Persen**	
Ciliata *Attached*	0	0%	25,3%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	8	25,3%	
Flagellata	4	11%	
Testate amoeba	2	6,6%	9,9%
Naked amoeba	1	3,3%	
Rotifera	0	0%	
Nematoda	1	1,1%	
Annelida	0	0%	
Algae (viridiplantae, chromista & *cyanobacteria*)	16	52,7%	
Arthropoda	0	0%	
total	**32**	**100%**	

Kelimpahan individu yang ditemukan dalam bak ABR cenderung dalam keadaan minim jika dibandingkan dengan kondisi pada unit lain. Total individu protozoa dan metazoa pada unit ini berjumlah 16 individu/mL dengan ciliata *free swimming* mendiminasi pada bak ABR. Lalu mikroorganisme khas yang sering ditemukan pada unit awal seperti flagellata ditemukan dengan kelimpahan 4 individu/mL. Kelimpahan flagellata yang minim dapat diasumsikan bahwa kondisi pada ABR IPAL Bakti Warga tidak dalam kondisi yang optimal karena rasio F/M disumsikan dalam kondisi yang rendah, sehingga bakteri dalam keadaan yang melimpah. Keadaan *cyanobacteria* merepresentasikan kondisi tersebut karena menempati proporsi yang melimpah dengan jumlah individu 16 individu/mL pada bak ABR.



Gambar 18. Alga pada bak ABR. *Coelosphaerium sp*.. diamati dengan perbesaran 100x pada fase kontras I.

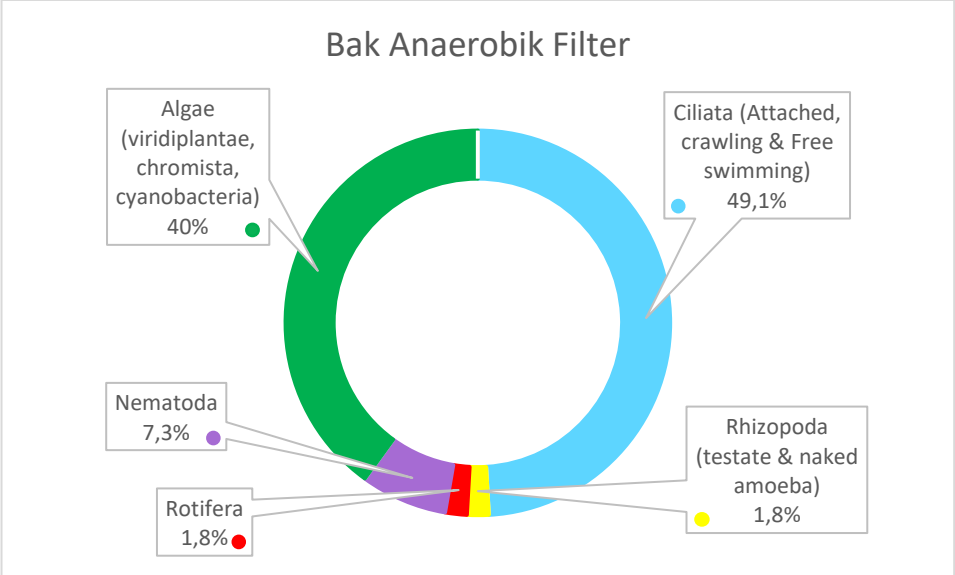


Gambar 19. Protozoa dan metazoa pada bak ABR. *Tetrahymena pyriformis* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras II (a), *Peranema sp.* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (b). *Planocarina carinata* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (c). *Aduncospilucum halicti* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (d).

2. *Anaerobic Filter* (AF)

Bak AF memliki kondisi yang hampir sama dengan ABR maka keadaan mikroorganismenya disumsikan hampir sama dengan keadaan ABR. Untuk kondisi suhu bak AF berada di kisaran 25,3^{o}C dan pH berada dalam angka 7,25. Dari kondisi suhu dan pH masih dalam rentan optimal untuk protozoa, metazoa, dan alga hidup. Perbedaan kondisi pada bak AF hanya terdapat pada media filter yang digunakan yaitu berupa batuan. Dari media filter dapat

memungkinkan untuk mikroorganisme tumbuh, karena ciliata *attached* mempunyai habitat untuk tumbuh pada media melekat seperti ini. Jenis seperti *Vorticella sp.* dianggap mampu berkembang pada kondisi seperti ini dikarenakan kemampuan ciliata ini untuk menetap pada lingkungan dengan tankainya (Cereceda, et al., 2000).



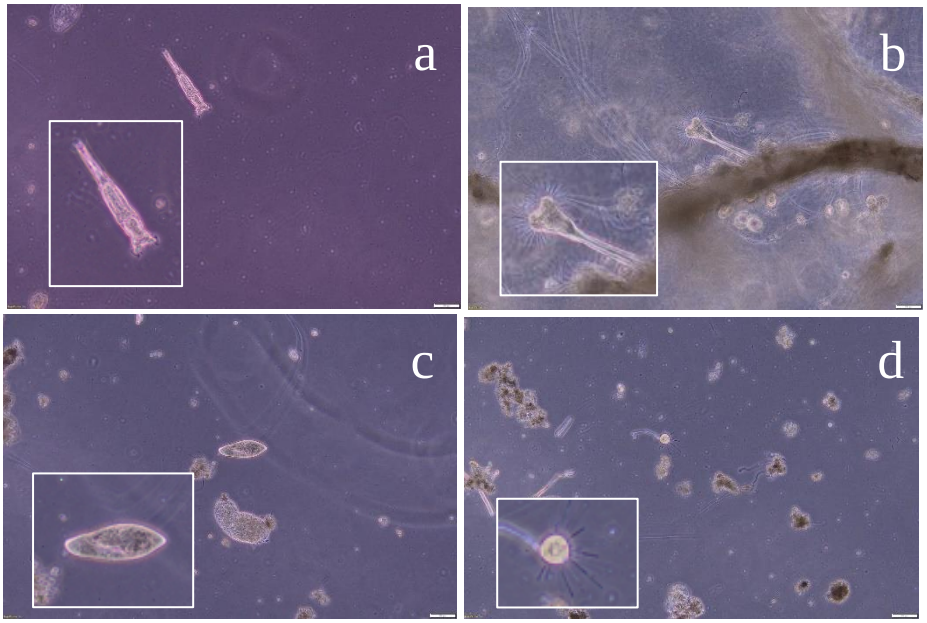
Gambar 20. Persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada sampel air limbah unit *anaerobic filter*

Keberadaan media filter cukup menjadi pembeda bagi kondisi mikroorgnamisme yang hidup pada bak AF. Terlihat dalam gambar bahwa kondisi ciliata mengalami kenaikan dalam proporsi persentase. Pada pengamatan sampel sendiri penemuan ciliata *attached* seperti *Vorticella sp.* dan *Tokophrya lemnarum* ditemukan beberapa kali. Hal tersebut membuktikan bahwa keberadaan media juga dapat mempengaruhi protozoa untuk hidup. Selain itu ptotozoa seperti amoeba naked dan rotifera juga ditemukan dalam sample ini dengan kondisi yang sangat sedikit. Lalu pada bak AF juga ditemukan beberapa spesies dari nematoda. *Coelosphaerium sp.* kembali ditemukan dalam bak ini dalam proporsi yang cukup mendominasi.

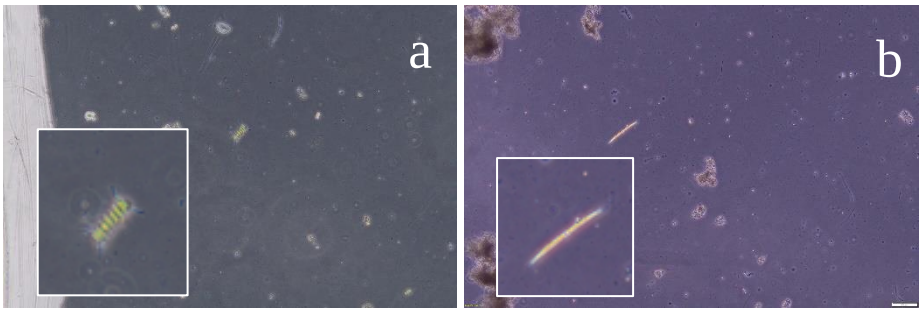
Tabel 7. Kelimpahan relatif dan proporsi persentase Protozoa, Metazoa, dan Alga dalam unit *Anaerobic filter*

Bak Anaerobic Filter			
Jenis	**Kelimpahan Relatif (ind/ml)**	**Persen**	
Ciliata *Attached*	11	28,2%	49,1%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	8	20,9%	
Flagellata	0	0%	
Testate amoeba	0	0%	1,8%
Naked amoeba	1	1,8%	
Rotifera	1	1,8%	
Nematoda	3	7,3%	
Annelida	0	0%	
Algae (viridiplantae, chromista & *cyanobacteria*)	15	40,0%	
Arthropoda	0	0%	
total	**39**	**100%**	

Dalam tabel tersebut variasi kelimpahan yang ditemukan cukup menarik. Penemuan ciliaata baik *free swimming* dan *attached* mendominasi bak AF, serta terdapat penemuan rotifera dan nematoda. Uniknya semua mikroorganisme tersebut menjadi salah satu bukti bahwa dalam pengolahan tersebut terdapat oksigen, padahal bak AF ini merupakan bak anaerob (Sowinska & Makowska, 2015). Protozoa yang mengindikasikan tidak adanya oksigen seperti flagellata tidak ditemukan dalam bak ini. Maka dari itu dapat diasumsikan dalam bak ini terdapat kebocoran yang kemungkinan ada pada tutup manhole sehingga oksigen dapat masuk.



Gambar 21. Metazoa dan Protozoa pada bak AF. *Philodinidae gregaria* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (a). *Tokophrya lemnarum* dilihat dengan perbesaran 100x dan fase kontras I (b). *Paramecium aurelia* dilihat dengan berbesaran 100x dan fase kontras I (c). *Podophyra fixa* dilihat dengan berbesaran 100x dan fase kontras I (d)



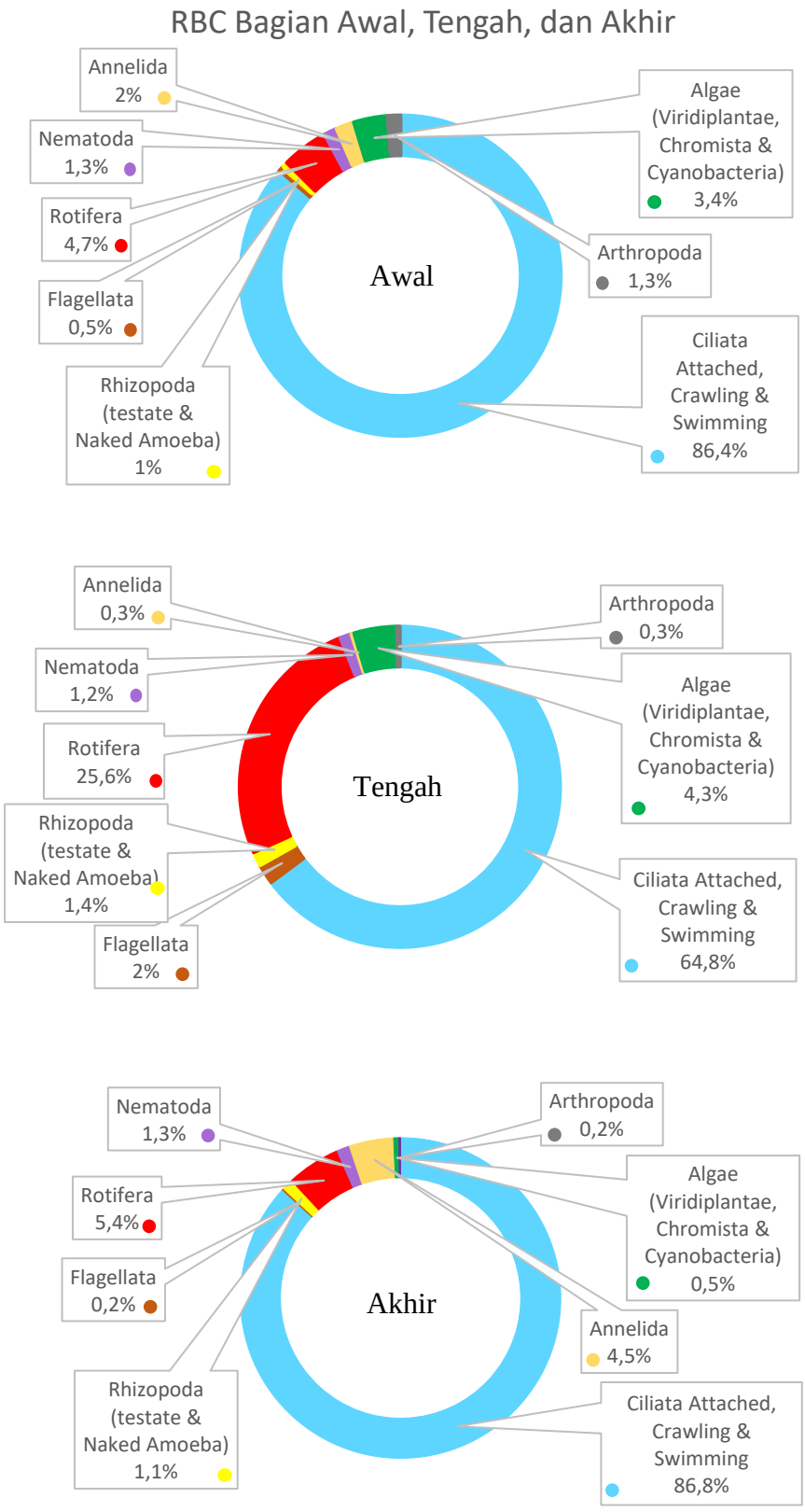
Gambar 22. Alga pada bak AF. *Scenedesmus quadricauda* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (a). *Synedra sp.* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (b).

3. *Rotating Biological Contactor* (RBC)

Kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada bak RBC mengalami peningkatan yang drastis. Hal ini disebabkan pada RBC memang sengaja memanfaatkan cakram untuk media mikroorganisme tumbuh, jadi kemungkinan kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga terbanyak sepanjang unit IPAL berada pada RBC. Kondisi suhu dan pH pada unit RBC berkisar 25,3^{o}C untuk suhu dan 7,26 untuk pH. Ukuran suhu dan pH ini

memungkinkan protozoa, metazoa, dan alga untuk hidup karena masih dalam kondisi yang optimal. Pengamatan dilakukan dengan membagi RBC menjadi tiga bagian yaitu awal, tengah, dan akhir.

Pada bagian awal RBC sudah terlihat betapa melimpahnya protozoa khususnya ciliata. Mayoritas ciliata merupakan jenis ciliata *attached* seperti *Vorticella sp.* dan *Epistylis sp.,* selain itu ciliata *free swimming* juga ditemukan dalam unit ini dengan kelimpahan yang banyak. Jumlah persentase ciliata pada RBC bagian awal ada di angka 86,4% dan untuk kelimpahan terbanyak dibawahnya merupakan metazoa dengan jenis rotifera. Diketahui bahwa ciliata dan rotifera merupakan dua jenis mikroorganisme khas penghuni dari air limbah khususnya RBC (Cereceda, et al., 2000). Ciliata mendominasi di seluruh bagian RBC bersama dengan rotifera. Kelimpahan ciliata ini disebabkan karena ciliata hidup dengan baik dengan menempel pada cakram RBC. Kehidupan ciliata pada sampel air limbah sebagian besar terdapat pada flok yang luruh dari cakram RBC. Selain itu ciliata dan rotifera dapat berkembang baik pada unit ini karena kemampuan dari kedua mikroorganisme ini untuk memfiltrasi diameter benda yang mereka makan (Pauli, et al., 2001). Sehingga bakteri yang tidak menghasilkan flok dapat mereka konsumsi dengan baik. Dari kondisi ini bakteri yang mampu menghasilkan flok akan menempel pada media cakram RBC.



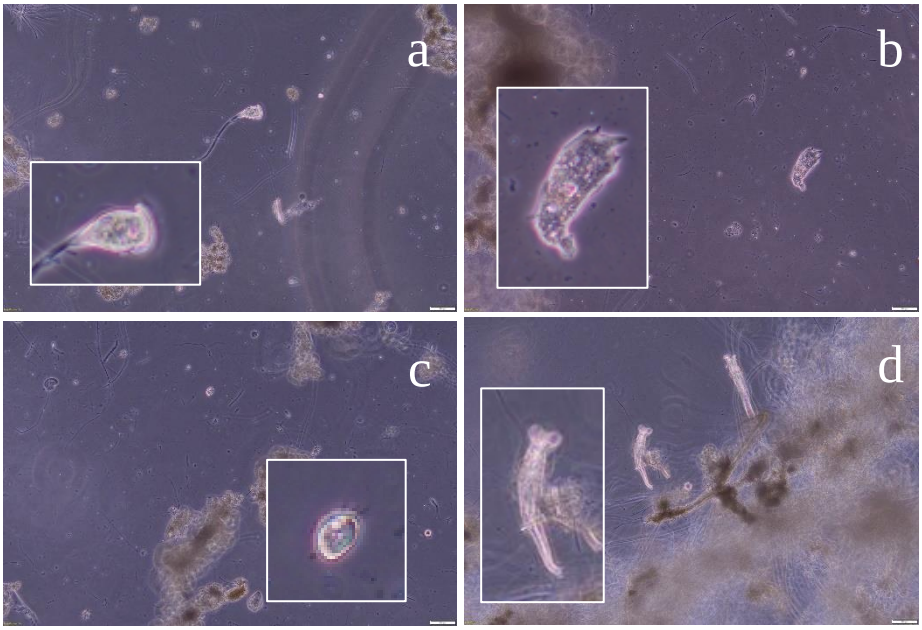
Gambar 23. Persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada sampel air limbah unit *rotating biological contactor* bagian awal, tengah dan akhir

Dari gambar diatas sangat jelas ciliata mendominasi dengan rentang proporsi persentase antara 60% hingga 90%. Kondisi terendah terdapat pada bagian tengah karena proporsi berada di angka 64%. Hal ini diikuti dengan naiknya kelimpahan rotifera di angka 25,6%. Turunnya ciliata disebabkan oleh banyak faktor salah satunya keberadaan rotifera. Kedua mikroorganisme ini memanfaatkan bakteri untuk mereka konsumsi, maka mereka akan berebut mendapatkan makanan. Ciliata dapat menjadi indikasi kualitas air limbah apakah mengandung zat-zat yang beracun karena mikroorganisme ini selain predator bakteri tetapi juga memliki peran untuk memakan materi organik dalam air limbah (Opat, et al., 2016) (Pauli, et al., 2001). Pertumbuhan ciliata akan terganggu jika terdapat bahan-bahan yang sifatnya toksik seperti limbah yang mengandung logam. Kelimpahan ciliata dapat mengindikasikan ada atau tidaknya limbah yang bukan berasal dari rumah tangga (Pauli, et al., 2001). Dilihat dari kelimpahan dan proporsi persentase ciliata dalam unit ini dapat diindikasikan kualitas limbah yang diolah masih dalam keadaan yang sesuai.

Tabel 8. Kelimpahan relatif dan proporsi persentase protozoa, metazoa, dan alga dalam unit RBC bagian Awal, Tengah, dan Akhir

RBC Bagian Awal, Tengah, dan Akhir						
Jenis	RBC Bagian Awal		RBC Bagian Tengah		RBC Bagian Akhir	
	Kelimpahan (ind/ml)	Persen	Kelimpahan (ind/ml)	Persen	Kelimpahan (ind/ml)	Persen
Ciliata *Attached*	94	73,3%	32	28%	233	60%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	17	13,1%	43	37%	103	27%
Flagellata	1	0,5%	3	2%	1	0%
Testate amoeba	0	0%	1	1%	1	0%
Naked amoeba	1	0,5%	1	1%	4	1%
Rotifera	6	4,7%	30	26%	21	5%
Nematoda	2	1,3%	2	1%	5	1%
Annelida	3	1,8%	1	0%	18	4%
Algae (viridiplantae, chromista & *cyanobacteria*)	5	3,4%	5	4%	2	1%
Arthropoda	2	1,3%	1	0%	1	0%
total	131	100%	119	100%	389	100%

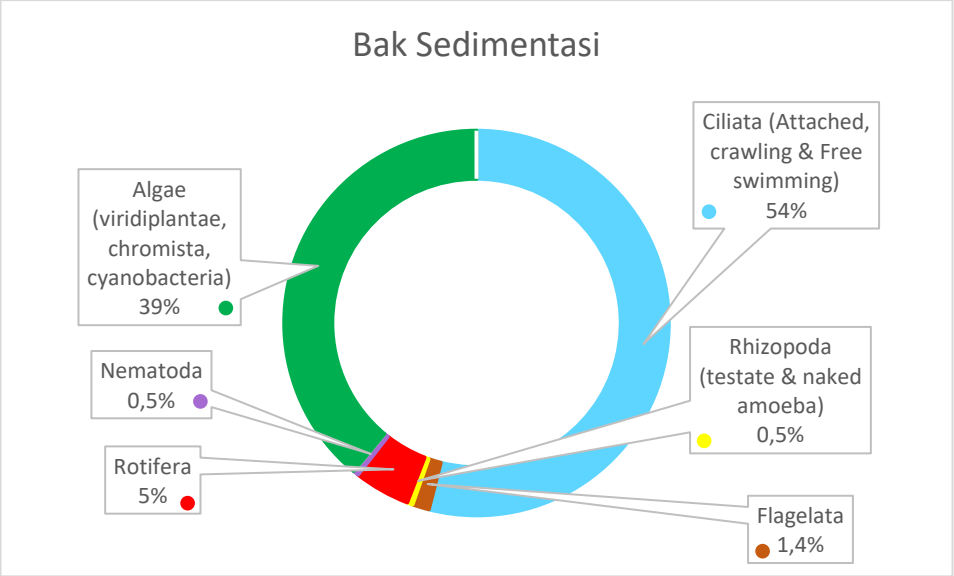
Selain Ciliata protozoa lain seperti flagellata dan amoeba ditemukan dalam kondisi yang minim. kondisi nematoda juga hanya ditemukan dalam beberapa tampat. Annelida menjadi jenis organisme yang menarik, dikarenakan kelimpahan pada bagian awal dan tengah dalam persentase dan individu yang sedikit, namun pada bagian akhir kelimpahan meningkat hingga berjumlah 18 individu/mL. Meningkatnya jumlah annelida pada bagian akhir diperkirakan berbanding lurus dengan kondisi mayoritas mikroorganisme RBC bagian akhir yang meningkat juga. Meningkatnya kelimpahan mirkoorganisme pada bagian akhir RBC ini diasumsikan karena mengelupasnya flok kedalam air limbah karena nutrisi dalam air yang semakin berkurang (Potera, 1996).



Gambar 24. Protozoa dan metazoa pada RBC. Vorticella sp. dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (a). *Mayorella sp.* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (b). *Aspidisca sp.* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (c). *Philodinidae gregaria* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (d).

4. Bak Sedimentasi

Pengolahan terakir pada IPAL Bakti Warga merupakan bak sedimentasi. Pada pengolahan sedimentasi merupakan pengolahan satu-satunya yang terkena langsung dengan sinar matahari. Suhu dan pH pada bak ini berkisar 25,5^{o}C untuk suhu dan 7,56 untuk pH. Kondisi suhu dan pH masih dalam rentang optimal untuk protozoa, metazoa, dan alga hidup.



Gambar 25. Persentase kelimpahan protozoa metazoa, dan alga sampel air limbah pada bak sedimentasi

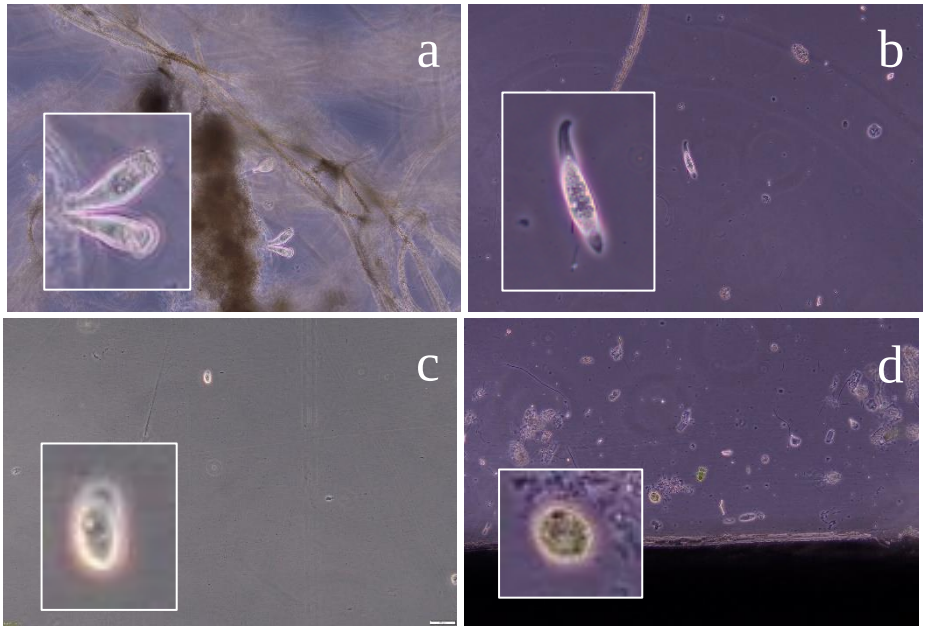
Pada unit sedimentasi ciliata masih mendominasi pada bak sedimentasi dengan persentase 54%. Sedagkan alga menjadi mikroorganisme kedua yang mendominasi bak ini dengan 39%. Cahaya matahari yang mengenai permukaan air menjadi salah satu faktor alga dapat berkembang cukup baik pada bak ini. Rotifera dengan persentase 5% berada ditempat ketiga dengan kelimpahan yang mendominasi bak sedimentasi. Sisanya seperti flagellata, nematoda, dan amoeba berada pada posisi bawah dengan kelimpahan kurang dari 2%.

Tabel 9. Kelimpahan relatif dan proporsi persentase protozoa, metazoa, dan alga dalam unit bak sedimentasi

Bak Sedimentasi			
Jenis	**Kelimpahan Relatif (ind/ml)**	**Persen**	
Ciliata *Attached*	19	26,3%	54,0%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	20	27,7%	
Flagellata	1	1,4%	
Testate amoeba	1	0,5%	0,5%
Naked amoeba	0	0%	
Rotifera	4	4,7%	
Nematoda	1	0,5%	
Annelida	0	0%	

Algae (viridiplantae, chromista & *cyanobacteria*)	28	39,0%
Arthropoda	0	0%
total	**74**	**100%**

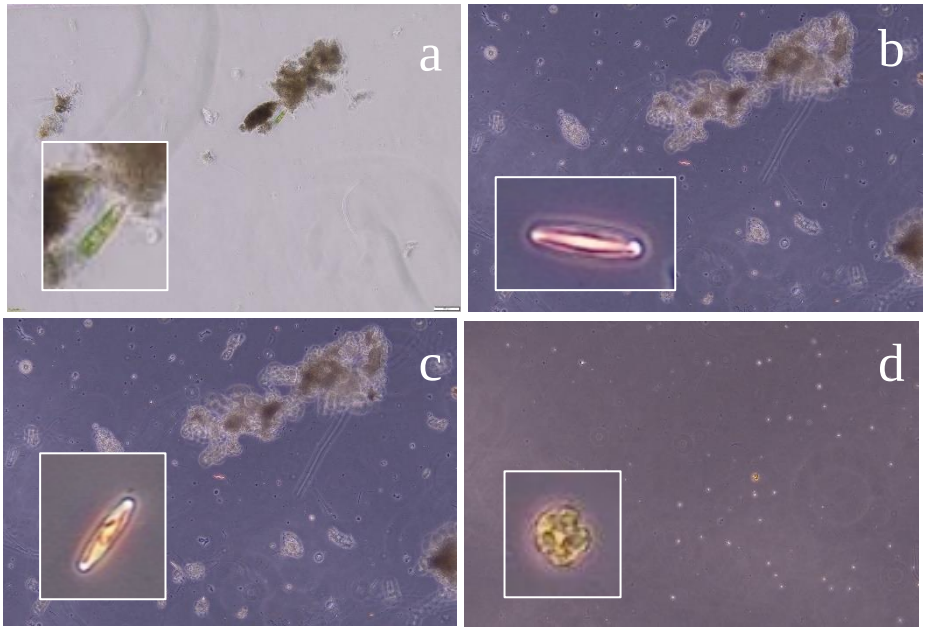
Cilata jenis *Vorticella sp.*, *Epistylis sp.*, *Paramecium sp.* dan *Litonotus sp.* masih menjadi penghuni pada bak sedimentasi. Protozoa lain seperti amoeba juga masih ditemukan spesies yang sama yaitu *Mayorella sp.* Spesies berbeda ditunjukkan pada keberadaan flagellata berupa *Phacus obicularis*, yang bersadal dari *phylum* euglenozoa. Penurunan ciliata dan sebagian besar mikroorganisme mengindikasikan bahwa bahan organik yang terkandung dalam air limbah berkurang. Namun kenaikan alga dianggap wajar karena pada bak ini paparan cahaya langsung mengenai bak, sehingga kondisi ini dapat memicu alga untuk berkembang.



Gambar 26. Protozoa pada bak sedimentasi. *Epistylis sp.* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (a). *Litonus sp* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (b). *Childonella sp.* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (c). *Phacus obicularis* dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (d).

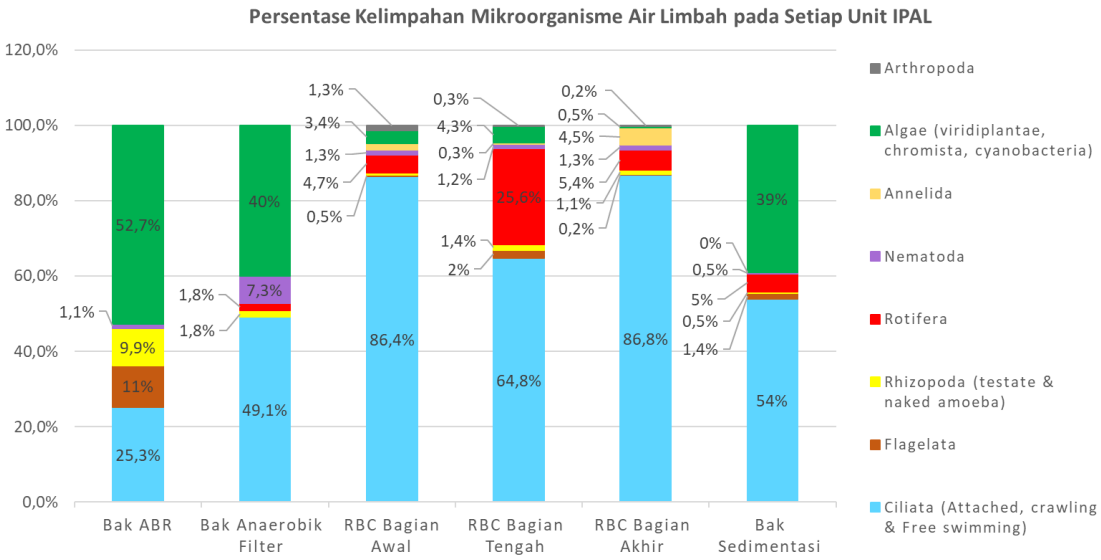
Keragaman yang ditunjukkan pada jenis alga yang menghuni bak sedimentasi oleh *Characium sp.* yang ditemukan dibebepada titik

pengamatan. Alga lain yang ditemukan antara lain *Ulotrix sp.*, *Navicula sp.*, *Caloneis sp., Coelosphaerium sp..*, dan *Pandorina sp.* Kelimpahan metazoa menunjukkan pada jenis yang cukup sedikit dengan spesies yang didapatkan seperti *Philodinidae gregaria* dan *Helicotylenchus sp.*



Gambar 27. Alga pada bak sedimentasi. Characium sp. dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras II (a). Navicula sp. dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (b). *Caloneis sp*. dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (c). *Pandorina sp*. dilihat dengan perbesaran 100x pada fase kontras I (d).

Dari hasil pengamatan diatas menunjukkan data yang ditampilkan pada gambar 33. Ditunjukkan sebuah variasi kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga pada masing-masing unit. Kelimpahan mengalami keadaan maksimal pada unit RBC dan keadaan minimum pada unit ABR. Kondisi ABR yang tanpa oksigen hanya membuat sedikit mikroorganisme yang dapat beradaptasi. Pada bak ABR banyak ditemukan flagellata dengan persentase 11%, kondisi ini sesuai dengan yang dikatakan Babko, *et al* (2014) bahwa flagellata mayoritas ditemukan pada kondisi pengolahan awal dengan beban organik tinggi. Pada bak AF didapat temuan bahwa terjadi sebuah kondisi tidak normal. Banyaknya ciliata dan rotifera yang banyak menghuni unit dengan kondisi aerob, cukup untuk mengindikasikan ketidaknormalan bak AF pada IPAL Bakti Warga.



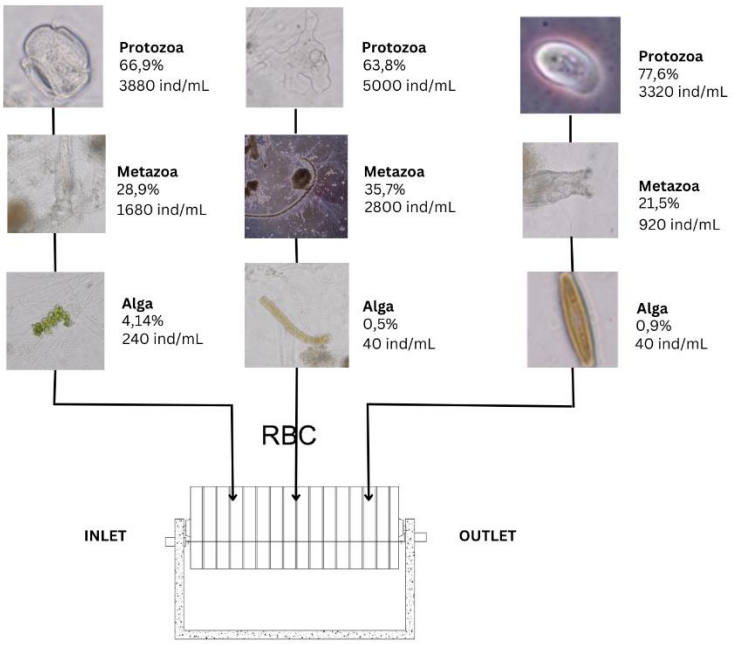
Gambar 28. Proporsi persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga diklasifikasikan dalam beberapa filum dan jenis untuk kelompok yang lebih kecil pada air limbah di setiap unit IPAL Bakti Warga

Pada bak AF didapat temuan bahwa terjadi sebuah kondisi tidak normal. Banyaknya ciliata dan rotifera yang banyak menghuni unit dengan kondisi aerob, cukup untuk mengindikasikan ketidaknormalan bak AF pada IPAL Bakti Warga. Berbeda dengan unit RBC, dimana mikroorganisme khas yang sering mengindikasikan baiknya pengolahan disana seperti ciliata dan rotifera ditemukan dalam kondisi melimpah. Hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa unit RBC bekerja dengan baik dan jenis limbah yang diolah pada IPAL Bakti Warga dalam keadaan yang sesuai.

4.5.4 Analisis kelimpahan dan Keragaman Komunitas Mikroorganisme Biofilm

Biofilm merupakan suatu lapisan atau komunitas mikroorganisme yang hidup dan menempel pada suatu media permukaan. Biofilm terbentuk oleh bakteri dari zat EPS (*Extracellular Polymers* Secreted) yang diekresikan (Martino, 2018). Sampel biofilm diamati menggunakan preparat yang lebih kecil jika dibandingkan dengan air limbah. Kapasitas sampel yang diamati adalah 25 µl sedangkan pada preparat *sedgewic rafter* mempunyai kapasitas 1 ml. Analisis kelimpahan pada biofilm menggunakan rumus (2), rumus ini berdasarkan dari APHA (1989) yang dibahas dalam Ariana *et* al (2014). Pengamatan biofilm dibagi menjadi tiga seperti pada air limbah RBC, yaitu bagian awal, tengah, dan akhir. Kondisi suhu dan pH

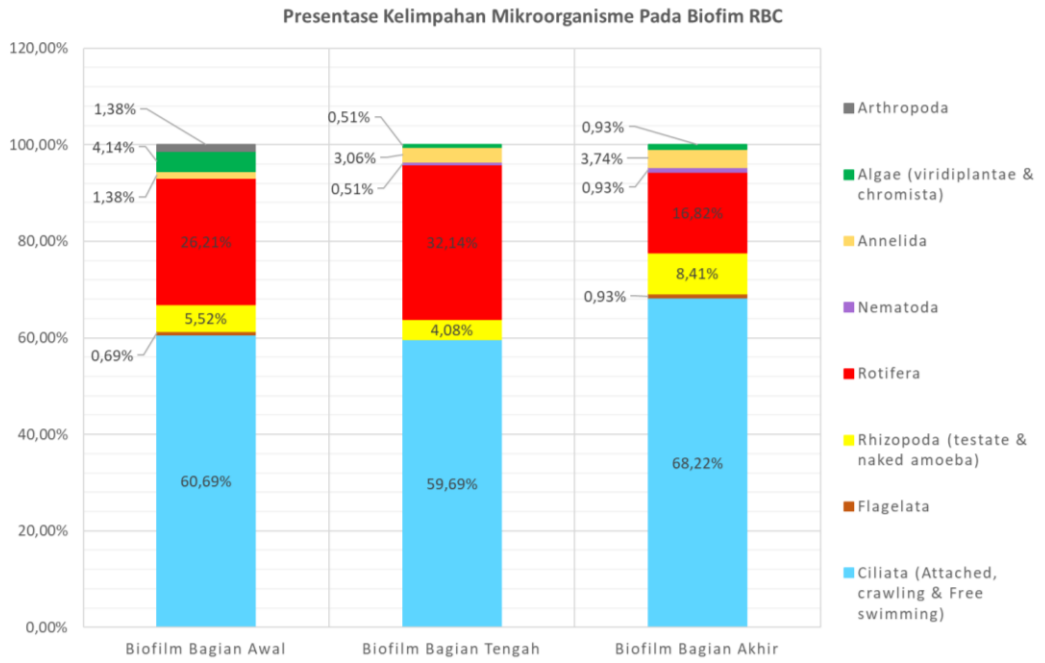
biofilm disamakan dengan kondisi pada bak RBC, yaitu berkisar 25,3^{o}C untuk suhu dan 7,26 untuk pH.



Gambar 29. Kondisi kelimpahan dan proporsi keragaman protozoa, metazoa, dan alga pada biofilm RBC IPAL Komunal Bakti Warga

Komposisi mikroorganisme pada biofilm RBC kurang lebih sama dengan sampel air limbah RBC. Perbedaan terdapat pada jumlah individu yang dihitung. Karena perbedaan preparat maka rumus perhitungan berbeda, dari perhitungan ini didapatkan jumlah individu yang terdapat pada biofilm RBC ada di angka 4000 hingga 8000 individu/mL. Angka ini jelas memiliki perbedaan yan cukup jauh dengan kondisi pada air limbah. Kondisi ini dikarenakan biofilm merupakan lapisan yang terdiri dari mikroorganisme dari bakteri hingga protozoa. Sepanjang pengamatan terlihat proporsi ciliata sangat mendominasi dengan persentase selalu diatas 50%. Dominasi ciliata sudah terlihat ketika pengamatan air limbah dan kondisi ini ternyata juga diikuti biofilm RBC. Sama seperti air limbah mayoritas ciliata merupakan ciliata *attached* yang menempel pada gumpalan-gumpalan flok. Selain ciliata mikroorganisme lain yang mendominasi adalah rotifera dengan proporsi persentasae berada pada kisaran 17% hingga 32%.

Selain itu pada biofilm ini ditemukan banyak alga dengan jenis diatom. Alga jenis ini banyak ditemukan dalam biofilm karena diatom mampu membentuk flok (Hidayanni, et al., 2013). Dari pembentukan flok ini diatom dapat bertahan dari predator seperti protozoa dan metazoa. Sementara itu metazoa lain seperti nematoda dan annelida ditemukan pada sampel biofilm dalam kondisi yang minim. bahkan persentase nematoda tidak lebih dari satu persen. Untuk annelida sendiri persentase proporsinya lebih baik daripada nematoda, kelimpahan tertinggi ditemukan pada bagian akhir biofilm. Minimnya keberadaan nematoda pada pengolahan air limbah telah dikatakan oleh Santos, *et al* (2014), penyebabnya karena banyak nematoda yang sulit untuk beradaptasi dengan kondisi air limbah (Santos, et al., 2014).



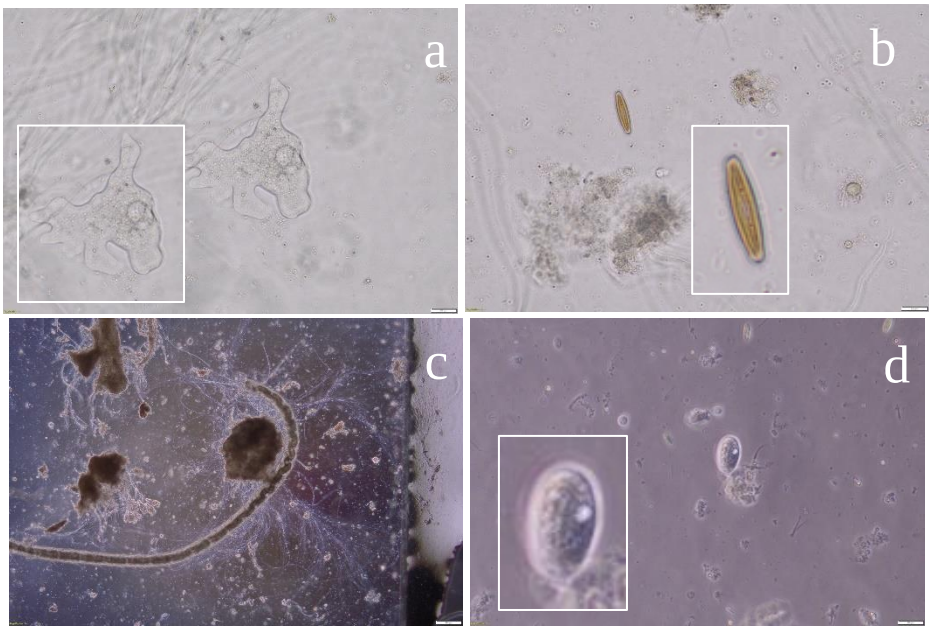
Gambar 30. Proporsi persentase kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga diklasifikasikan dalam beberapa filum dan jenis untuk kelompok yang lebih kecil pada biofilm RBC bagian awal, tengah, dan akhir

Amoeba ditemukan dalam kondisi yang cukup sering walaupun tidak semelimpah rotifera. Beberapa amoeba *naked* ditemukan seperti *Amoeba proteus* dan *Mayorella sp.* Dari sepanjang unit pengolahan pada Unit RBC ditemukan banyak amoeba *testate* maupun *naked*. Kondisi ini mengindikasikan pengolahan berjalan secara efektif mengingat amoeba sendiri dapat menjadi indikator efektifitas pengolahan IPAL (Muchesa, et al., 2014).

Tabel 10. Kelimpahan relatif dan proporsi persentase protozoa, metazoa, dan alga dalam biofilm unit RBC bagian awal, tengah, dan akhir

Jenis	RBC Bagian Awal, Tengah, dan Akhir					
	RBC Bagian Awal		RBC Bagian Tengah		RBC Bagian Akhir	
	Kelimpahan (ind/ml)	Persen	Kelimpahan (ind/ml)	Persen	Kelimpahan (ind/ml)	Persen
Ciliata *Attached*	2640	46%	4160	53%	2040	48%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	880	15%	520	7%	880	21%
Flagellata	40	1%	0	0%	40	1%
Testate amoeba	40	1%	80	1%	80	2%
Naked amoeba	280	5%	240	3%	280	7%
Rotifera	1520	26%	2520	32%	720	17%
Nematoda	0	0%	40	1%	40	1%
Annelida	80	1%	240	3%	160	4%
Algae (viridiplantae, chromista & *cyanobacteria*)	240	4%	40	1%	40	1%
Arthropoda	80	1%	0	0%	0	0%
total	5800	100%	7840	100%	4280	100%

Keberaadaan protozoa yang melimpah sebagian besar merupakan rotifera seperti *Philodinidae gregaria* Selain rotifera annelida seperti *Stylaria sp.* ditemukan dibeberapa titik pegamatan. Lalu untuk alga pada biofilm ini dominasi kelimpahan di diisi oleh diatom seperti dari spesies *Amphipleura sp.*, dan *Nitzschia sp.* Beberapa jenis alga lain seperti *Chlorella minutissima* dan *Ulothrix sp.* ditemukan dengan kelimpahan yang sedikit. Pada sampel biofilm ditemukan arthopoda dengan spesies *Cheyletiella sp.* Keberadaan arthropoda ini sangat sedikit sekali karena dalam proporsi persentase pada biofilm ini hanya berada di angka 1%, selain itu mikroorganisme ini hanya ditemukan pada bagian awal saja. Namun penemuan *Cheyletiella sp.* cukup untuk membuktikan indikasi pada pengolahan unit RBC memiliki jaring makanan yang beragam dan melimpah (Vasquez, et al., 2021).

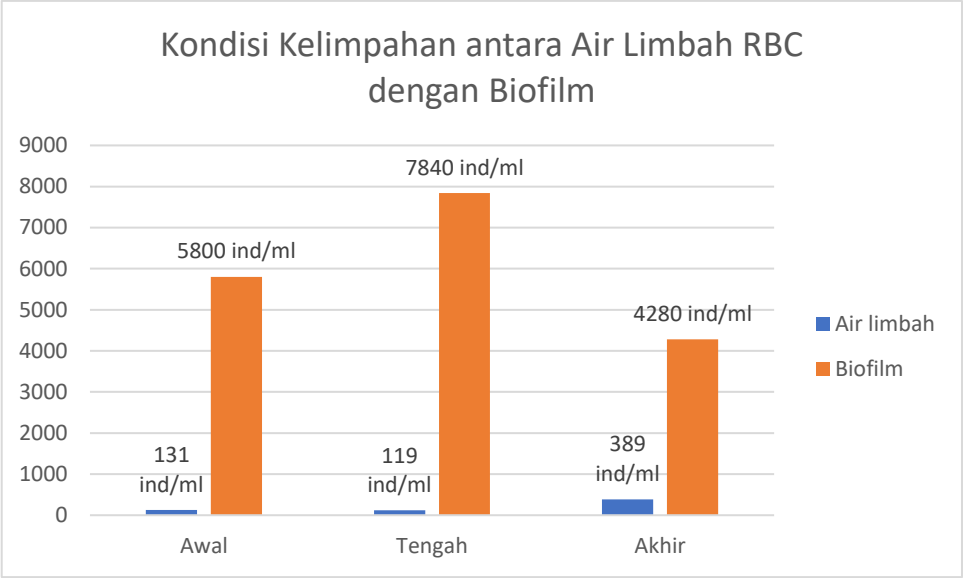


Gambar 31. Protozoa, metazoa, dan alga pada biofilm bagian awal, tengah, dan akhir. *Amoeba proteus* dilihat dengan perbesaran 400x pada fase kontras II (a). *Navicula sp.* dilihat dengan perbesaran 400x pada fase kontras II (b). *Stylaria sp*. dilihat dengan perbesaran 40x pada fase kontras II (c). *Clasthrostoma sp*. dilihat dengan perbesaran 400x pada fase kontras II (d).

4.6 Perbandingan Kondisi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Air limbah RBC dan Biofilm

Kondisi dari air limbah dan biofilm sendiri dari pengelihatan fisik dan hasil pengamatan terlihat berbeda. Perlakuan dalam pengamatan juga berbeda dikarenakan kondisi fisik air limbah yang sudah berupa cairan dan biofilm yang berupa padatan, jadi untuk diamati biofilm perlu untuk diencerkan. Dalam analisis sampel perbedaan ditunjukkan dari metode yang diacu, sehingga proses dari pengamatan dan perhitungan individu juga menggunakan acuan yang berbeda. Hasil dalam pengamatan untuk air limbah RBC berada dalam kisaran 100-400 individu/ml. Sedangkan pada biofilm berada pada angka 4000-8000 individ/ml. perbedaan ini memberikan bukti bahwa kelimpahan pada biofilm cenderung lebih banyak hingga 10 kali lipat.

Kelimpahan pada air limbah dan biofilm menunjukkan grafik yang tidak konsisten. Namun dari kelimpahan yang tidak konsisten ini terdapat sebuah hubungan yang ditujukkan. Hal ini dapat dilihat pada diagram dibawah ini.



Gambar 32. Perbandingan kelimpahan antara air limbah *rotating biological contactor* dan biofilm *rotating biological contactor*

Diagram diatas meunjukkan bahwa kondisi kelimpahan antara biofilm dan air limbah pada IPAL Bakti Warga tidak berbanding lurus. Terlihat pada kondisi awal kelimpahan pada biofilm 5800 ind/ml sedangkan pada air limbah 131/ml. Lalu pada bagian tengah RBC, kelimpahan pada biofilm mengalami kenaikan hingga 7840 ind/ml. Tetapi kondisi pada air limbah berbanding terbalik dengan biofilm yaitu mengalami penurunan menjadi 119 ind/ml. Kondisi pada bagian akhir juga menunjukkan hal yang sama. Pada biofilm mengalami penurunan hingga 4280 ind/ml, sedangkan air limbah mengalami kenaikan menjadi 389 ind/ml.

4.7 Uji Korelasi BOD dengan Kelimpahan Mikroorganisme

Tujuan dari sebuah IPAL adalah menyisihkan suatu polutan dengan memanfaatkan teknologi terkait. Terdapat beberapa parameter untuk mengukur apakah air limbah tersebut mempunyai kualitas baik atau buruk. Salah satu parameter tersebut adalah BOD. BOD merupakan parameter yang menjadi indikator bahwa air limbah tersebut mampu diolah menggunakan teknologi secara biologis. Jika dalam suatu limbah nilai COD/BOD mempunyai perbedaan yang sedikit maka pengolahan biologis efektif untuk digunakan. Kondisi BOD yang tinggi dapat menyebabkan meningkatnya populasi bakteri, hal ini menjadikan bakteri sebagai sumber makanan bagi protozoa (Serrano, et al., 2008). Selain itu

dalam penelitian Jurgen & Mats (2002) yang dibahas dalam jurnal Madoni (2011) disebutkan bahwa keberadaan protozoa yang melepaskan produk anorganik dan organik seperti nitrogen, fosor, dan karbon dapat menjadi perangsang bagi pertumbuhan bakteri. Selain pretador bagi bakteri protozoa dan metazoa dapat mengkonsumsi kandungan organik terlarut dalam air limbah untuk kelangsungan hidupnya dan melepaskan karbondioksida dari hasil konsumsinya (Opat, et al., 2016). Dari keadaan ini populasi bakteri akan meningkat seiring dengan keadaan protozoa yang meningkat, sehingga peningkatan kelimpahan menyebabkan bakteri dan protozoa akan bersaing untuk mendapatkan sumber daya makanan. Maka dari itu, peneliti ingin melihat apakah ada keterkaitan antara laju pertumbuhan protozoa, metazoa, dan alga terhadap konsentrasi BOD pada IPAL Bakti Warga.

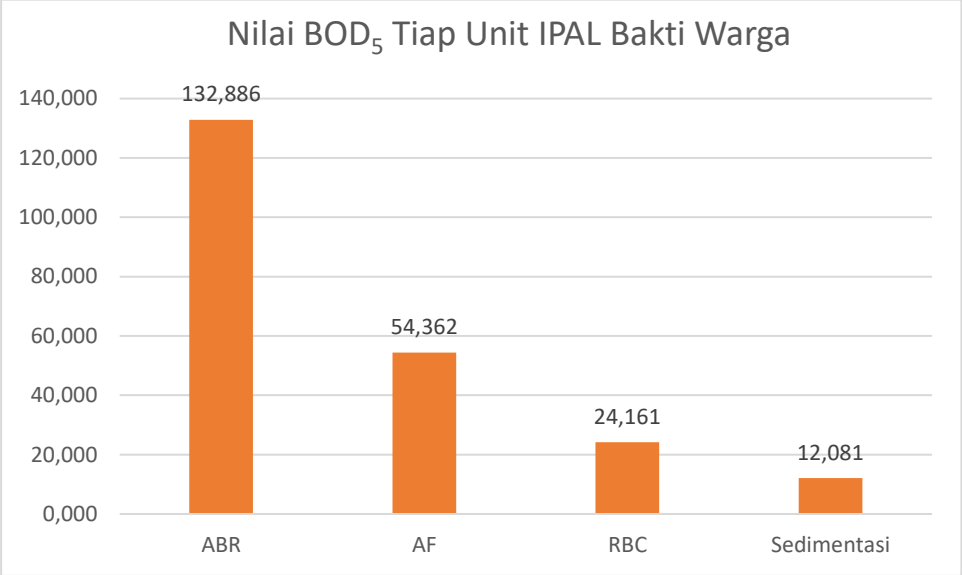
Cara untuk melihat adanya hubungan antara protozoa, metazoa, dan alga dengan konsentrasi BOD dilihat dengan analisis kolerasi. Analisis korelasi menggunakan korelasi spearman. Korelasi menggunakan uji non paremetrik dikarenakan uji asumsi data menghasilkan data tidak normal dan tidak linier. Terdapat kolerasi negatif yang artinya kondisi penurunan BOD tidak diikuti dengan penurunan mikroorganisme. Lalu ada korelasi positif dimana kondisi penurunan BOD yang diikuti oleh meningkatnya kelimpahan suatu mikroorganisme. Selain itu hubungan ditunjukkan dari besarnya angka korelasi. Besaran nilai koefisien mendekati angka 1 maka hubungan akan semakin kuat, namun jika angka yang ditunjukkan mendekati angka 0 maka hubungan semakin lemah. Untuk keterangan lebih lanjut mengenai hubungan Mikroorganisme dengan BOD ditunjukkan pada tabel 15.

Tabel 11. Hubungan nilai koefisien korelasi

Nilai Koefisien	Hubungan
<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

(Sumber : Sarwono, 2006)

BOD diukur pada setiap unit yang akan diamati kondisi mikroorganismenya. Pengambilan sampel BOD disesuaikan pada saat pengambilan sampel untuk pengamatan mikroorganisme. Tabel 13 menunjukkan bahwa kondisi BOD terus mengalami penurunan. Hasil ini juga sebagai pembuktian bahwa IPAL Bakti Warga masih berjalan dengan baik.



Gambar 33. Nilai BOD Tiap Unit IPAL Bakti Warga

Beberapa mikroorganisme menunjukkan adanya korelasi positif maupun negatif. Seperti pada ciliata menunjukkan korelasi negatif yang artinya kelimpahan ciliata berbanding terbalik dengan kondisi BOD. Ciliata ditemukan dalam semua unit, namun pada kondisi beban organik yang tinggi kelimpahan ciliata berada dalam kondisi yang minim. Berbeda ketika dalam kondisi dengan beban organik rendah ciliata dalam kondisi kelimpahan yang tinggi. Kondisi sebaliknya dialami oleh protozoa lain seperti flagellata dan amoeba. Mikroorganisme ini menunjukkan korelasi positif, berarti kelimpahan mikroorganisme ini tinggi dalam keadaan beban organik yang tinggi dan turun ketika beban organik rendah.

Tabel 12. Koefisien korelasi antara protozoa, metazoa, dan alga dengan konsentrasi BOD

Variabel	Koefisien korelasi	Keterangan
Ciliata (Attached, Crawling & Free Swimming)	-0,577	Korelasi negatif dengan hubungan cukup

Flagellata	0,226	Korelasi positif dengan hubungan rendah
Rhizopoda (Testate & Naked Amoeba	0,29	Korelasi positif dengan hubungan rendah
Rotifera	-0,577	korelasi negatif dengan hubungan cukup
Nematoda	0,063	korelasi negatif dengan hubungan tidak ada
Annelida	-0,29	korelasi negatif dengan hubungan rendah
Alga (Viridiplantae, Chromista, Cyanobacteria)	0,031	korelasi positif dengan hubungan tidak ada
Arthropoda	-0,295	korelasi negatif dengan hubungan rendah

Korelasi negatif ditunjukkan pada protozoa jenis ciliata. Selain ciliata semua metazoa seperti rotifera, annelida, dan arthropoda juga memiliki nilai korelasi negatif. Untuk mikroorganisme lain seperti flagellata, nematoda, amoeba, dan alga diperoleh koefisien positif yang artinya laju kelimpahan mikroorganisme ini menunjukkan kelimpahan yang berbanding lurus dengan konsentrasi BOD pada unit IPAL. Penghuni khas dari pengolahan air limbah seperti ciliata dan rotifera menunjukkan korelasi negatif. Dalam IPAL ini mayoritas kelimpahan dihuni oleh rotifera dan ciliata dengan persentase yang tinggi. Korelasi negatif yang ditunjukkan mempunyai arti bahwa sebagian besar mikroorganisme penghuni dari IPAL Bakti Warga laju kelimpahannya tidak berbanding lurus dengan konsentrasi BOD. Data ini juga menjadi bukti bahwa unit dengan konsentrasi organik tinggi seperti pada unit pengolahan pertama memiliki kelimpahan mikroorganisme yang sedikit. Beberapa mikroorganisme memiliki hubungan yang rendah ditunjukkan oleh amoeba, nematoda dan annelida. Lalu untuk mikroorganisme mayoritas yang menghuni IPAL Bakti Warga seperti ciliata dan rotifera memiliki hubungan cukup. Hubungan cukup juga ditunjukkan oleh jenis mikroorganisme flagellata dan arthropoda. Lalu alga dan nematoda tidak menunjukkan hubungan korelasi dengan konsentrasi BOD karena nilai yang didapatkan kurang dari 0,2.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Dari penelitian pengamatan kelimpahan dan keragaman protozoa, metaoza, dan alga ini diperoleh bahwa dari beberapa metode pengamatan, didapatkan bahwa metode tanpa penambahan larutan cocok untuk diterapkan pada penelitian ini. Namun jika hanya ingin dilakukan enumerasi, metode dengan penambahan larutan *ammoniacal silver carbonate* lebih cocok untuk digunakan.
2. Pengamatan menggunakan metode terpilih menunjukkan hasil bahwa ciliata menjadi mikroorganisme dominan hampir di setiap unit IPAL terutama pada kondisi aerob. Dominasi ciliata pada unit pengolahan mengindikasikan pengolahan berjalan efektif dan menunjukkan kondisi limbah yang masih sesuai tanpa adanya kondisi ekstrim ndalam kandungan air limbah yang masuk kedalam IPAL. Kelimpahan protozoa, metazoa, dan alga yang terdapat pada air limbah dan biofilm menunjukkan perbedaan jumlah yang tinggi. Keadaan kelimpahan mikroorganisme antara biofilm dan air limbah juga ditunjukkan adanya hubungan yang tidak berbanding lurus, karena kenaikan jumlah pada biofilm diikuti dengan penurunan jumlah pada air limbah.
3. Dari analisis ini didapatkan hasil korelasi negatif dan positif. Mikroorganisme yang menunjukkan korelasi negatif diantaranya ciliata, rotifera, annelida, dan arthropoda. Sedangkan yang menunjukkan korealasi positif adalah flagellata, nematoda, rhizopoda (amoeba), dan alga. Mayoritas mikroorganisme menunjukkan hubungan yang rendah dengan nilai tertinggi -0,577 dan terendah 0,031. Penghuni mayoritas unit IPAL seperti ciliata dan rotifera menunjukkan kelimpahan rendah pada kondisi beban organik tinggi ditunjukkan dengan korelasi negatif dengan hubungan cukup.

5.2 Saran

Beberapa saran yang disampaikan peneliti setelah melakukan penelitian ini antara lain :

1. Perlu adanya penelitian tersendiri atau lanjutan mengenai metode yang digunakan. Karena metode pengamatan terdapat banyak yang ditulis oleh peneliti namun tidak semua metode tersebut cocok untuk diterapkan. Sehingga perlu dilakukan banyak *trial n error* agar hasil dari percobaan mendapatkan hasil yang terbaik.
2. Perlu dilakukan pemeriksaan dan evaluasi secara berkala berkaitan dengan protozoa, metazoa, dan alga dalam IPAL Bakti Warga. Mengingat kelimpahan mikroorganime ini masih ditemukan pada unit pengolahan terakhir sehingga memungkinkan untuk ikut terbuang ke lingkungan. Keberadannya dilingkungan dikhawatirkan dapat mengontaminasi manusia dan menimbulkan masalah kesehatan lain.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

Allen, M. W. et al., 1959. *Freshwater Biology.* 2nd ed. New York, United States of America: John Willey & sons, Inc.

Ambarwati, Saifullah & Mustahal, 2014. Identifikasi Fitoplankton dari Perairan Waduk Nadra Krenceng Kota Cilegon Banten. *Jurnal Perikanan dan Kelautan,* IV(4), pp. 283-291.

Ariana , D., Samiaji, J. & Nasution, S., 2014. Komposisi Jenis dan Kelimpahan Fitoplankton Perairan Laut. *Journal Oniline Mahasiswa Bidang Perikanan dan Ilmu Kelautan,* I(1), pp. 1-15.

Aziz, F. H., 2020. *Algae of Greater Zab and Balakian- Ruwandiz River.* 1st ed. Erbil: Lass for books and Printing.

B.G. Sibarani, L., Dahril, T. & H. Simarmata, A., 2020. Jenis dan Kelimpahan Perifiton Dengan Bambu di Genangan kelurahan Baru Bersurat Kabupaten Kampar, Riau. *Jurnal Sumberdaya dan Lingkungan.*

Babko, R., Kuzmina, T., Lagod, G. & Glen, K. J., 2014. Analysis of The Periphyton Communities at The Municipal Wastewater Treatment Plant - Case Study. *Ecological Chemical and Engineering* , pp. 403-414.

Babko, R. et al., 2022. *Ratio of Abundances of Ciliates Behavioral Groups as an Indicator oh The Treated Wastewater Impact on Rivers,* London: Plos One.

Badan Standarisasi Nasional. (1995). *SNI 06-3963-1995 Tentang Pengujian Jenis dan Jumlah Plankton Dalam Air. Badan Standarisasi Nasional*

Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 6989-59-2008 Tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah.* Badan Standarisasi Nasional

Bellinger, E. G. & Sigee, D. C., 2010. *Freshwater Algae : Identification and Use as Bioindicators.* 1st ed. Cippenham, Wilts, Great Britain: Antony Rowe, Ltd..

Cereceda, M. M., M. Alvares, A., Serrano, S. & Guinea, A., 2001. Confocal and Light Microscope Examination of Protozoa and Other Micro-Organisms in the Biofilm from a Rotating Biological Contactor Wastewater Treatment Plant. *Acta Protozool,* pp. 263-272.

Cereceda, M. M., Perez-Uz, B., Serrano, S. & Guinea, A., 2001. Dynamics of Protozoa and Metazoan Communities in a Full Scale Wastewater Treatment Plant by Rotating Biological Contactor. *Microbiological Research,* pp. 225-238.

Cereceda, M. M., Serrano, S. & Guinea, A., 2000. Biofilm Communities and Operational Monitoring of a Rotating Biological Contactor System. *Water, Air, and Soil Pollution,* pp. 193-206.

Charubhun , B. & Charubhun, N., 2000. Biodiversity of Freshwater Protozoa in Thailand. *Kasetsart Journal,* XXXIV(4), pp. 486-494.

Condori, G. B. C. et al., 2021. Nematodes Associated with Andrean Papaya (Carica pubescens L.) in sandia District, Puno, Peru. *Bioagro,* XXXIII(3), pp. 121-202.

Diaz, R., Harlia, E. & Kurnani, B. A., 2016. *Identifikasi Protozoa pada Digester Tipe Batch Berbahan Baku Feses Sapi Potong dan Batubara,* Sumedang: Fakultas Peternakan Universitas Padjajaran.

Fisma, I. Y. & Bhernama, B. G., 2020. Analisis Air Limbah Yang Masuk Pada Waste Water Treatment Plant (WWTP). *AMINA,* pp. 50-58.

Galiano, D. F., 1993. *Technical Note : The Ammoniacal Silver carbonate Method as a General Procedure in The Study of Protozoa From Sewage (and Other) Waters,* Madrid: Pergamont Press Ltd.

Hidayanni, G., Mulyadi, A. & Siregar, S. H., 2013. *Syudi Diatom Epiphytic Sebagai Indikator Lingkungan Perairan di Sekitar Sungai Kampar Desa Buluh Cina Kecamatan Siak Hulu Kabupaten Kampar Provinsi Riau,* Riau: Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Riau.

Hood, R. D. et al., 2015. *The Stringent Response Regulates Adaotation to Darkness in The Cyanobacteria Synecchococcus Elongatus,* Berkeley: Cross Mark.

Indrayani, N., Anggoro, S. & Suryanto, A., 2014. Indeks Trofik-Saprofik Sebagai Indikator Kualitas Air di Bendung Kembang Kempis Wedung, Kabupaten Demak. *Diponegoro Journal of Maquares,* III(4), pp. 161-168.

Kencanawati, C. I. P. K., 2016. *Diktat mata Kuliah Sistem Pengelolaan Air Limbah.* Bukit Jimbaran: Teknik Mesin, Fakultas teknik, Universitas Udayana.

Kuppers, G. C. et al., 2020. *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrata.* 1st ed. s.l.:Eesevier Inc..

Kuzeff, R. M., 2012. *A Review of Use of Enantiomers in Homeopathy,* Melbourne: National Institute of Interative Medicine.

Liu, N. et al., 2021. Study on Start-Up Membraneless Anaerobic Baffled Reactor Coupled with Microbial Fuel Cell for Dye Wastewater Treatment. *ACS Omega,* Volume VI, pp. 23515-23527.

Lukashanets, D. A., Yury, H. H. & Miamin, V. Y., 2022. *Extremely High Abundance of Prasiola Crispa-associated Micrometazoans in East Antarctica,* s.l.: Norwegian Polar Institute.

Madoni, P., 2011. Protozoa in Wastewater Tteratment Processes: A Minireview. *Italian Journal of Zoology,* I(78), pp. 3-11.

Martino, P. D., 2018. *Exctracellular Polymer Substances, a Key Element in Understanding Biofilm Phenotype,* Cergy-Pontoise: AIMS Microbiology.

Marx, C. et al., 2010. *Advace Activated Sludge Study Guide,* Madison: Winconsin Departement of Natural Resources Wastewater Operator Certification.

Muchesa, P., Mwamba, O., Barnard, T. & Bartie, C., 2014. *Detection of Free-Living Amoebae Using Amoebal Enrichment in a Wastewater Treatment Plant of Gauteng Province, South Africa,* Gauteng: Hindawi Publishing Corporation.

Norouzian, M., Zamora, A. H. & Mejia, C. P., 1987. A technique for the Enumeration of Protozoa in Wastewater. *Environmental Technology Latters,* pp. 221-224.

Nurkholis, A. et al., 2016. Proses Pengelolaan Air Limbah secara Biologis (Biofilm): Trickling Filter dan Rotating Biological Contactor (RBC).

Opat, M. O., Setyawati, T. R. & Yanti, A. H., 2016. Inventaris Mikroalga dan Protozoa pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Karet Sistem Biofilter Skala Laboratorium. *Protobiont,* IV(3), pp. 19-25.

Parwanayori, N. M. S., 2008. Pergantian Populasi bakteri Heterotrof, Algae, dan Protozoa Di Lagoon BTDC Unit Penangnan Limbah Nusa Dua Bali. *Jurnal Bumi Lestari,* pp. 180-185.

Pauli, W., Jax, K. & Berger, S., 2001. The Handbook of Environmental Chemistry . In: B. B, ed. *Protozoa in Wastewater Treatment: Function and Importance.* Berlin: Springer, pp. 203-252.

Permadi, 2011. Utilitas Pengolahan Limbah cair Rumah Sakit. *NALARs,* X(2nd), pp. 173-184.

Phyu, K. K. & Moe, M. M., 2019. Study on Some Aquatic Micro and Macro Algae from Dagon University Campus. *Myanmar Korea Conference Research Journal,* Volume I, pp. 121-130.

Posponegoro, M., 1998. Bioflokulasi Mikroorganisme dan Peranannya Dalam Pengolahan Air Limbah Secara Biologi. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia,* pp. 46-55.

Potera, c., 1996. *Biofilm Invade Microbiology,* s.l.: Montana.

Purwatiningrum, O., 2018. Gambaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal Di Kelurahan Simokerto, Kecamatan Simokerto, Kota Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan* , pp. 243-253.

Rivera, F. et al., 1988. Protozoa of a Rotating Biological Contactor Treatment Plant in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution,* pp. 218-301.

Said, N. I., 2000. Teknologi pengolahan Air Limbah dengan proses Biofilm Tercelup. *Jurnal Teknologi Lingkungan* , pp. 101-113.

Said, N. I., 2005. Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Reaktor Biologis Putar (Rotating Biological Contactor) dan Parameter Disain. *Jurnal Air Indonesia,* pp. 178-188.

Santos, M. C., Martin, I. & Trujillo, E. M., 2014. Nematodes as a Factor for Concideration in The Wastewater Treatment and Water Reuse Process. *Desalination and Water Treatment,* pp. 4715-4720.

Sarwono, J., 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif & Kualitatif.* 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Serrano, S. et al., 2008. *Guidelines for the Identification of Ciliates in Wastewater Treatment Plants.* London: IWA Publishing.

Sowinska, A. & Makowska, M., 2015. Suspended and Immobilized Biomass in Individual Wastewater treatment System SBR and SBBR. *Desalination and Water Treatment,* pp. 1-12.

Stal , L. J. & Moezelaar, R., 1997. *Fermentation in Cyanobacteria*, Wageningen: Elsevier Science.

Sudiana, I. M., 1999. Dinameka Populasi Mikroba Bentuk Filamen pada Proses Anaerobik-Aerobik untuk Penambatan Pospat dengan MIkroba. *Berita Biologi*, IV(5), pp. 331-337.

Sulaiman, T. G., 2012. *Struktur Komunitas Bacillariophyta (Diatom) di Area Pertambakan Marunda Cilincing, Jakarta Utara*, Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Sulastri, 2018. *Fitoplankton Danau-danau di Pulau Jawa : Keanekaragaman dan Perannya sebagai Bioindikator Perairan.* 1st ed. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

Suyono, E. A. & Mudasir, 2010. *Potensi Algae Sebagai Biofuel*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

T. Calaway, W., 1963. Nematodes in Wastewater Treatment. *Water Pollution Control Federation*, pp. 1006-1016.

Tan, X. et al., 2010. *An Approach to Analyzing Taxonomic Patterns of Protozoan Communities for Monitoring Water Qualitu in Songhua River, Northeast China*, Wuhan: Springer.

Vasquez, A. A. et al., 2021. *Molecular Diet Studies of Water Mites Reveal Prey Biodiversity*, s.l.: Plos One.

Waizh, N. T., 2014. *Pengaruh Densitas Alga dan kedalaman Reaktor Terhadap Penurunan BOD & COD Limbah Cair Domestik*, Yogyakarta: dspace uii.

Wei, D. et al., 2022. *Efficiency and Bacterial Diversity of an Improved Anaerobic Baffled Reactor for the Remediation of Wastewater from Alkaline-Surfactant-Polymer (ASP) Flooding Technology*, Guangdong: Plos One.

Wulandari, P. R., 2014. Perencanaan Pengolahan Air Limbah Sistem terpusat (Studi Kasus Di Perumahan PT. pertamina Unit Pelayanan III Plaju - sumatera Selatan). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, pp. 499 - 509.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN A
PROSES PENGAMBILAN SAMPEL

Lampiran A.1 Pengambilan Sampel ABR



Lampiran A.2 Pengambilan Sampel AF



Lampiran A.3 Pengambilan Sampel RBC



Lampiran A.4 Pengambilan Sampel Bak Sedimentasi



\

LAMPIRAN B
PROSES ANALISIS DATA

Lampiran B.1 Larutan Ammoniacal Silver Carbonate



Lampiran B.2 Proses Pengamatan Menggunakan Mikroskop



Lampiran B.3 Proses Pengujian BOD



LAMPIRAN C
DATA HASIL PENGAMATAN

Lampiran C.1 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah Bak ABR

Bak ABR						
Jenis	**Kelimpahan Relatif**					**persen**
	1	**2**	**3**	**rata-rata**	**Kemelimpahan (org/ml)**	
Ciliata *attached*	0	0	0	0	0	0%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	0	2	21	7,67	8	25,3%
Flagellata	1	3	6	3,33	4	11,0%
Testate amoeba	3	2	1	2	2	6,6%
naked amoeba	0	0	3	1	1	3,3%
Rotifera	0	0	0	0	0	0%
Nematoda	0	1	0	0,33	1	1,1%
Annelida	0	0	0	0	0	0%
Alga	11	21	16	16	16	52,7%
arthropoda	0	0	0	0	0	0%
total	15	29	47	30,33	32	100%

Lampiran C.2 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah Bak AF

Bak Anaerobik Filter						
jenis	**Kelimpahan Relatif**					**persen**
	1	**2**	**3**	**rata-rata**	**Kemelimpahan (org/ml)**	
Ciliata *attached*	10	16	5	10,33	11	28,2%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	7	11	5	7,67	8	20,9%
Flagellata	0	0	0	0	0	0%
Testate amoeba	0	0	0	0,00	0	0,0%
naked amoeba	0	2	0	1	1	2%
Rotifera	0	2	0	0,67	1	1,8%
Nematoda	1	5	2	2,67	3	7,3%
Annelida	0	0	0	0	0	0%
Alga	9	14	21	14,67	15	40,0%
antropoda	0	0	0	0	0	0%
total	27	50	33	36,67	39	100%

Lampiran C. 3 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah RBC Bagian Awal

RBC Bagian Awal						
jenis	**Kelimpahan Relatif**					**persen**
	1	**2**	**3**	**rata-rata**	**Kemelimpahan (org/ml)**	
Ciliata *attached*	89	111	80	93,33	94	73,3%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	18	19	13	16,67	17	13,1%
Flagellata	2	0	0	0,67	1	0,5%
Testate amoeba	0	0	0	0	0	0%
naked amoeba	0	1	1	1	1	1%
Rotifera	3	10	5	6	6	4,7%
Nematoda	2	2	1	1,67	2	1,3%
Annelida	1	1	5	2	3	2%
Alga	11	1	1	4,33	5	3,4%
antropoda	2	0	3	1,67	2	1,3%
total	128	145	109	127,33	131	100%

Lampiran C.4 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah RBC Bagian Tengah

RBC Bagian Tengah						
jenis	**Kelimpahan Relatif**					**persen**
	1	**2**	**3**	**rata-rata**	**Kemelimpahan (org/ml)**	
Ciliata *attached*	30	44	22	32	32	27,7%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	31	46	52	43	43	37,2%
Flagellata	1	3	3	2,33	3	2,0%
Testate amoeba	1	1	0	0,67	1	0,6%
naked amoeba	0	3	0	1	1	0,9%
Rotifera	23	31	35	29,67	30	25,6%
Nematoda	2	2	0	1,33	2	1,2%
Annelida	1	0	0	0,33	1	0,3%
Alga	6	5	4	5	5	4,3%
antropoda	1	0	0	0,33	1	0,3%
total	96	135	116	115,67	119	100%

Lampiran C.5 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah RBC Bagian Akhir

RBC Bagian Akhir						
jenis	**Kelimpahan relatif**					**Persen**
	1	**2**	**3**	**rata-rata**	**Kemelimpahan Relatif (org/ml)**	
Ciliata *attached*	161	235	301	232,33	233	60,2%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	133	105	69	102,33	103	26,5%
Flagellata	2	0	0	0,67	1	0,2%
Testate amoeba	1	0	0	0,33	1	0,1%
naked amoeba	0	5	7	4	4	1,0%
Rotifera	15	17	31	21	21	5,4%
Nematoda	5	7	3	5	5	1,3%
Annelida	23	13	16	17,33	18	4,5%
Alga	0	0	6	2	2	0,5%
antropoda	1	1	0	0,67	1	0,2%
total	341	383	433	385,67	389	100%

Lampiran C.6 Data Pengamatan Kelimpahan Mikroorganisme Air Limbah Bak Sedimentasi

Bak Sedimentasi						
jenis	**Kelimpahan relatif**					**Persen**
	1	**2**	**3**	**rata-rata**	**Kelimpahan relatif (org/ml)**	
Ciliata *attached*	16	28	12	18,67	19	26,3%
Ciliata *Crawling* & *swimming*	25	17	17	19,67	20	27,7%
Flagellata	0	2	1	1	1	1,4%
Testate amoeba	0	1	0	0,33	1	0,5%
naked amoeba	0	0	0	0,00	0	0%
Rotifera	1	5	4	3,33	4	4,7%
Nematoda	0	1	0	0,33	1	0,5%
Annelida	0	0	0	0	0	0%
Alga	26	41	16	27,67	28	39,0%
antropoda	0	0	0	0	0	0%
total	68	95	50	71	74	100%

Lampiran C.7 Data Pengamatan Kelimpahan Biofilm Bagian Awal

Biofilm Bagian Awal		
Jenis	**Kelimpahan relatif**	Persen

	1	2	3	rata-rata	Kelimpahan relatif (org/ml)	
Ciliata *attached*	88	53	57	66	2640	45,52 %
Ciliata *Crawling* & *swimming*	27	24	14	22	880	15,17 %
Flagellata	1	0	0	1	40	0,69%
Testate amoeba	2	1	0	1	40	0,69%
naked amoeba	12	3	4	7	280	4,83%
Rotifera	44	32	38	38	1520	26,21 %
Nematoda	0	0	0	0	0	0%
Annelida	1	1	4	2	80	1,38%
Alga	6	8	3	6	240	4,14%
arthropoda	2	2	2	2	80	1%
total	183	124	122	145	5800	100%

Lampiran C.8 Data Pengamatan Kelimpahan Kelimpahan Biofilm Bagian Tengah

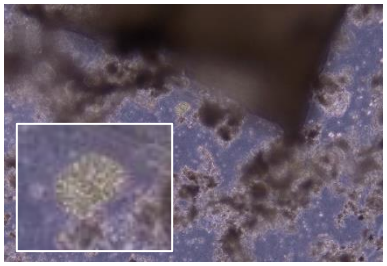
Biofilm Bagian Tengah						
Jenis	Kelimpahan					Persen
	1	2	3	rata-rata	Kemelimpahan (org/ml)	
Ciliata *attached*	93	91	128	104	4160	53,06 %
Ciliata *Crawling* & *swimming*	16	10	11	13	520	6,63%
Flagellata	0	0	0	0	0	0%
Testate amoeba	0	3	1	2	80	1%
naked amoeba	7	4	5	6	240	3,06%
Rotifera	78	34	76	63	2520	32,14 %
Nematoda	0	0	1	1	40	0,51%
Annelida	1	1	16	6	240	3,06%
Alga	1	0	1	1	40	0,51%
arthropoda	0	0	0	0	0	0%
total	196	143	239	196	7840	100%

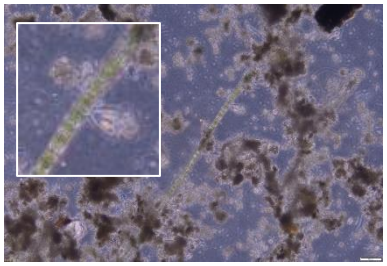
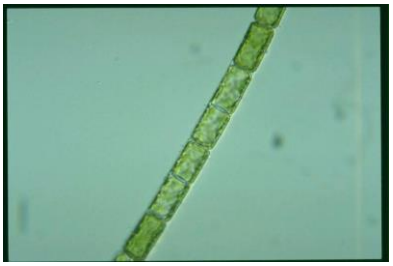
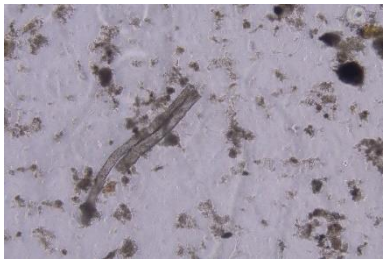
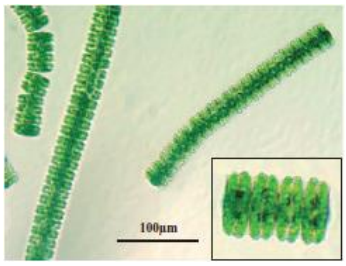
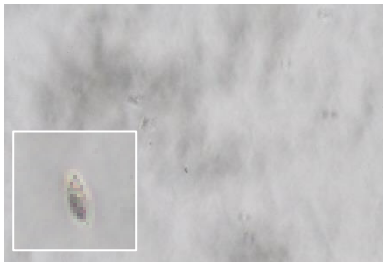
Lampiran C.9 Data Pengamatan Kelimpahan Biofilm Bagian Akhir

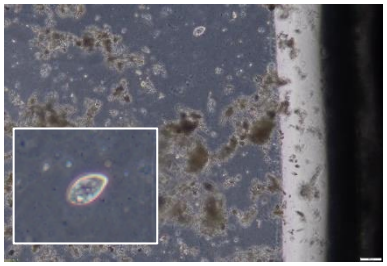
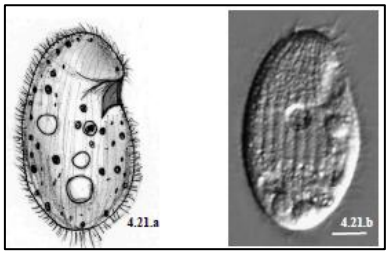
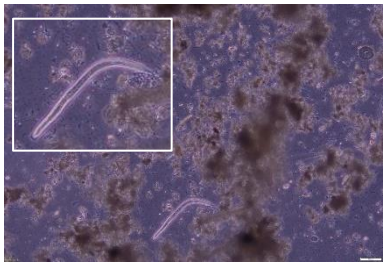
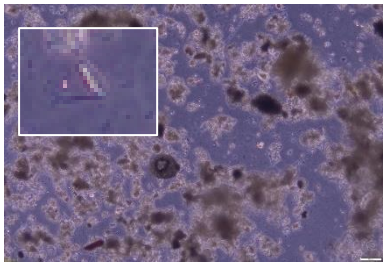
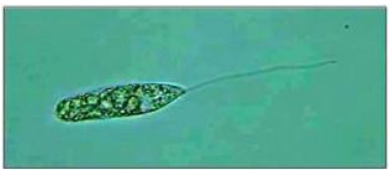
Biofilm Bagian Akhir						
Jenis	Kelimpahan					Persen
	1	2	3	rata-rata	Kemelimpahan (org/ml)	

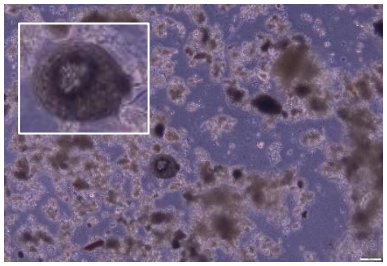
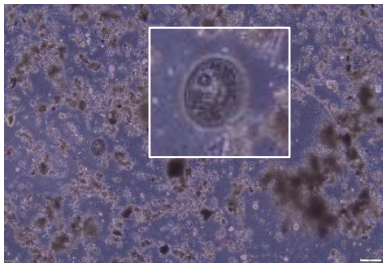
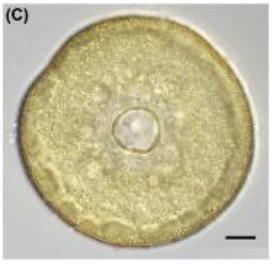
Ciliata *attached*	47	40	65	51	2040	47,66 %
Ciliata *Crawling & swimming*	226	21	19	22	880	20,56 %
Flagellata	0	2	1	1	40	0,93%
Testate amoeba	2	1	3	2	80	1,87%
naked amoeba	4	11	4	7	280	6,54%
Rotifera	114	22	16	18	720	16,82 %
Nematoda	0	2	0	1	40	0,93%
Annelida	1	6	4	4	160	3,74%
Alga	0	1	1	1	40	0,93%
arthropoda	0	0	0	0	0	0%
total	94	106	113	107	4280	100%

Lampiran C.10 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Bak Abr

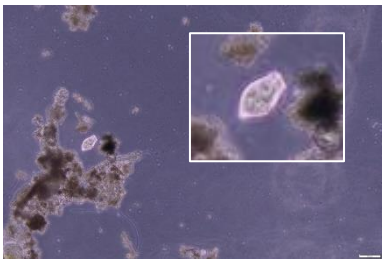
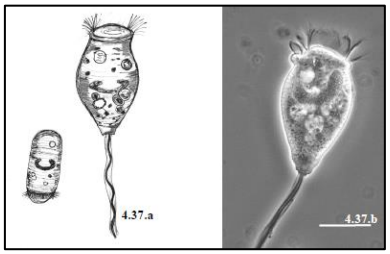
Gambar Pengamatan	**Gambar Pembanding dari Sumber Bacaan**	**Taksonomi**
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB3/PCD3599/htmls/92.html)	*Kingdom* : *Monera* *Phylum* : *Cyanobacteria* *Class* : *Cyanophycecae* *Ordo* : *Synechococcales* *Family* : *Coleosphaeriaceae* *Genus* : *Coleosphaerium* *Spesies* : *Coelosphaerium sp..*

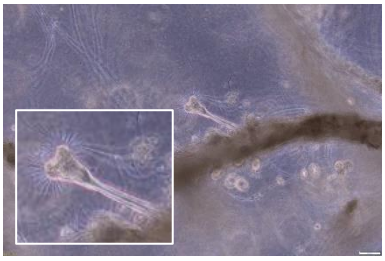
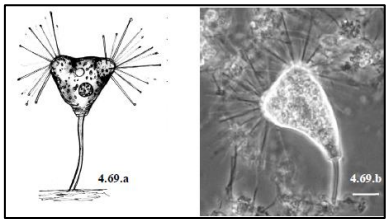
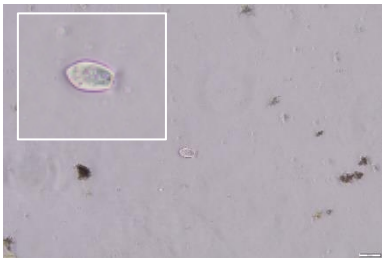
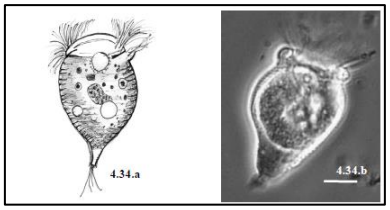
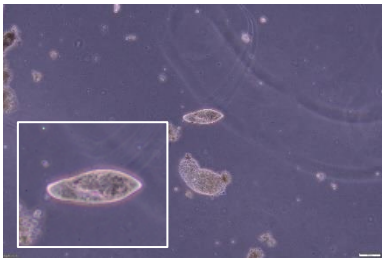
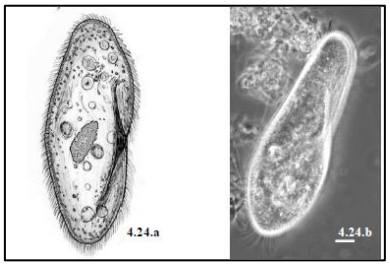
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Prokaryotes/Chroococcaceae/Coelosphaerium/Coelosphaerium4.html)	*Kingdom* : *Chromista* *Phylum* : *Bacillariophyta* *Class* : *Coscinodiscophyceae* *Ordo* : *Melosirales* *Family* : Melosiraceae *Genus* : *Melosira* *Spesies* : *Melosira Varians*
	 (Sumber : Bellinger & Sige, 2010)	*Kingdom* : *Viridiplantae* *Phylum* : *Streotophyta* *Class* : *Zygnemophyceae* *Ordo* : *Desmidiales* *Family* : *Desmidiacecae* *Genus* : *Desmidium* *Spesies* : *Desmidium Swartzii*
	 (Sumber : Kuzeff, 2012)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Ciliata* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Hymenostomatida* *Family* : *Tetrahynebidae* *Genus* : *Tetrahymena pyriformis* *Spesies* : *Tetrahymena pyriformis*

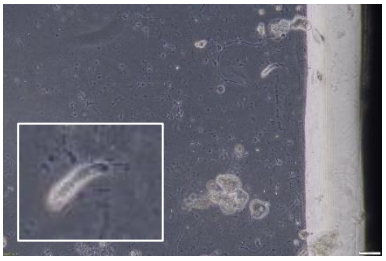
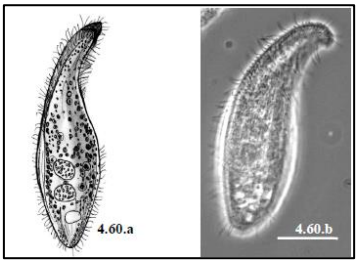
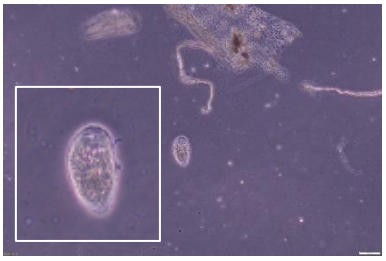
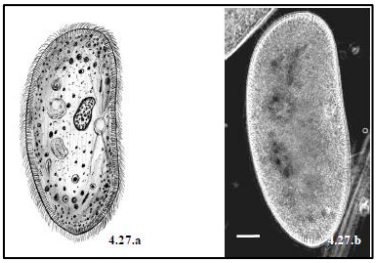
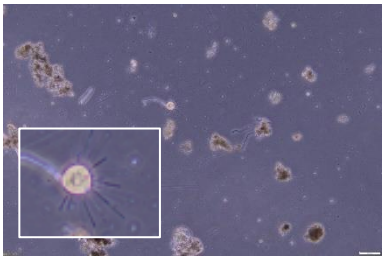
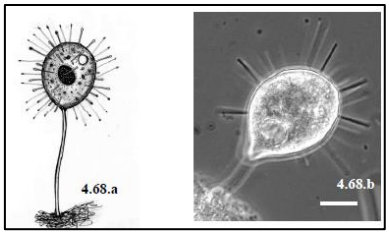
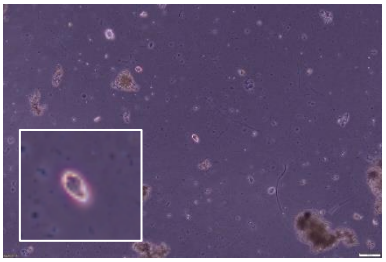
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Hymenostomatida* *Family* : *Turaniellidae* *Genus* : *Colpidium* *Spesies* : *Colpidium Colpoda*
	 (Sumber : https://faculty.ucr.edu/~pdeley/vce/Nematology159v10/159CD/slides.htm)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Nematoda* *Class* : *Chromadorea* *Ordo* : *Rhabditida* *Family* : *Diplogasteridae* *Genus* : *Aduncospiculum* *Spesies* : *Aduncospilucum halicti*
	 (Sumber : Aziz, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Flagellata* *Class* : *Euglenida* *Ordo* : *Heteronematina* *Family* : *Peranemida* *Genus* : *Peranema* *Spesies* : *Peranema sp.*

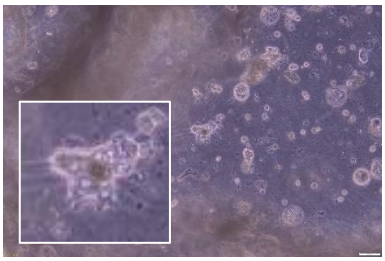
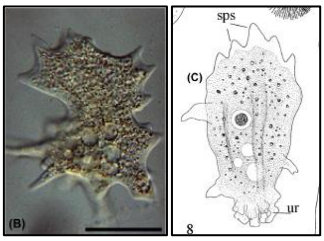
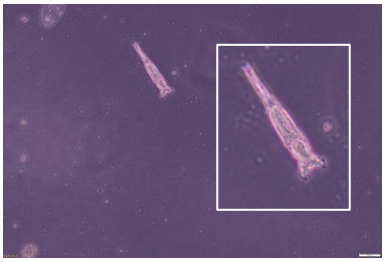
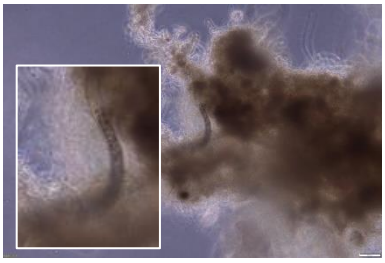
	 (Sumber : Kuppers *et* al, 2020)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Tubulinea* *Class* : *Elardia* *Ordo* : *Arcellinida* *Family* : *Hyalospheniidae* *Genus* : *Planocarina* *Spesies* : *Planocarina carinata*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Tubulinea* *Class* : *Elardia* *Ordo* : *Arcellinida* *Family* : *Arcellidae* *Genus* : *Arcella* *Spesies* : *Arcella sp.*

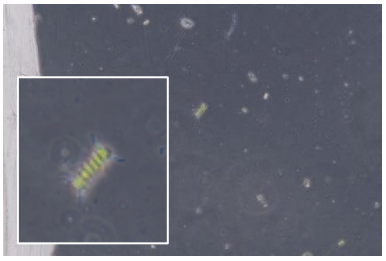
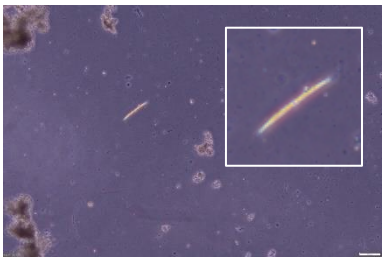
Lampiran C.11 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Bak AF

Gambar Pengamatan	**Gambar Pembanding dari Sumber Bacaan**	**Taksonomi**
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Vorticellidae* *Genus* : *Vorticella* *Spesies* : *Vorticella sp.*

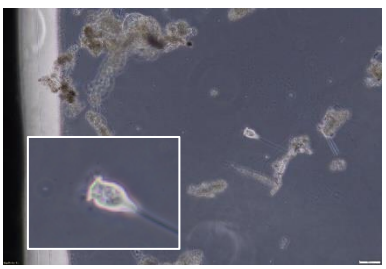
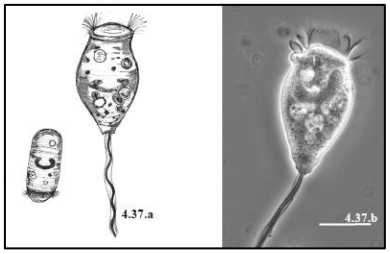
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Phyllopharyngea* *Ordo* : *Endogenida* *Family* : *Tokophryidae* *Genus* : *Tokophrya* *Spesies* : *Tokophrya lemnarum*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Astylozoidae* *Genus* : *Astylozoon* *Spesies* : *Astylozoon enriquesi*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Parameciidae* *Genus* : *Paramecium* *Spesies* : *Paramecium aurelia*

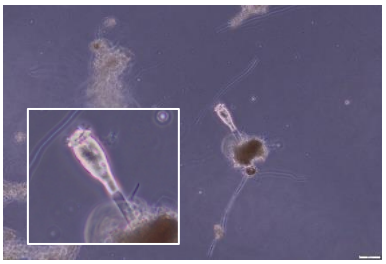
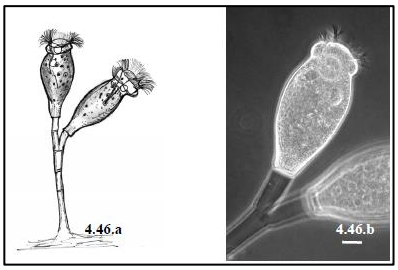
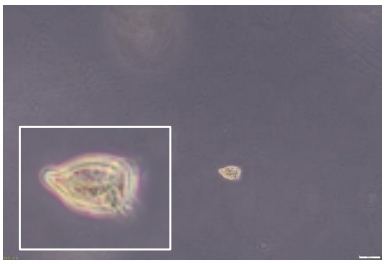
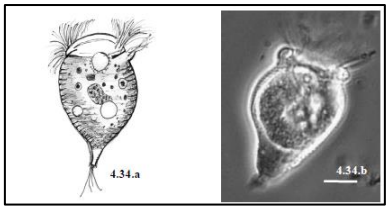
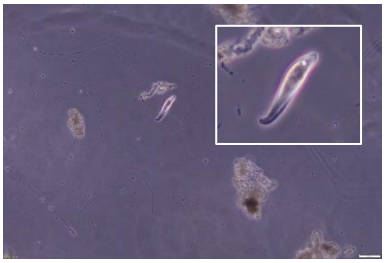
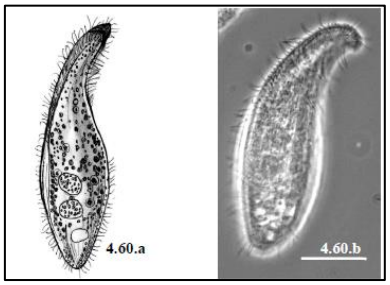
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Litostomatea* *Ordo* : *Pleurostomatida* *Family* : *Litonotidae* *Genus* : *Litonotus* *Spesies* : *Litonotus sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Frontoniidae* *Genus* : *Frontonia* *Spesies* : *Frontonia leucas*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Phyllopharyngea* *Ordo* : *Exogenida* *Family* : *Podophryidae* *Genus* : *Podophrya* *Spesies* : *Podophrya fixa*
	 (Sumber : Kuzeff, 2012	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Hymenostomatida* *Family* : *Tetrahynebidae* *Genus* : *Tetrahymena*

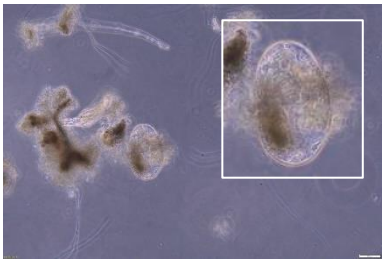
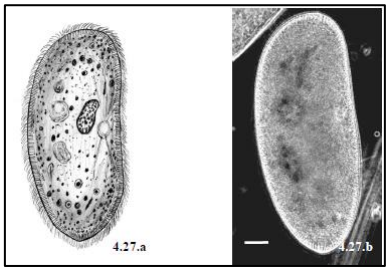
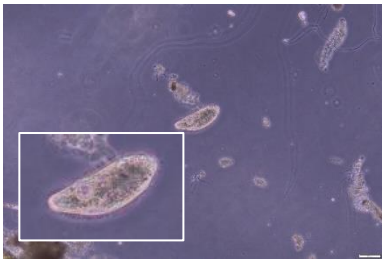
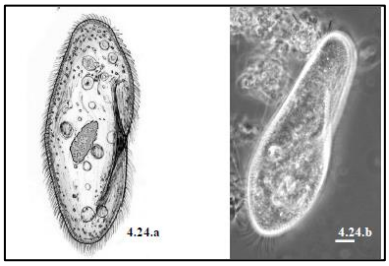
		Spesies : *Tetrahymena pyriformis*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Discosea* *Class* : *Ordo* : *Longamoebia* *Family* : *Genus* : *Mayorella* *Spesies* : *Mayorella sp.*
	 (Sumber : Lukashanets *et* al, 2022)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Rotifera* *Class* : *Eurotatoria* *Ordo* : *Philodinida* *Family* : *Philodinida* *Genus* : *Philodinidae* *Spesies* : *Philodinidae gregaria*
	 (Sumber : Condori *et* al, 2021)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Nematoda* *Class* : *Chromadorea* *Ordo* : *Rhabditida* *Family* : *Hoplolaimidae* *Genus* : *Helicotylenchus* *Spesies* : *Helicotylenchus sp.*

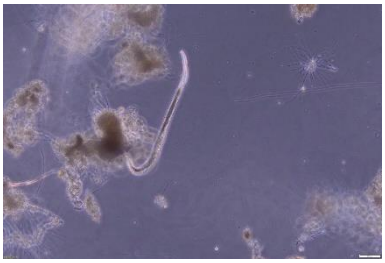
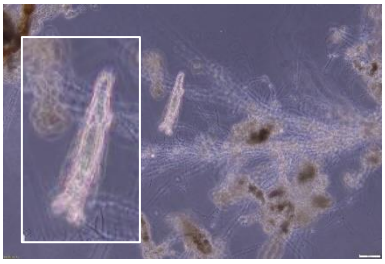
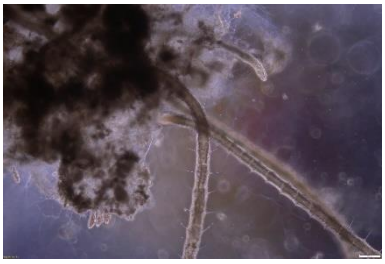
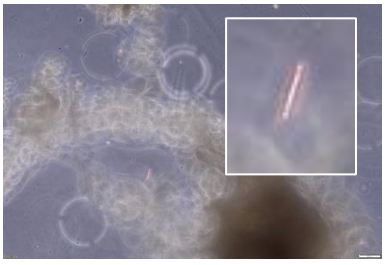
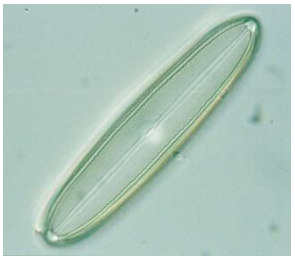
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/chlorophyta/scenedesmus/quadricauda/sp_01.html)	*Kingdom* : *Viridiplantae* *Phylum* : *Chlorophyta* *Class* : *Chlorophyceae* *Ordo* : *Spaeropleales* *Family* : *Scenedesmaceae* *Genus* : *Scenedesmus* *Spesies* : *Scenedesmus quadricauda*
	 (Sumber : https://www.nature-microscope-photo-video.com/it/foto/istologia-vegetale/microbiologia/algae-alghe/bacillariophyta-diatomee/bacillariophyceae-diatomee/synedra-diatomea/0105a010301011313d-synedra-sp-diatomea-1000x.html)	*Kingdom* : *Chromista* *Phylum* : *Bacillariophyta* *Class* : *Fragilariophyceae* *Ordo* : *Fragilariales* *Family* : *Fragilariohyceae* *Genus* : *Synedra* *Spesies* : *Synedra sp.*

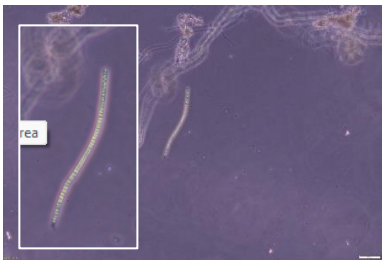
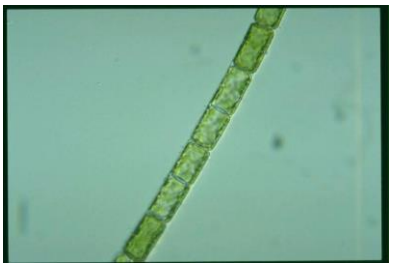
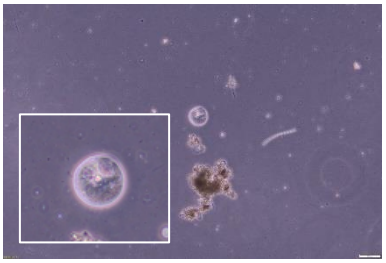
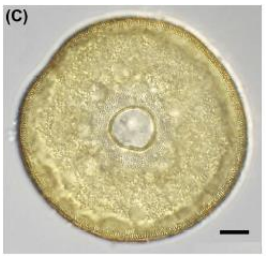
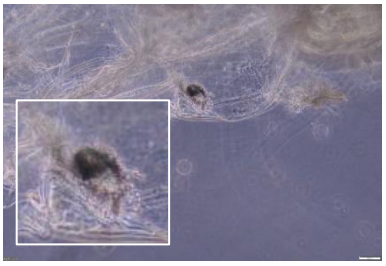
Lampiran C.12 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada RBC bagian awal

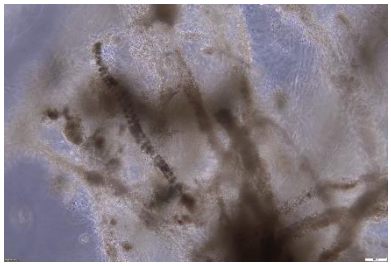
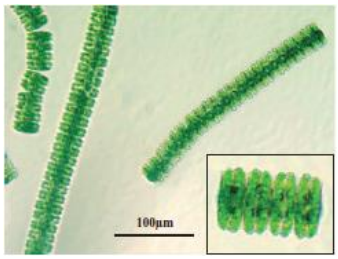
Gambar Pengamatan	**Gambar Pembanding dari Sumber Bacaan**	**Taksonomi**
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Vorticellidae*

		Genus : *Vorticella* *Spesies* : *Vorticella sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Epistylidae* *Genus* : *Epistylis* *Spesies* : *Epistylis sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Astylozoidae* *Genus* : *Astylozoon* *Spesies* : *Astylozoon enriquesi.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Litostomatea* *Ordo* : *Pleurostomatida* *Family* : *Litonotidae* *Genus* : *Litonotus* *Spesies* : *Litonotus Lamella*

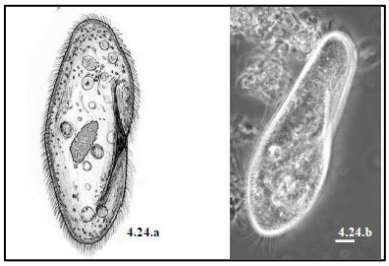
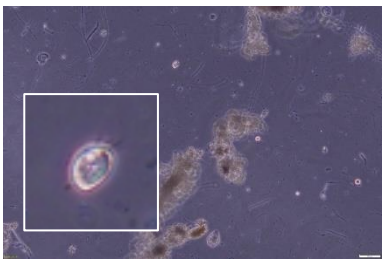
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Frontoniidae* *Genus* : *Frontonia* *Spesies* : *Frontonia leucas*
	 (Sumber : https://www.plingfactory.de/Science/Atlas/KennkartenProtista/01e-protista/e-Ciliata/e-source/Holophrya%20sp.2.html)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Prostomatera* *Ordo* : *Prorodontida* *Family* : *Holophryidae* *Genus* : *Holophrya* *Spesies* : *Holophrya sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Parameciidae* *Genus* : *Paramecium* *Spesies* : *Paramecium aurelia*

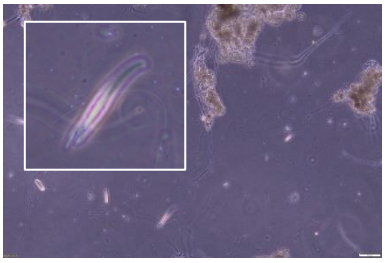
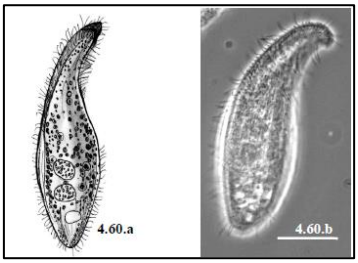
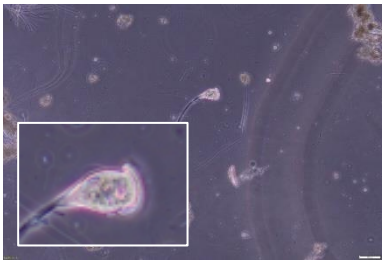
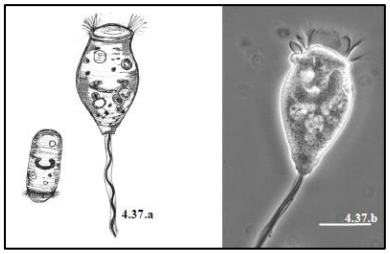
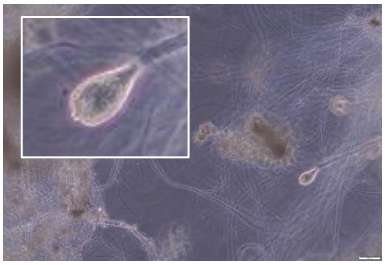
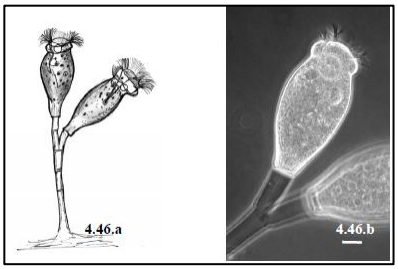
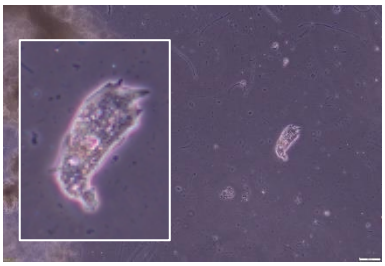
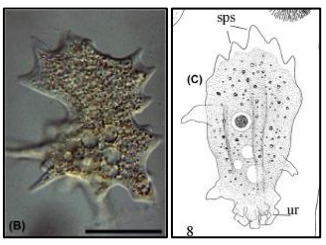
	 (Sumber : Condori *et* al, 2021)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Nematoda* *Class* : *Enoplea* *Ordo* : *Mononchida* *Family* : *Mononchidae* *Genus* : *Monochus* *Spesies* : *Monochus sp.*
	 (Sumber : Lukashanets *et* al, 2022)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Rotifera* *Class* : *Eurotatoria* *Ordo* : *Philodinida* *Family* : *Philodinida* *Genus* : *Philodinidae* *Spesies* : *Philodinidae gregaria*
	 (Sumber : https://inaturalist.nz/taxa/501692-Naidinae/browse_photos)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Annelida* *Class* : *Clitellata* *Ordo* : *Tubificida* *Family* : *Naididae* *Genus* : *Stylaria* *Spesies* : *Stylaria sp.*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Ima	*Kingdom* : *Chromista* *Phylum* : *Bacillariophyta* *Class* : *Bacillariophyceae* *Ordo* : *Naviculales* *Family* : *Neidiaceae*

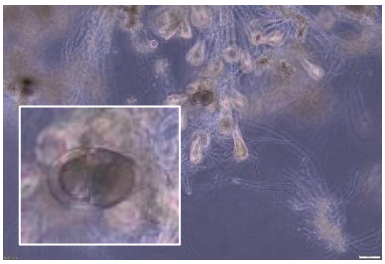
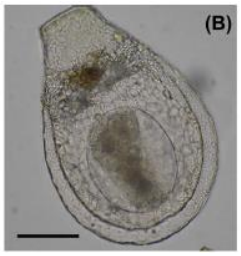
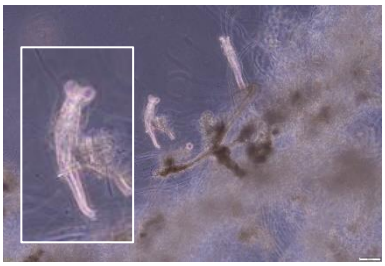
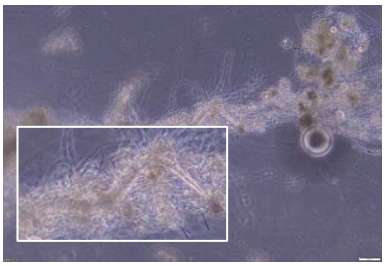
	ges/Heterokontophyta/Raphidineae/Neidium/sp_1b.html)	*Genus* : *Neidium* *Spesies* : *Neidium sp.*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Prokaryotes/Chroococcaceae/Coelosphaerium/Coelosphaerium4.html)	*Kingdom* : *Chromista* *Phylum* : *Bacillariophyta* *Class* : *Coscinodiscophyceae* *Ordo* : *Melosirales* *Family* : Melosiraceae *Genus* : *Melosira* *Spesies* : *Melosira Sp.*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Tubulinea* *Class* : *Elardia* *Ordo* : *Arcellinida* *Family* : *Arcellidae* *Genus* : *Arcella* *Spesies* : *Arcella sp.*
	 (Sumber : https://www.ncvetp.org/arthropods/mites)	*Kingdom* : *Animalia* *Phylum* : *Arthropoda* *Class* : *Arachnida* *Ordo* : *Trombidiformer* *Family* : *Cheyletidae* *Genus* : *Cheyletiella* *Spesies* : *Cheyletiella sp.*

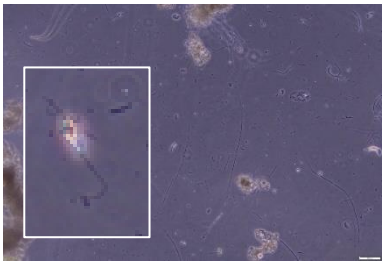
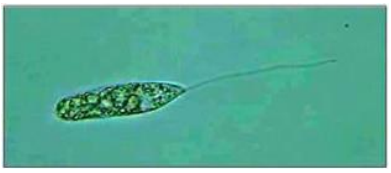
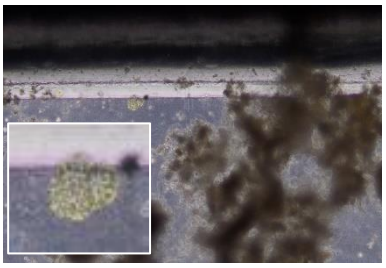
	 (Sumber : Bellinger & Sige, 2010)	*Kingdom* : *Viridiplantae* *Phylum* : *Streotophyta* *Class* : *Zygnemophyceae* *Ordo* : *Desmidiales* *Family* : *Desmidiacecae* *Genus* : *Desmidium* *Spesies* : *Desmidium sp.*

Lampiran C.13 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada RBC Bagian Tengah

Gambar Pengamatan	**Gambar Pembanding dari Sumber Bacaan**	**Taksonomi**
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Parameciidae* *Genus* : *Paramecium* *Spesies* : *Paramecium aurelia*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Spirotrichea* *Ordo* : *Euplotida* *Family* : *Aspidiscidae* *Genus* : *Aspidisca* *Spesies* : *Aspidisca sp.*

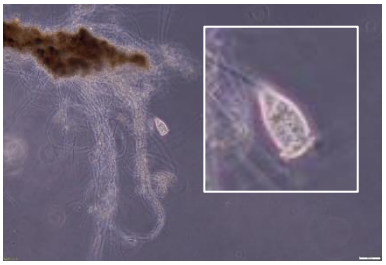
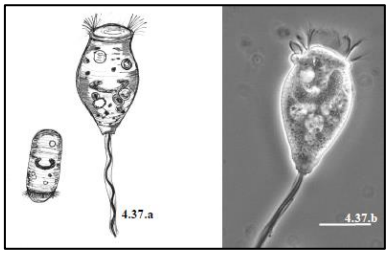
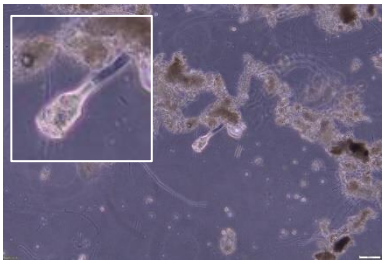
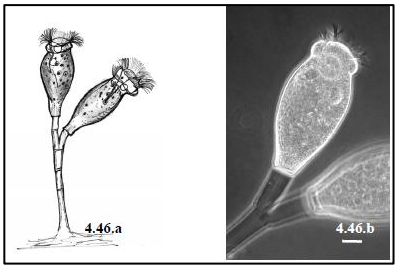
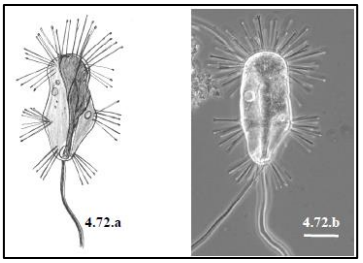
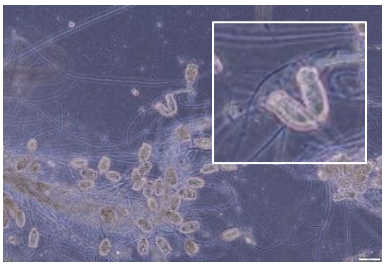
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Litostomatea* *Ordo* : *Pleurostomatida* *Family* : *Litonotidae* *Genus* : *Litonotus* *Spesies* : *Litonotus sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Vorticellidae* *Genus* : *Vorticella* *Spesies* : *Vorticella sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Epistylidae* *Genus* : *Epistylis* *Spesies* : *Epistylis sp*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Discosea* *Class* : *Ordo* : *Longamoebia* *Family* : *Genus* : *Mayorella*

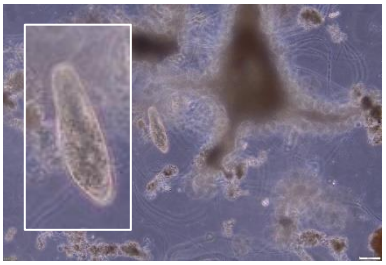
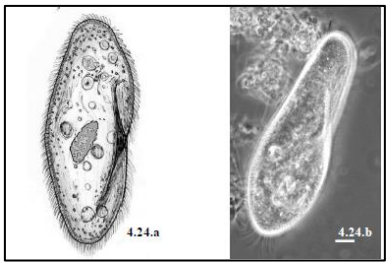
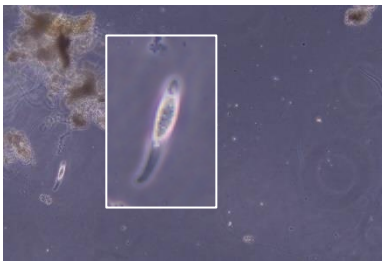
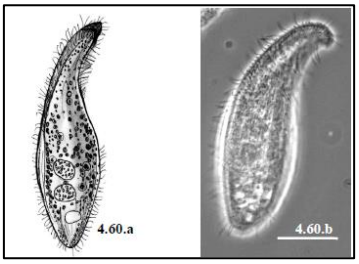
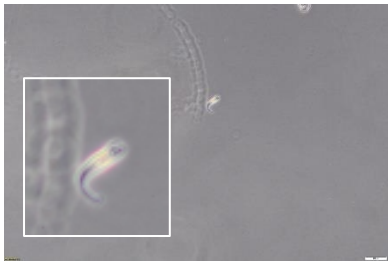
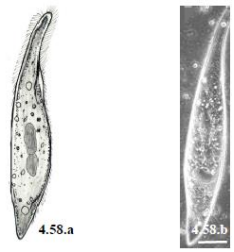
		Spesies : *Mayorella sp.*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Tubulinea* *Class* : *Elardia* *Ordo* : *Arcellinida* *Family* : *Hyalospheniidae* *Genus* : *Planocarina* *Spesies* : *Planocarina sp.*
	 (Sumber : Lukashanets *et* al, 2022)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Rotifera* *Class* : *Eurotatoria* *Ordo* : *Philodinida* *Family* : *Philodinida* *Genus* : *Philodinidae* *Spesies* : *Philodinidae gregaria*
	 (Sumber : Condori *et* al, 2021)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Nematoda* *Class* : *Chromadorea* *Ordo* : *Rhabditida* *Family* : *Hoplolaimidae* *Genus* : *Helicotylenchus* *Spesies* : *Helicotylencuhus sp.*

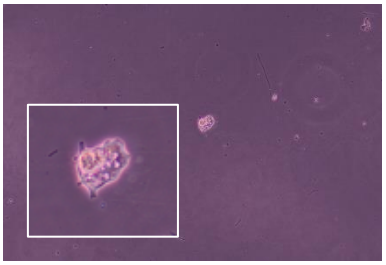
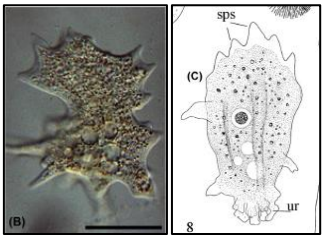
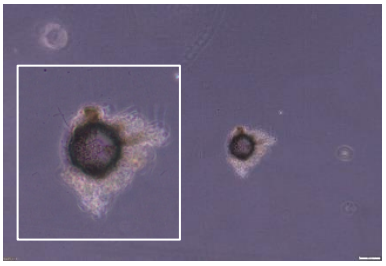
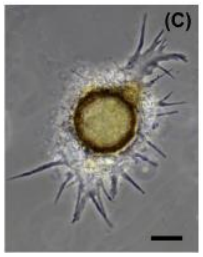
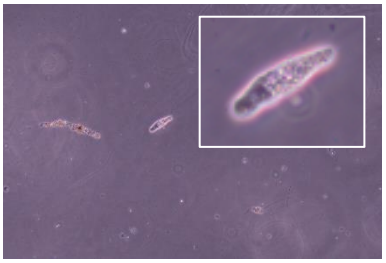
	 (Sumber : https://inaturalist.nz/taxa/501692-Naidinae/browse_photos)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Annelida* *Class* : *Clitellata* *Ordo* : *Tubificida* *Family* : *Naididae* *Genus* : *Stylaria* *Spesies* : *Stylaria sp.*
	 (Sumber : Aziz, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Flagellata* *Class* : *Euglenida* *Ordo* : *Heteronematina* *Family* : *Peranemida* *Genus* : *Peranema* *Spesies* : *Peranema sp.*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB3/PCD3599/htmls/92.html)	*Kingdom* : *Monera* *Phylum* : *Cyanobacteria* *Class* : *Cyanophycecae* *Ordo* : *Synechococcales* *Family* : *Coleosphaeriaceae* *Genus* : *Coleosphaerium* *Spesies* : *Coelosphaerium sp..*

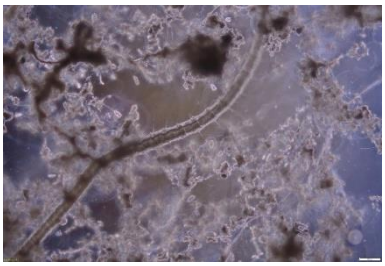
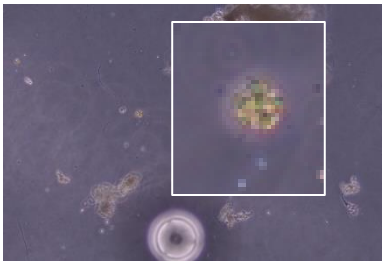
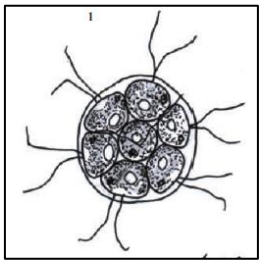
Lampiran C.14 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada RBC bagian akhir

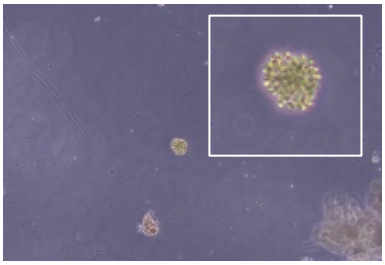
Gambar Pengamatan	Gambar Pembanding dari Sumber Bacaan	Taksonomi

	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Vorticellidae* *Genus* : *Vorticella* *Spesies* : *Vorticella sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Epistylidae* *Genus* : *Epistylis* *Spesies* : *Epistylis sp*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Phyllophryngea* *Ordo* : *Endogenida* *Family* : *Dendrodomatidae* *Genus* : *Multifasciculatum* *Spesies* : *Multifasciculatum elegant*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Zoothamniidae*

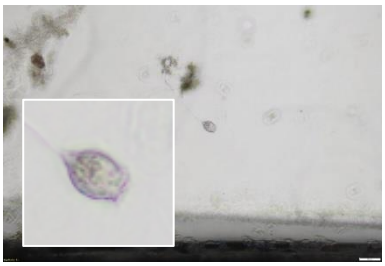
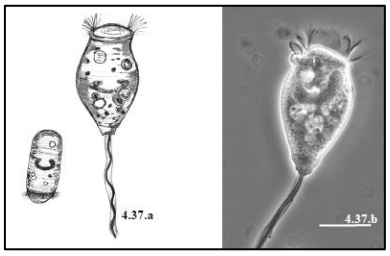
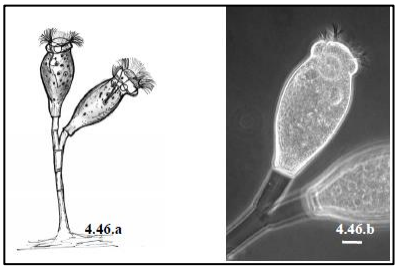
		Genus : *Zoothamnium* *Spesies* : *Zoothamnium zp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Parameciidae* *Genus* : *Paramecium* *Spesies* : *Paramecium aurelia*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Litostomatea* *Ordo* : *Pleurostomatida* *Family* : *Litonotidae* *Genus* : *Litonotus* *Spesies* : *Litonotus sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Litostomatea* *Ordo* : *Haptorida* *Family* : *Dilptidae* *Genus* : *Dileptus* *Spesies* : *Dileptus sp*

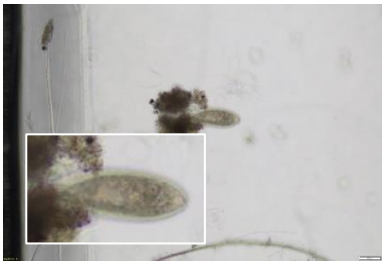
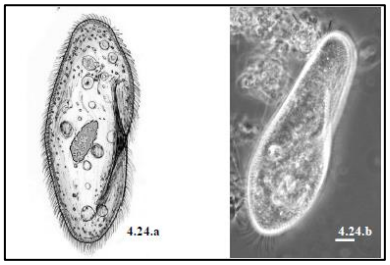
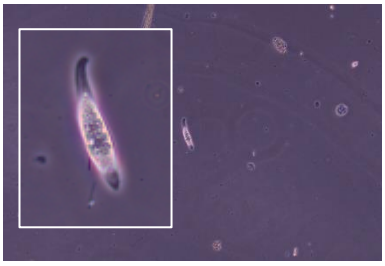
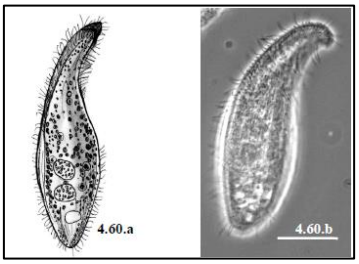
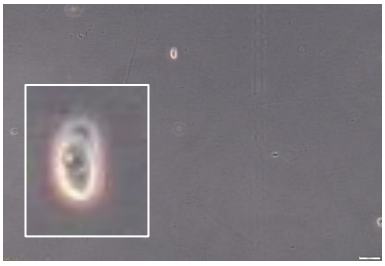
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Discosea* *Class* : *Ordo* : *Longamoebia* *Family* : *Genus* : *Mayorella* *Spesies* : *Mayorella sp.*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Tubulinea* *Class* : *Aelardia* *Ordo* : *Arcellinida* *Family* : *Phryganellidae* *Genus* : *Phryganella* *Spesies* : *Phryganella sp.*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Amoeba* *Class* : *Elardia* *Ordo* : *Euamoebida* *Family* : *Harymannellidae* *Genus* : *Saccamoeba* *Spesies* : *Saccamoeba sp.*
	 (Sumber : Lukashanets *et* al, 2022)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Rotifera* *Class* : *Eurotatoria* *Ordo* : *Philodinida* *Family* : *Philodinida* *Genus* : *Philodinidae*

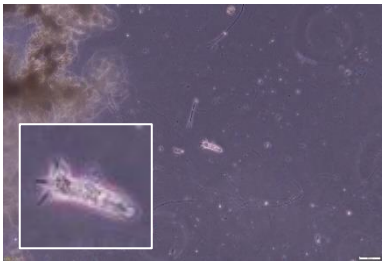
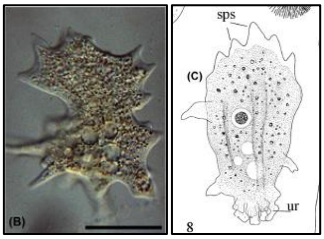
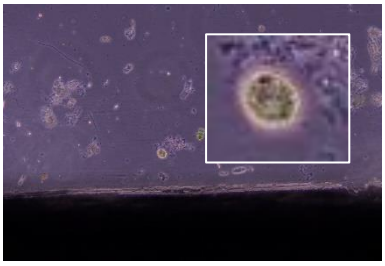
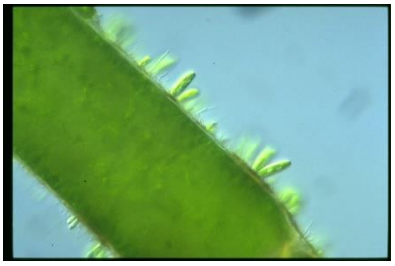
		Spesies : *Philodinidae gregaria*
	 (Sumber : https://inaturalist.nz/taxa/501692-Naidinae/browse_photos)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Annelida* *Class* : *Clitellata* *Ordo* : *Tubificida* *Family* : *Naididae* *Genus* : *Stylaria* *Spesies* : *Stylaria sp.*
	 (Sumber : Condori *et* al, 2021)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Nematoda* *Class* : *Chromadorea* *Ordo* : *Rhabditida* *Family* : *Hoplolaimidae* *Genus* : *Helicotylenchus* *Spesies* : *Helicotylencuhus sp.*
	 (Sumber : Bellinger & Sigee , 2010)	*Kingdom* : *Viridiplantae* *Phylum* : *Chlorophyta* *Class* : *Chlorophyceae* *Ordo* : *Chlamydomonadales* *Family* : *Volvocaceae* *Genus* : *Pandorina* *Spesies* : *Pandorina sp.*

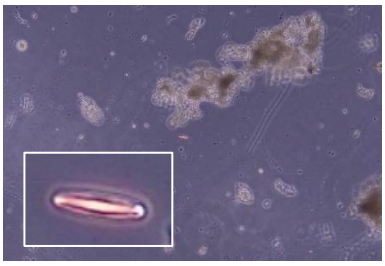
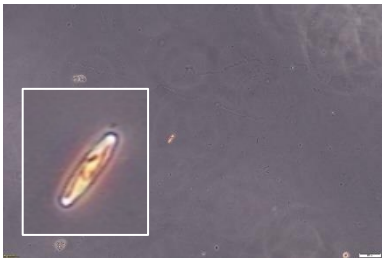
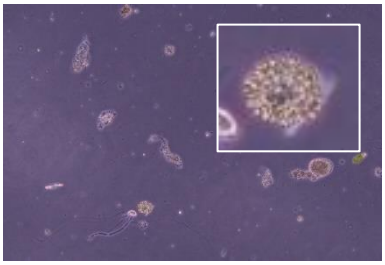
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB3/PCD3599/htmls/92.html)	*Kingdom* : *Monera* *Phylum* : *Cyanobacteria* *Class* : *Cyanophycecae* *Ordo* : *Synechococcales* *Family* : *Coleosphaeriaceae* *Genus* : *Coleosphaerium* *Spesies* : *Coelosphaerium sp..*

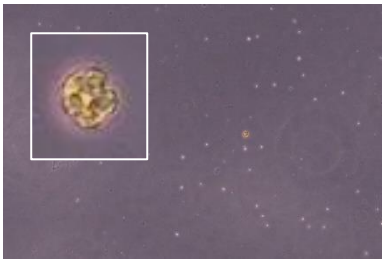
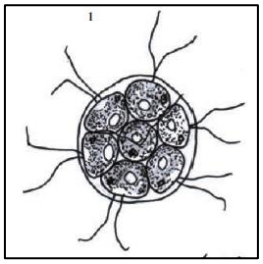
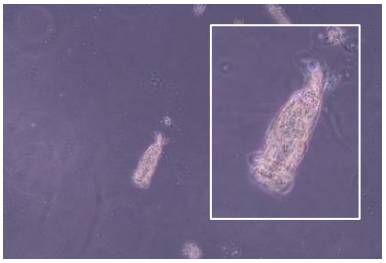
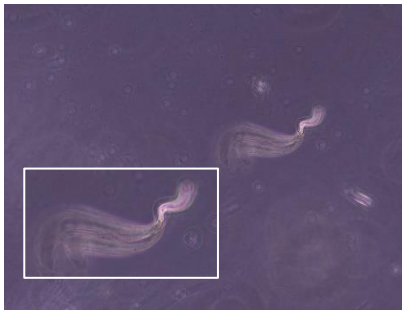
Lampiran C.15 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Bak Sedimentasi

Gambar Pengamatan	**Gambar Pembanding dari Sumber Bacaan**	**Taksonomi**
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Vorticellidae* *Genus* : *Vorticella* *Spesies* : *Vorticella sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Epistylidae* *Genus* : *Epistylis* *Spesies* : *Epistylis sp.*

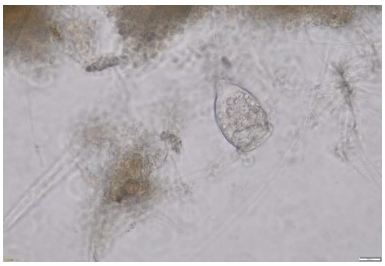
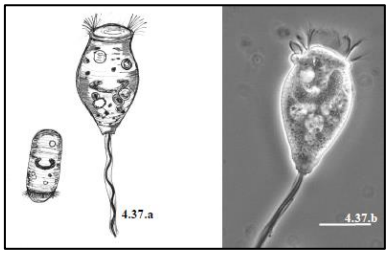
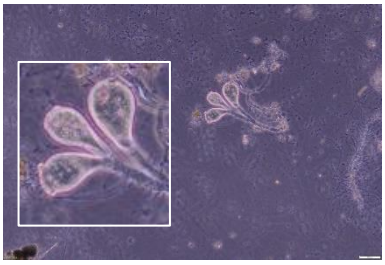
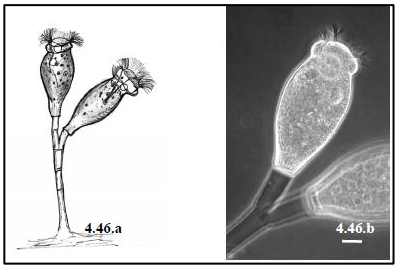
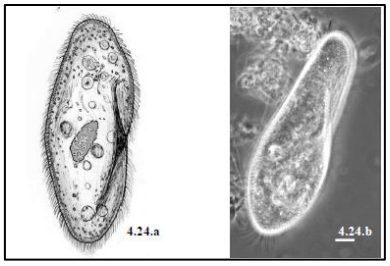
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Parameciidae* *Genus* : *Paramecium* *Spesies* : *Paramecium aurelia*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Litostomatea* *Ordo* : *Pleurostomatida* *Family* : *Litonotidae* *Genus* : *Litonotus* *Spesies* : *Litonotus sp.*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB4/PCD2905/htmls/61.html)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Phyllopharyngea* *Ordo* : *Chlamydodontida* *Family* : *Chilodonellidae* *Genus* : *Chilodonella* *Spesies* : *Chilodonella sp.*

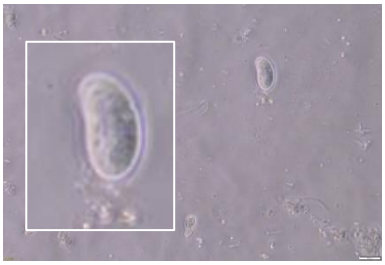
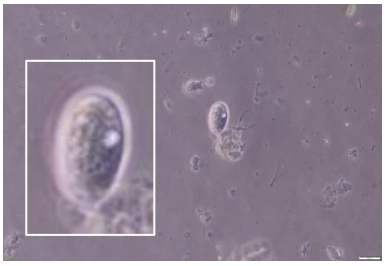
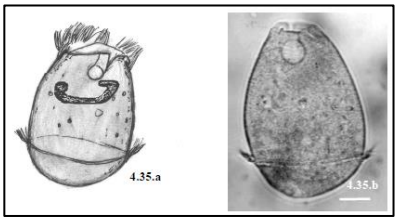
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Discosea* *Class* : *Ordo* : *Longamoebia* *Family* : *Genus* : *Mayorella* *Spesies* : *Mayorella sp.*
	 (Sumber : Phyu & Moe, 2019)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Euglenozoa* *Class* : *Eulenida* *Ordo* : *Euglenales* *Family* : *Phacaceae* *Genus* : *Phacus* *Spesies* : *Phacus orbicularis*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/PCD1784/htmls/31.html)	*Kingdom : Viridiplantae* *Phylum* : *Chlorophyta* *Class* : *Ulvophyceae* *Ordo* : *Ulotrichales* *Family* : *Ulotrichaceae* *Genus* : *Ulothrix* *Spesies* : *Ulothrix sp.*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB4/PCD2863/htmls/49.html)	*Kingdom : Viridiplantae* *Phylum* : *Chlorophyta* *Class* : *Chlorophyceae* *Ordo* : *Chlamydomonadales* *Family* : *Chlorococcaceae*

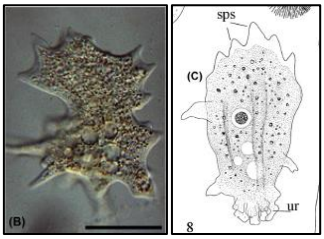
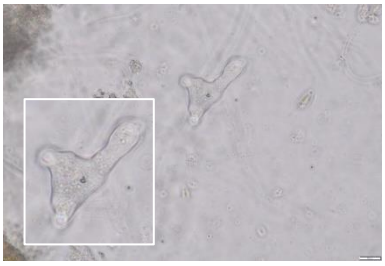
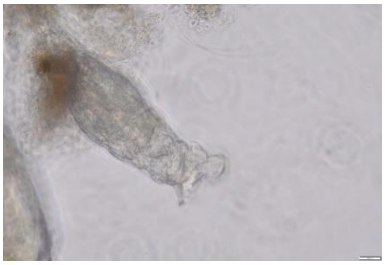
		Genus : *Characium* *Spesies* : *Characium sp.*
	 (Sumber : https://www.youtube.com/watch?v=Gj_vxWMOv8o)	*Kingdom : Chromista* *Phylum* : *Bacillariophyta* *Class* : *Bacillariophyceae* *Ordo* : *Naviculales* *Family* : *Naviculaceae* *Genus* : *Navicula* *Spesies* : *Navicula sp.*
	 (Sumber : https://www.sciencephoto.com/media/1243962/view/caloneis-freshwater-diatom-light-micrograph)	*Kingdom : Chromista* *Phylum* : *Bacillariophyta* *Class* : *Bacillariophyceae* *Ordo* : *Naviculales* *Family* : *Naviculaceae* *Genus* : *Caloneis* *Spesies* : *Caloneis sp.*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB3/PCD3599/htmls/92.html)	*Kingdom* : *Monera* *Phylum* : *Cyanobacteria* *Class* : *Cyanophycecae* *Ordo* : *Synechococcales* *Family* : *Coleosphaeriaceae* *Genus* : *Coleosphaerium* *Spesies* : *Coelosphaerium sp..*

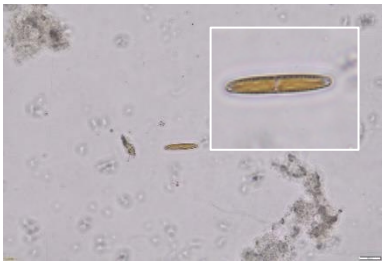
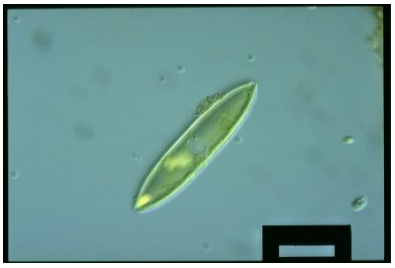
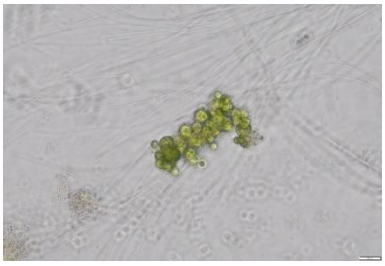
	 (Sumber : Bellinger & Sigee , 2010)	*Kingdom* : *Viridiplantae* *Phylum* : *Chlorophyta* *Class* : *Chlorophyceae* *Ordo* : *Chlamydomonadales* *Family* : *Volvocaceae* *Genus* : *Pandorina* *Spesies* : *Pandorina sp.*
	 (Sumber : Lukashanets *et* al, 2022)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Rotifera* *Class* : *Eurotatoria* *Ordo* : *Philodinida* *Family* : *Philodinida* *Genus* : *Philodinidae* *Spesies* : *Philodinidae gregaria*
	 (Sumber : Condori *et* al, 2021)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Nematoda* *Class* : *Chromadorea* *Ordo* : *Rhabditida* *Family* : *Hoplolaimidae* *Genus* : *Helicotylenchus* *Spesies* : *Helicotylencuhus sp.*

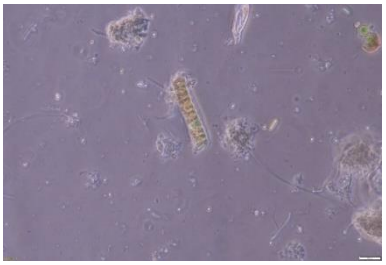
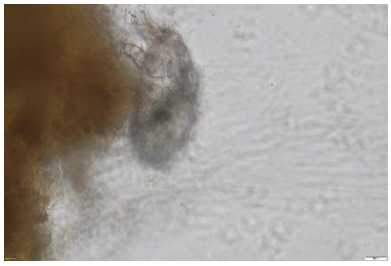
Lampiran C.16 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm Bagian Awal

Gambar Pengamatan	Gambar Pembanding dari Sumber Bacaan	Taksonomi
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Vorticellidae* *Genus* : *Vorticella* *Spesies* : *Vorticella sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Epistylidae* *Genus* : *Epistylis* *Spesies* : *Epistylis sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Parameciidae* *Genus* : *Paramecium* *Spesies* : *Paramecium aurelia*

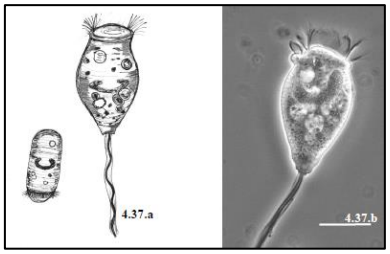
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB4/PCD2905/htmls/61.html)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Phyllopharyngea* *Ordo* : *Chlamydodontida* *Family* : *Chilodonellidae* *Genus* : *Chilodonella* *Spesies* : *Chilodonella sp.*
	 (Sumber : https://eol.org/pages/50033698)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Clathrostomatidae* *Genus* : *Clathrostoma* *Spesies* : *Clathrostoma sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Opisthonectidae* *Genus* : *Opisthocea* *Spesies* : *Opisthocea henneguyi*

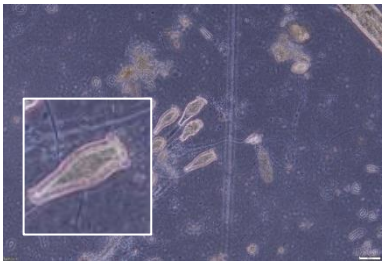
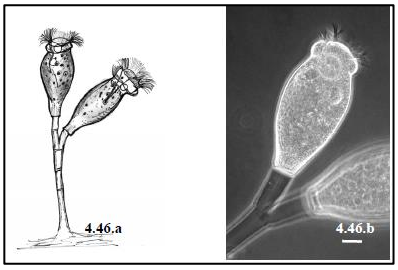
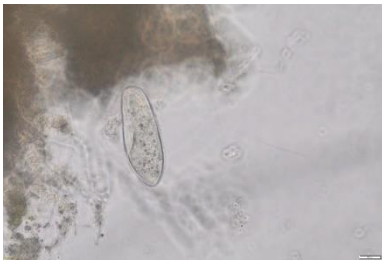
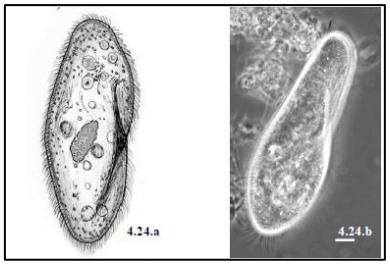
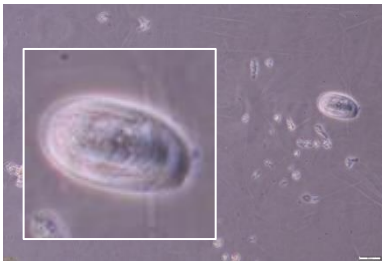
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Discosea* *Class* : *Ordo* : *Longamoebia* *Family* : *Genus* : *Mayorella* *Spesies* : *Mayorella sp.*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Tubulinea* *Class* : *Elardia* *Ordo* : *Euamoebida* *Family* : *Amoebidae* *Genus* : *Amoeba* *Spesies* : *Amoeba proteus*
	 (Sumber : Lukashanets *et* al, 2022)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Rotifera* *Class* : *Eurotatoria* *Ordo* : *Philodinida* *Family* : *Philodinida* *Genus* : *Philodinidae* *Spesies* : *Philodinidae gregaria*
	 (Sumber : https://inaturalist.nz/taxa/501692-Naidinae/browse_photos)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Annelida* *Class* : *Clitellata* *Ordo* : *Tubificida* *Family* : *Naididae* *Genus* : *Stylaria* *Spesies* : *Stylaria sp.*

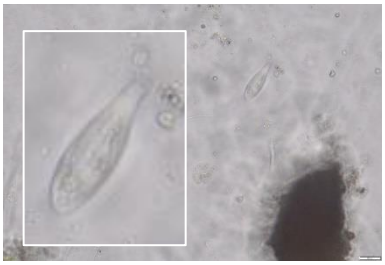
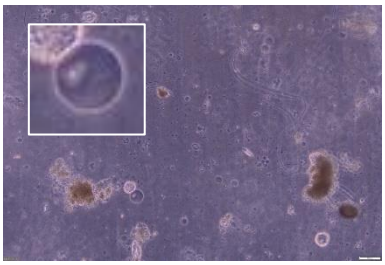
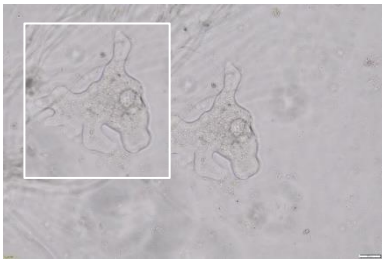
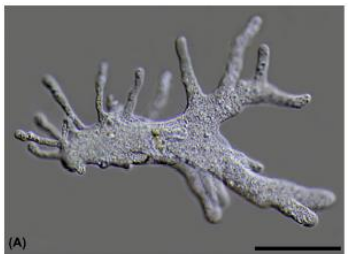
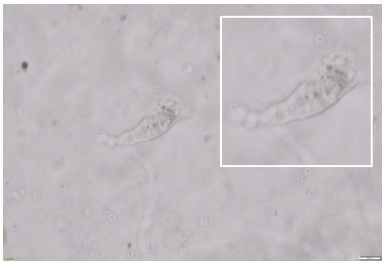
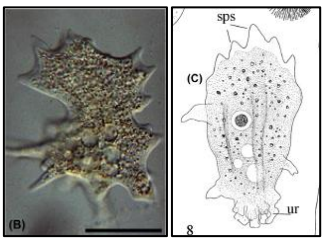
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Heterokontophyta/Raphidineae/Amphipleura/sp_2.html)	*Kingdom* : *Chromista* *Phylum* : *Bacillariophyta* *Class* : *Bacillariophyceae* *Ordo* : *Naviculales* *Family* : *Amphipleuraceae* *Genus* : *Amphipleura* *Spesies* : *Amphipleura sp.*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB4/PCD0507/htmls/67.html)	*Kingdom* : *Chromista* *Phylum* : *Bacillariophyta* *Class* : *Bacillariophyceae* *Ordo* : *Bacillariales* *Family* : *Bacillariaceae* *Genus* : *Nitzschia* *Spesies* : *NItzschia sp.*
	 (Sumber : https://ccala.butbn.cas.cz/en/chlorella-cf-minutissima-fott-et-novakova-0)	*Kingdom* : *Viridiplantae* *Phylum* : *Chlorophyta* *Class* : *Trebouxiophyceae* *Ordo* : *Chlorellales* *Family* : *Chlorellaceae* *Genus* : *Chlorella* *Spesies* : *Chlorella Minutissima*

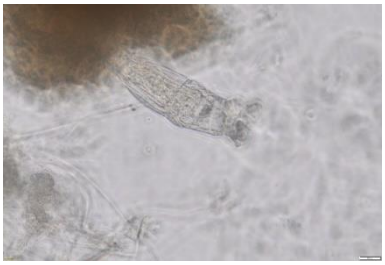
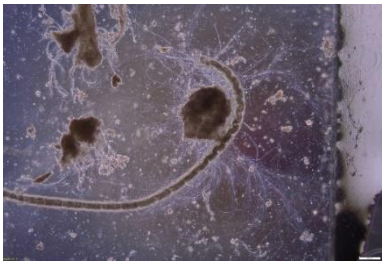
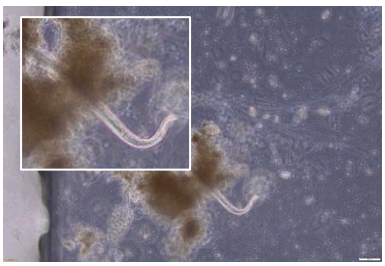
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/PCD1784/htmls/31.html)	*Kingdom* : *Viridiplantae* *Phylum* : *Chlorophyta* *Class* : *Ulvophyceae* *Ordo* : *Ulotrichales* *Family* : *Ulotrichaceae* *Genus* : *Ulothrix* *Spesies* : *Ulothrix sp.*
	 (Sumber : https://www.ncvetp.org/arthropods/mites)	*Kingdom* : *Animalia* *Phylum* : *Arthropoda* *Class* : *Arachnida* *Ordo* : *Trombidiformer* *Family* : *Cheyletidae* *Genus* : *Cheyletiella* *Spesies* : *Cheyletiella sp.*

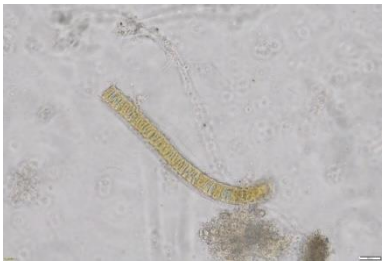
Lampiran C.17 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm Bagian Tengah

Gambar Pengamatan	**Gambar Pembanding dari Sumber Bacaan**	**Taksonomi**
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Vorticellidae* *Genus* : *Vorticella* *Spesies* : *Vorticella sp.*

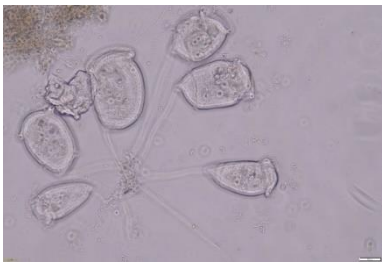
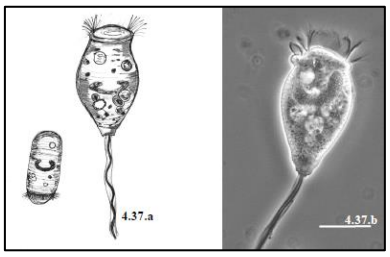
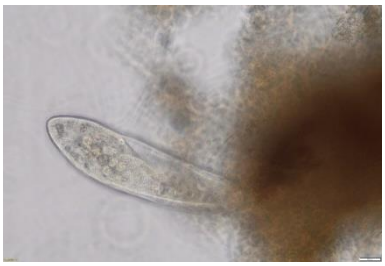
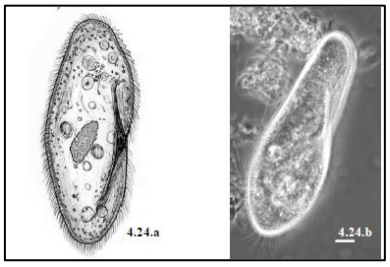
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Epistylidae* *Genus* : *Epistylis* *Spesies* : *Epistylis sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Parameciidae* *Genus* : *Paramecium* *Spesies* : *Paramecium aurelia*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB4/PCD2905/htmls/61.html)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Phyllopharyngea* *Ordo* : *Chlamydodontida* *Family* : *Chilodonellidae* *Genus* : *Chilodonella* *Spesies* : *Chilodonella sp.*

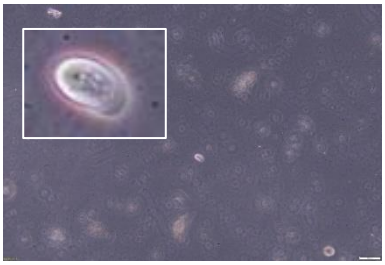
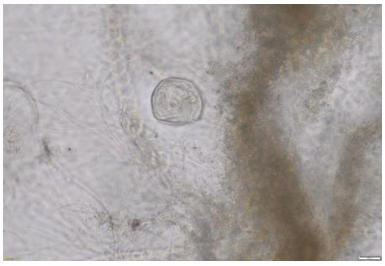
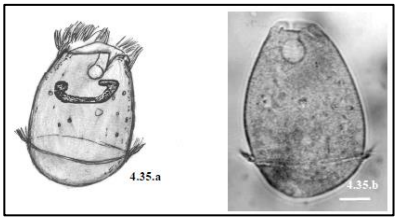
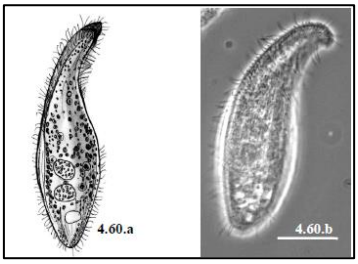
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Ciliophora/Spathidium/sp_12.html)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Litostomatea* *Ordo* : *Haptorida* *Family* : *Spathidiidae* *Genus* : *Spathidium* *Spesies* : *Spathidium sp.*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Tubulinea* *Class* : *Elardia* *Ordo* : *Arcellinida* *Family* : *Arcellidae* *Genus* : *Arcella* *Spesies* : *Arcella sp.*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Tubulinea* *Class* : *Elardia* *Ordo* : *Euamoebida* *Family* : *Amoebidae* *Genus* : *Amoeba* *Spesies* : *Amoeba proteus*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Discosea* *Class* : *Ordo* : *Longamoebia* *Family* : *Genus* : *Mayorella* *Spesies* : *Mayorella sp.*

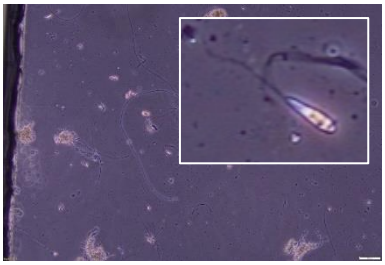
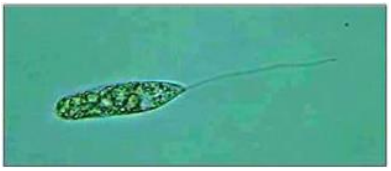
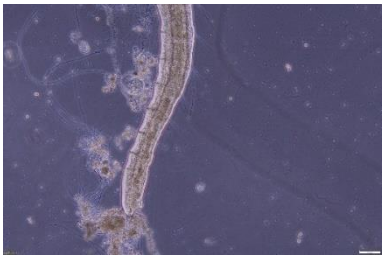
	 (Sumber : Lukashanets *et* al, 2022)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Rotifera* *Class* : *Eurotatoria* *Ordo* : *Philodinida* *Family* : *Philodinida* *Genus* : *Philodinidae* *Spesies* : *Philodinidae gregaria*
	 (Sumber : https://inaturalist.nz/taxa/501692-Naidinae/browse_photos)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Annelida* *Class* : *Clitellata* *Ordo* : *Tubificida* *Family* : *Naididae* *Genus* : *Stylaria* *Spesies* : *Stylaria sp.*
	 (Sumber : Condori *et* al, 2021)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Nematoda* *Class* : *Chromadorea* *Ordo* : *Rhabditida* *Family* : *Hoplolaimidae* *Genus* : *Helicotylenchus* *Spesies* : *Helicotylencuhus sp.*

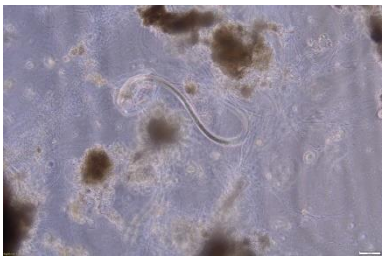
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/PCD1784/htmls/31.html)	*Kingdom* : *Viridiplantae* *Phylum* : *Chlorophyta* *Class* : *Ulvophyceae* *Ordo* : *Ulotrichales* *Family* : *Ulotrichaceae* *Genus* : *Ulothrix* *Spesies* : *Ulothrix sp.*

Lampiran C.18 Analisis Taksonomi Protozoa, Metazoa, dan Alga pada Biofilm Bagian Akhir

Gambar Pengamatan	**Gambar Pembanding dari Sumber Bacaan**	**Taksonomi**
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Vorticellidae* *Genus* : *Vorticella* *Spesies* : *Vorticella sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Peniculida* *Family* : *Parameciidae* *Genus* : *Paramecium* *Spesies* : *Paramecium aurelia*

	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB4/PCD2905/htmls/61.html)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Phyllopharyngea* *Ordo* : *Chlamydodontida* *Family* : *Chilodonellidae* *Genus* : *Chilodonella* *Spesies* : *Chilodonella sp.*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Oligohymenophorea* *Ordo* : *Sessilida* *Family* : *Opisthonectidae* *Genus* : *Opisthocea* *Spesies* : *Opisthocea henneguyi*
	 (Sumber : Serrano, 2008)	*Kingdom : Protista* *Phylum* : *Ciliate* *Class* : *Litostomatea* *Ordo* : *Pleurostomatida* *Family* : *Litonotidae* *Genus* : *Litonotus* *Spesies* : *Litonotus sp.*

	 (Sumber : Aziz, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Flagellata* *Class* : *Euglenida* *Ordo* : *Heteronematina* *Family* : *Peranemida* *Genus* : *Peranema* *Spesies* : *Peranema sp.*
	 (Sumber : Kuppers et al, 2020)	*Kingdom* : *Protista* *Phylum* : *Amoeba* *Class* : *Elardia* *Ordo* : *Euamoebida* *Family* : *Harymannellidae* *Genus* : *Saccamoeba* *Spesies* : *Saccamoeba sp.*
	 (Sumber : https://inaturalist.nz/taxa/501692-Naidinae/browse_photos)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Annelida* *Class* : *Clitellata* *Ordo* : *Tubificida* *Family* : *Naididae* *Genus* : *Stylaria* *Spesies* : *Stylaria sp.*
	 (Sumber : Lukashanets *et* al, 2022)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Rotifera* *Class* : *Eurotatoria* *Ordo* : *Philodinida* *Family* : *Philodinida* *Genus* : *Philodinidae*

		Spesies : *Philodinidae gregaria*
	 (Sumber : Condori *et* al, 2021)	*Kingdom* : *Metazoa* *Phylum* : *Nematoda* *Class* : *Chromadorea* *Ordo* : *Rhabditida* *Family* : *Hoplolaimidae* *Genus* : *Helicotylenchus* *Spesies* : *Helicotylencuhus sp.*
	 (Sumber : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/PCD1784/htmls/31.html)	*Kingdom* : *Viridiplantae* *Phylum* : *Chlorophyta* *Class* : *Ulvophyceae* *Ordo* : *Ulotrichales* *Family* : *Ulotrichaceae* *Genus* : *Ulothrix* *Spesies* : *Ulothrix sp.*
	 (Sumber : https://www.youtube.com/watch?v=Gj_vxWMOv8o)	*Kingdom* : *Chromista* *Phylum* : *Bacillariophyta* *Class* : *Bacillariophyceae* *Ordo* : *Naviculales* *Family* : *Naviculaceae* *Genus* : *Navicula* *Spesies* : *Navicula sp.*

Lampiran C. 19 Uji normalitas

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
BOD	.347	6	.023	.728	6	.012
CILIATA	.291	6	.122	.766	6	.028
FLAGELLATA	.338	6	.031	.866	6	.212
RHIZOPODA	.267	6	.200*	.809	6	.070
ROTIFERA	.305	6	.086	.835	6	.118
NEMATODA	.254	6	.200*	.866	6	.212
ANNELIDA	.371	6	.010	.617	6	.001
ALGAE	.257	6	.200*	.894	6	.339
ARTHROPODA	.293	6	.117	.822	6	.091

Lampiran C. 20 Uji linieritas ciliata

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
CILIATA * BOD	Between Groups	(Combined)	35150.000	3	11716.667	.586	.680
	Within Groups		40014.000	2	20007.000		
	Total		75164.000	5			

Lampiran C. 21 Uji linieritas flagellata

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
FLAGELLATA * BOD	Between Groups	(Combined)	8.667	3	2.889	2.167	.331
	Within Groups		2.667	2	1.333		
	Total		11.333	5			

Lampiran C. 22 Uji linieritas rhizopoda

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
RHIZOPODA * BOD	Between Groups	(Combined)	4.167	3	1.389	.321	.815
	Within Groups		8.667	2	4.333		
	Total		12.833	5			

Lampiran C. 23 Uji linieritas rotifera

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ROTIFERA * BOD	Between Groups	(Combined)	459.333	3	153.111	1.042	.524
	Within Groups		294.000	2	147.000		
	Total		753.333	5			

Lampiran C. 24 Uji linieritas nematoda

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NEMATODA * BOD	Between Groups	(Combined)	5.333	3	1.778	.593	.677
	Within Groups		6.000	2	3.000		
	Total		11.333	5			

Lampiran C. 25 Uji linieritas annelida

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ANNELIDA * BOD	Between Groups	(Combined)	80.667	3	26.889	.311	.820
	Within Groups		172.667	2	86.333		
	Total		253.333	5			

Lampiran C. 26 Uji linieritas alga

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ALGAE * BOD	Between Groups	(Combined)	472.833	3	157.611	52.537	.019
	Within Groups		6.000	2	3.000		
	Total		478.833	5			

Lampiran C. 27 Uji linieritas arthropoda

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ARTHROPODA * BOD	Between Groups	(Combined)	2.667	3	.889	2.667	.284
	Within Groups		.667	2	.333		
	Total		3.333	5			

Lampiran C. 28 Uji korelasi ciliata

Correlations

			BOD	CILIATA
Spearman's rho	BOD	Correlation Coefficient	1.000	-.577
		Sig. (2-tailed)	.	.231
		N	6	6
	CILIATA	Correlation Coefficient	-.577	1.000
		Sig. (2-tailed)	.231	.
		N	6	6

Lampiran C. 29 Uji korelasi flagellata

Correlations

			BOD	FLAGELATA
Spearman's rho	BOD	Correlation Coefficient	1.000	.226
		Sig. (2-tailed)	.	.667
		N	6	6
	FLAGELATA	Correlation Coefficient	.226	1.000
		Sig. (2-tailed)	.667	.
		N	6	6

Lampiran C. 30 Uji korelasi rhizopoda

Correlations

			BOD	RHIZOPODA
Spearman's rho	BOD	Correlation Coefficient	1.000	.290
		Sig. (2-tailed)	.	.577
		N	6	6
	RHIZOPODA	Correlation Coefficient	.290	1.000
		Sig. (2-tailed)	.577	.
		N	6	6

Lampiran C. 31 Uji korelasi rotifera

Correlations

			BOD	ROTIFERA
Spearman's rho	BOD	Correlation Coefficient	1.000	-.577
		Sig. (2-tailed)	.	.231
		N	6	6
	ROTIFERA	Correlation Coefficient	-.577	1.000
		Sig. (2-tailed)	.231	.
		N	6	6

Lampiran C. 32 Uji korelasi nematoda

Correlations

			BOD	NEMATODA
Spearman's rho	BOD	Correlation Coefficient	1.000	.063
		Sig. (2-tailed)	.	.906
		N	6	6
	NEMATODA	Correlation Coefficient	.063	1.000
		Sig. (2-tailed)	.906	.

		N	6	6

Lampiran C. 33 Uji korelasi annelida

Correlations

			BOD	ANNELIDA
Spearman's rho	BOD	Correlation Coefficient	1.000	-.290
		Sig. (2-tailed)	.	.577
		N	6	6
	ANNELIDA	Correlation Coefficient	-.290	1.000
		Sig. (2-tailed)	.577	.
		N	6	6

Lampiran C. 34 Uji korelasi algae

Correlations

			BOD	ALGAE
Spearman's rho	BOD	Correlation Coefficient	1.000	.031
		Sig. (2-tailed)	.	.954
		N	6	6
	ALGAE	Correlation Coefficient	.031	1.000
		Sig. (2-tailed)	.954	.
		N	6	6

Lampiran C. 35 Uji korelasi arthropoda

Correlations

			BOD	ARTHROPODA
Spearman's rho	BOD	Correlation Coefficient	1.000	-.295
		Sig. (2-tailed)	.	.570
		N	6	6
	ARTHROPODA	Correlation Coefficient	-.295	1.000
		Sig. (2-tailed)	.570	.
		N	6	6

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Asandalista Ahmad Pangestu yang lahir di Gunungkidul, 26 Juli 2000. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dengan satu adik perempuan bernama Berthandalista Azmi. Penulis lahir dari pasangan Warsito, S.T dan Sulistiyani, S.Pd., M.Pd. Penulis mengawali pendidikan di TK PKK Bedoyo selama 2 tahun (2005-2007), lalu melanjutkan pendidikan ke jenjang Sekolah Dasar di SDN Bedoyo selama enam tahun (2007-2013), kemudian penulis melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Ponjong selama tiga tahun (2013-2016), dan penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah atasnya di SMAN 1 Karangmojo selama 3 tahun (2016-1019). Setelah lulus SMA penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Islam Indonesia, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan program studi Teknik Lingkungan.

Selain kegiatan bidang akademik penulis juga aktif mengikuti organisasi. Penulis secara aktif terlibat dalam organisasi Ikatan Mahasiswa teknik Lingkungan (IMTLI) dan menjabat sebagai staff pengabdian masyarakat pada tahun periode 2021-2022. Selain itu, sejak November 2022 penulis juga tergabung sebagai asisten *technical sampling* oleh Laboratorium Kualitas Lingkungan UII. Penulis juga penah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Pengelolaan sampah di semester 7.