

**TUGAS AKHIR - RE184804**

**OPTIMASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
INDUSTRI PEMERAHAN SAPI MENGGUNAKAN *MOVING  
BED BIOFILM REACTOR* (STUDI KASUS: IPAL MILKING PT  
X)**

**ADHIOLA KUSUMONINGRAT NUGROHO**

**NRP. 0321184000002**

**Dosen Pembimbing**

**Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.**

**NIP. 19600308 198903 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**

**Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2022**





**TUGAS AKHIR - RE184804**

**OPTIMASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH  
INDUSTRI PEMERAHAN SAPI MENGGUNAKAN *MOVING  
BED BIOFILM REACTOR* (STUDI KASUS: IPAL MILKING PT  
X)**

**ADHIOLA KUSUMONINGRAT NUGROHO**

**NRP. 03211840000002**

Dosen Pembimbing

**Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.**

**NIP. 19600308 198903 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**

Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022





**FINAL PROJECT - RE184804**

**MILKING INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT PLANT  
OPTIMATION USING MOVING BED BIOFILM REACTOR  
(CASE STUDY: PT X'S MILKING WASTEWATER  
TREATMENT PLANT)**

**ADHIOLA KUSUMONINGRAT NUGROHO**

**NRP. 03211840000002**

Advisor

**Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.**

**NIP. 19600308 198903 1 001**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

Faculty of Civil, Planning, and Geoengineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## LEMBAR PENGESAHAN

### OPTIMASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI PEMERAHAN SAPI MENGGUNAKAN *MOVING BED BIOFILM REACTOR* (STUDI KASUS: IPAL MILKING PT X)

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

Oleh: **ADHIOLA KUSUMONINGRAT NUGROHO**  
NRP. 0321184000002

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D
2. Ir. Bowo Djoko Marsono, M. Eng
3. IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D
4. Alfian Purnomo, S.T., M.T.

Pembimbing

Penguji

Penguji

Penguji







## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Adhiola Kusumoningrat Nugroho / 0321184000002  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D. / NIP.  
19600308 198903 1 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Optimasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (Studi Kasus: IPAL Milking PT X)" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

Mahasiswa,



(Ir. Eddy Setiadi Soedjono, M.Sc., Ph.D)

NIP. 19600308 198903 1 001



(Adhiola Kusumoningrat Nugroho)

NRP. 03211840000002

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**OPTIMASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI PEMERAHAN  
SAPI MENGGUNAKAN *MOVING BED BIOFILM REACTOR* (STUDI KASUS: IPAL  
MILKING PT X)**

**Nama Mahasiswa / NRP : Adhiola Kusumoningrat Nugroho / 0321184000002**  
**Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK – ITS**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.**

**Abstrak**

PT X adalah perusahaan peternakan sapi terbesar di Asia Tenggara. PT X diperkirakan dapat memproduksi susu hingga 45 juta liter tiap tahun. Dalam kegiatan pemerahan susu, diproduksi limbah cair yang berasal dari kegiatan pencucian kain untuk pembersihan puting susu dan kegiatan pembilasan silo penampung susu. Hasil dari analisa air limbah menunjukkan kadar COD maksimum 7534,2 mg/L, BOD 2251 mg/L, dan Amonia 35,48 mg/L. Air limbah tersebut diolah secara terpusat menggunakan IPAL Milking PT X yang menggunakan sistem lumpur aktif. IPAL Milking PT X didesain memiliki kapasitas 20 m<sup>3</sup>/hari. Permasalahan yang terjadi adalah IPAL mengalami kondisi *sludge bulking*, sehingga pengendapan lumpur sangat buruk dan melimpah menuju *outlet* bak sedimentasi menuju unit selanjutnya. Hal ini mengakibatkan kualitas pengolahan lumpur aktif tidak berjalan optimal dan hasil pengolahan masih sering keruh dan berbau. Salah satu solusi untuk mengurangi kondisi *sludge bulking* adalah penggunaan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Pertumbuhan mikroorganisme akan menerapkan sistem terlekat pada media MBBR, sehingga produksi lumpur dapat berkurang, kualitas pengendapan lumpur lebih baik, dan mengurangi kondisi *sludge bulking*. Penelitian ini bertujuan untuk (1) menentukan kemampuan MBBR dalam meningkatkan penyisihan COD dan mengurangi *sludge bulking* (2) menganalisa waktu aerasi optimum (3) menganalisa *media filling ratio* optimum.

Contoh uji air limbah diambil dari Bak Kontrol CIP IPAL Milking PT X. Sumber mikroorganisme berasal dari *bio-starter* EM4. Penelitian dilakukan pada reaktor dengan sistem *continous flow*. Reaktor terdiri dari reaktor MBBR yang terbuat dari bak plastik berdiameter 24 cm dengan tinggi air efektif 22,5 cm dan bak sedimentasi dari bak plastik berdiameter 24 cm dengan tinggi air efektif 13,5 cm. Variasi waktu aerasi adalah 4 jam; 8,5 jam; dan 17 jam. Variasi volume pengisian media atau *media filling ratio* adalah 25%, 40%, dan 50% dari volume reaktor. Media MBBR menggunakan Media Kaldness K1. Parameter yang dianalisis adalah COD, Amonia, TSS, dan Kekeruhan sebelum air limbah diolah dan sesudah air limbah diolah secara *time series*.

Berdasarkan hasil penelitian, waktu aerasi optimum adalah pada 8,5 jam. *Media filling ratio* optimum adalah 40% untuk parameter COD dan TSS, 50% untuk SVI dan Kekeruhan, serta 25% untuk Ammonia.

**Kata Kunci: *Media Filling Ratio*, *Media Kaldness K1*, *Moving Bed Biofilm Reactor*, *Sludge Bulking*, dan Waktu Aerasi**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **MILKING INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT PLANT OPTIMIZATION USING MOVING BED BIOFILM REACTOR (CASE STUDY: PT X'S MILKING WASTEWATER TREATMENT PLANT)**

**Student Name / NRP** : Adhiola Kusumoningrat Nugroho / 0321184000002  
**Department** : Environmental Engineering CIVPLAN – ITS  
**Advisor** : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

## **Abstract**

PT X is one of the biggest dairy farms in Southeast Asia. Approximately, PT X could produce 45 million liters of milk in each year. During the milking process, it produces wastewater that comes from cleansing clothes laundry and milk tank container cleaning-in-place (CIP). Laboratories analysis shows that maximum concentrations of COD are 7534,2 mg/L, BOD 2251 mg/L, and Ammonia 35,48 mg/L. Those wastewaters were treated centrally using Activated Sludge System IPAL Milking PT X (PT X Milking WWTP). IPAL Milking PT X was designed for treating 20 m<sup>3</sup>/day of wastewater. The problem that happened on that WWTP is experiencing sludge bulking condition, resulting poor sludge settling then overflowing to the next unit. This condition made activated sludge treatment poor and the effluent often turbid and stinky. One of solutions to minimize this problem is by utilizing Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). Microorganism growth method will be implemented attached growth at MBBR media, so sludge production could be minimized then minimizing sludge bulking condition. This research aims to (1) determine MBBR performance on increasing COD removal and minimizing sludge bulking conditions (2) analyze optimum aeration time (3) analyze optimum media filling ratio optimum.

Wastewater sample was taken from “Bak Kontrol CIP IPAL Milking PT X”. Bio-starter EM4 was used as microorganism source. The research reactor was continuous flow operated. The research reactor consists of MBBR reactor that made from plastic container with 24 cm on diameter and 22,5 cm on effective water level; and sedimentation unit that also made from plastic container with 24 cm on diameter and 13,5 cm on effective water level. Aeration time variation were 4 hours; 8,5 hours; and 17 hours long. Media filling ratio variation were 25%; 40%; and 50% of reactor volume. Kaldness K1 type was used as MBBR Media. Parameters analyzed were COD, Ammonia, TSS, and Turbidity pre-treated and post-treated.

Research showed that the most optimum aeration time is at 8,5 hours. The most optimum media filling ratio is 40% for COD and TSS, 50% for SVI and Turbidity, and 25% for Ammonia.

**Keyword: Aeration Time, Kaldness K1 Media, Media Filling Raio, Moving Bed Biofilm Reactor, and Sludge Bulking**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberi ilmu, perlindungan, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Optimasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (Studi Kasus: IPAL Milking PT X)”** dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran pembuatan laporan tugas akhir, yakni:

1. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D sebagai dosen pembimbing tugas akhir yang telah bersedia dengan sabar untuk memberikan motivasi, bantuan, bimbingan, dan ilmu selama pengerjaan tugas akhir.
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng, Ibu IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D., dan Bapak Alfian Purnomo, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan ilmu selama pengerjaan tugas akhir.
3. Seluruh pihak dari PT X yang mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian terkait lingkungan PT X.
4. Bapak Dr. Arie Dipareza Syafei., S.T., MEPM., selaku Kepala Departemen Teknik Lingkungan FTSPK ITS.
5. Orang tua, adik, dan keluarga penulis yang telah memberikan doa, motivasi, dan bantuan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir.
6. Afaz, Halif, Teguh, dan Natasya sebagai teman penulis yang telah membantu dalam *sampling* air limbah.
7. Fajrul, Bonifasius, Carissa, Elfira, Halif, Iftinan, Afaz, dan Vania sebagai teman penulis yang telah membantu dalam analisa laboratorium.
8. Teman-teman penulis yang telah memberikan semangat dan bantuan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu memeberikan dukungan kepada penulis.

Penulis sangat terbuka akan kritik dan saran sehingga dapat membangun penulis agar selalu menjadi lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, pihak PT X, pihak terkait lainnya, dan pembaca.

Surabaya, Juni 2022

Penulis

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I: PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat .....	3
BAB II: TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gambaran Umum Instalasi Pengolahan Air Limbah Eksisting .....	5
2.2 Tipikal Sistem Pengolahan dan Permasalahan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu.....	7
2.3 Sludge Bulking.....	8
2.3.1 Filamentous Bulking .....	8
2.3.2 Viscous Bulking .....	9
2.4 Sludge Volumetric Index (SVI) sebagai Indikator Kualitas Pengendapan .....	9
2.5 Metode Pencegahan Sludge Bulking .....	10
2.5.1 Kontrol DO dan Rasio F/M.....	10
2.5.2 Kontrol Rasio COD:N dan COD:P .....	10
2.5.3 Injeksi Bahan Kimia.....	10
2.5.4 Penambahan Tahap Pengolahan secara Anaerobik .....	10

2.5.5	Penggunaan MBBR.....	11
2.6	Konsep Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) .....	11
2.7	Perbandingan MBBR dengan Alternatif Lain.....	13
2.8	Kemampuan MBBR dalam Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu.....	15
2.9	Kriteria Desain MBBR.....	15
BAB III: METODE PENELITIAN.....		17
3.1	Kerangka Penelitian .....	17
3.2	Analisa Peforma IPAL Eksisting .....	18
3.3	Persiapan Alat dan Bahan .....	19
3.4	Pembuatan Reaktor MBBR.....	20
3.5	Seeding dan Aklimatisasi.....	21
3.6	Penelitian Utama.....	22
3.7	Analisis dan Pembahasan.....	23
3.8	Kesimpulan .....	23
BAB IV: ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1	Analisis Peforma IPAL Eksisting .....	25
4.2	Seeding dan Aklimatisasi.....	25
4.3	Pelaksanaan Penelitian Utama .....	28
4.3.1	Hasil Analisa Konsentrasi MLSS dalam Reaktor .....	28
4.3.2	Hasil Analisa Nilai SVI dalam Reaktor .....	29
4.3.3	Hasil Analisa Konsentrasi COD Effluen Reaktor .....	32
4.3.4	Hasil Analisa Konsentrasi TSS Effluen Reaktor.....	34
4.3.5	Hasil Analisa Konsentrasi Amonia Effluen Reaktor.....	36
4.3.6	Hasil Analisa Kekeruhan Effluent Reaktor .....	39
4.3.7	Hasil Analisa pH dalam Reaktor .....	40
4.3.8	Hasil Analisa Temperatur dalam Reaktor .....	40
4.3.9	Hasil Analisa DO dalam Reaktor .....	41
4.4	Analisa Pengaruh Variasi Waktu Aerasi dan Variasi Media Filling Ratio Terhadap Parameter COD, TSS, dan Ammonia .....	42

4.5	Ringkasan Variasi Waktu Aerasi dan Variasi Media Filling Ratio Optimum untuk Kinerja MBBR.....	47
BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN .....		49
5.1	Kesimpulan .....	49
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....		51
LAMPIRAN A: METODE ANALISA PARAMETER.....		55
A.1	Analisa Chemical Oxygen Demand (COD) dengan Metode Refluks Terbuka secara Titrimetri (SNI 06-6989.15-2004) .....	55
A.2	Analisa Amonia dengan Metode Nessler.....	57
A.3	Analisa Derajat Keasaman (pH) dengan Alat pH Meter (SNI 06-6989.11-2004).....	58
A.4	Analisa Padatan Tersuspensi Total (TSS) secara Gravimetri (SNI 06-6989.3-2004).....	59
A.5	Analisa Indeks Lumpur Volumetrik atau Sludge Volume Indeks (Standard Method 2710D).....	61
A.6	Analisa Kekeruhan dengan Metode Nefelometer (SNI 06-6989.25-2005).....	62
LAMPIRAN B: DATA HASIL ANALISA LABORATORIUM.....		63
B.1	Hasil Analisa COD Effluent.....	63
B.2	Hasil Analisa MLSS Reaktor .....	64
B.3	Hasil Analisa Settleable Solid.....	65
B.4	Hasil Analisa SVI.....	66
B.5	Hasil Analisa Kekeruhan Effluent .....	67
B.6	Hasil Analisa TSS Effluent .....	68
B.7	Hasil Analisa Ammonia Effluent .....	69
B.8	Hasil Analisa pH Bak Aerasi .....	69
B.9	Hasil Analisa DO Bak Aerasi .....	71
B.10	Hasil Analisa Temperatur Bak Aerasi.....	71

LAMPIRAN C: HASIL PERHITUNGAN UJI ANOVA DAN TUKEY HSD TIAP	
PARAMETER.....	73
C.1 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 17 Jam.....	73
C.2 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 17 Jam .....	74
C.3 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 8,5 Jam.....	75
C.4 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 8,5 Jam .....	76
C.5 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 4 Jam.....	78
C.6 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 4 Jam .....	79
LAMPIRAN D: DOKUMENTASI PENELITIAN .....	82

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Alir Pengolahan IPAL Milking PT X.....	5
Gambar 2. 2 Kondisi Bak Sedimentasi Eksisting yang mengalami <i>Sludge Bulking</i> .....	6
Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Rasio F/M dan Konsentrasi DO Ideal.....	10
Gambar 2. 4 Konsep Reaktor MBBR dengan Aerator dan Pengaduk Mekanikal .....	12
Gambar 3. 1 Diagram Kerangka Penelitian.....	18
Gambar 3. 2 <i>As Build Sketch</i> Reaktor Penelitian.....	20
Gambar 3. 3 Reaktor Penelitian di Lapangan.....	20
Gambar 3. 4 <i>Peristaltic Pump</i> .....	22
Gambar 4. 1 Kondisi Media Kaldness Awal (Kiri), Media Kaldness yang Telah mengalami Penebalan <i>Biofilm</i> (Tengah), dan Kondisi <i>Diffuser Aerator</i> yang Terselimuti <i>Biofilm</i> (Kanan) .....	26
Gambar 4. 2 <i>Trend</i> Kekeruhan pada Tahap <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	26
Gambar 4. 3 <i>Trend</i> TSS pada Tahap <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	27
Gambar 4. 4 <i>Trend</i> pH Bak Aerasi pada Tahap <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	28
Gambar 4. 5 Konsentrasi MLSS dalam Reaktor pada a) Waktu Aerasi 17 Jam; b) Waktu Aerasi 8,5 Jam; c) Waktu Aerasi 4 Jam.....	29
Gambar 4. 6 Hubungan Variasi <i>Media Filling Ratio</i> terhadap Nilai SVI.....	30
Gambar 4. 7 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai SVI.....	30
Gambar 4. 8 Hubungan Variasi <i>Media Filling Ratio</i> terhadap Nilai <i>Effluent</i> COD .....	33
Gambar 4. 9 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai <i>Effluent</i> COD.....	33
Gambar 4. 10 Hubungan Variasi <i>Media Filling Ratio</i> terhadap Nilai <i>Effluent</i> TSS.....	35
Gambar 4. 11 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai <i>Effluent</i> TSS.....	35
Gambar 4. 12 Hubungan Variasi <i>Media Filling Ratio</i> terhadap Nilai <i>Effluent</i> Ammonia.....	36
Gambar 4. 13 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai <i>Effluent</i> Ammonia.....	36
Gambar 4. 14 Kondisi Lapisan <i>Biofilm</i> Ketika Rasio C/N Tinggi (kiri) dan Ketika Rasio C/N Rendah (kanan).....	38
Gambar 4. 15 Hubungan Variasi <i>Media Filling Ratio</i> terhadap Nilai <i>Effluent</i> Kekeruhan .....	39
Gambar 4. 16 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai <i>Effluent</i> Kekeruhan .....	39
Gambar 4. 17 pH Bak Aerasi pada a) Waktu Aerasi 17 Jam; b) Waktu Aerasi 8 Jam; c) Waktu Aerasi 4,5 Jam .....	40
Gambar 4. 18 Temperatur Bak Aerasi pada a) Waktu Aerasi 17 Jam; b) Waktu Aerasi 8,5 Jam; c) Waktu Aerasi 4 Jam.....	41

Gambar 4. 19 Konsentrasi DO dalam Bak Aerasi ..... 42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Limbah dan Hasil Pengolahan Air Limbah pada IPAL Milking PT X.....	6
Tabel 2. 2 Variasi Karakteristik Air Limbah Industri Pengolahan dan Pemerahan Susu .....	7
Tabel 2. 3 Permasalahan pada Pengolahan Air Limbah Pengolahan Susu dengan Sistem Lumpur Aktif.....	7
Tabel 2. 4 Rentang Nilai SVI dan Dampaknya .....	9
Tabel 2. 5 Tipikal Spesifikasi Teknis Media Kaldnes <i>Biocarrier</i> MBBR .....	12
Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan dari Alternatif Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu.....	13
Tabel 2. 7 Penelitian Terkait Performa MBBR dalam Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu.....	15
Tabel 2. 8 Kriteria Desain MBBR .....	16
Tabel 2. 9 Parameter Operasional MBBR .....	16
Tabel 3. 1 Standar Analisa Parameter Uji .....	19
Tabel 3. 2 Matriks Penelitian.....	22
Tabel 4. 1 Hasil Analisa Karakteristik Awal Limbah Kegiatan Pemerahan Sapi PT X dan <i>Bio-starter</i> EM4 .....	25
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Rata-Rata dan Standar Deviasi Data pada 20 April hingga 26 April 2022 .....	27
Tabel 4. 3 Konsentrasi DO dalam Bak Aerasi .....	42
Tabel 4. 4 Hasil Uji ANOVA dengan Bantuan SPSS .....	43
Tabel 4. 5 Uji Tukey's HSD .....	46
Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Baku Mutu .....	48
Tabel B. 1 Hasil Analisa COD <i>Effluent</i> .....	63
Tabel B. 2 Hasil Analisa MLSS Reaktor.....	64
Tabel B. 3 Hasil Analisa <i>Settleable Solid</i> .....	65
Tabel B. 4 Hasil Analisa SVI .....	66
Tabel B. 5 Hasil Analisa Kekeruhan <i>Effluent</i> .....	67
Tabel B. 6 Hasil Analisa TSS <i>Effluent</i> .....	68
Tabel B. 7 Hasil Analisa Ammonia <i>Effluent</i> .....	69
Tabel B. 8 Hasil Analisa pH Bak Aerasi .....	69
Tabel B. 9 Hasil Analisa DO Bak Aerasi .....	71

Tabel B. 10 Hasil Analisa Temperatur Bak Aerasi.....	71
Tabel C. 1 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 17 Jam.....	73
Tabel C. 2 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 17 Jam .....	74
Tabel C. 3 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 8,5 Jam.....	75
Tabel C. 4 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 8,5 Jam .....	76



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT X adalah perusahaan peternakan sapi yang memiliki dua unit peternakan. Unit peternakan PT X diklaim menjadi peternakan sapi terbesar di Asia Tenggara. Unit peternakan kedua dibangun sejak tahun 2017 di daerah Kabupaten Blitar, Jawa Timur. Unit ini memiliki 23 kandang sehingga diperkirakan mampu menampung hingga 9500 sapi dan memproduksi 45 juta liter susu setiap tahun. Salah satu kegiatan di dalam peternakan ini adalah kegiatan pemerahan susu sapi. Kegiatan pemerahan susu sapi dapat menghasilkan limbah cair yang berasal dari kegiatan pencucian kain untuk membersihkan puting susu sapi dan kegiatan *cleaning-in-place* (CIP) atau pembilasan harian silo penyimpanan susu segar hasil pemerahan. Apabila limbah cair tersebut langsung dibuang menuju badan air, maka badan air penerima dapat mengalami penurunan kandungan oksigen yang dapat mengganggu ekosistem di badan air tersebut (Leonard, 1996).

Pengolahan air limbah kegiatan pemerahan susu sapi umumnya terdiri dari pengolahan fisik-kimia untuk mengurangi kandungan padatan tersuspensi, lemak, dan minyak serta pengolahan biologis untuk mengurangi kandungan organik dalam air limbah. Pengolahan biologis yang telah banyak digunakan pada instalasi pengolahan air limbah industri pemerahan susu sapi adalah sistem lumpur aktif (sistem pertumbuhan mikroba tersuspensi). Namun disamping penggunaannya yang banyak, banyak laporan permasalahan yang terjadi pada pengolahan dengan sistem lumpur aktif terutama permasalahan produksi lumpur yang terlalu banyak, buruknya pengendapan lumpur aktif, penyisihan bahan organik yang tidak efisien, dan timbulnya efek *sludge bulking* sehingga air hasil pengolahan masih buruk (Zkeri *et al.*, 2021). *Sludge bulking* adalah kondisi ketika lumpur aktif terendapkan secara buruk atau gagal terendapkan diikuti dengan terbentuknya scum, busa, dan padatan yang mengapung. Kondisi *Sludge Bulking* ditentukan apabila nilai  $SVI_{30} \geq 150$  mL/g (Donkin, 1997; Qasim & Zhu, 2017). Maka dari itu perlu ada optimasi pengolahan agar memenuhi baku mutu.

Salah satu solusi permasalahan tersebut adalah penggunaan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) sebagai sistem pengolahan biologis. Sistem MBBR diklaim dapat meminimalisir kondisi *sludge bulking* dan menawarkan pengolahan air limbah industri susu yang lebih baik daripada sistem lumpur aktif konvensional dikarenakan prinsip pengolahan MBBR adalah dengan menumbuhkan mikroorganisme dalam media *biocarrier* yang bergerak bebas dalam

bak larutan air limbah sehingga beban padatan pada unit sedimentasi dapat lebih rendah daripada sistem lumpur aktif konvensional (Andreottola *et al.*, 2002). Kelebihan MBBR antara lain dapat meningkatkan kapasitas pengolahan, ukuran yang cukup kecil, meningkatkan kemampuan pengendapan padatan atau bioflok, *head loss* rendah, tidak ada kebutuhan untuk *backwashing*, dan produksi lumpur pada unit pengendapan dapat berkurang sehingga masalah *sludge bulking* juga dapat dikurangi (Sheikh *et al.*, 2019).

Penelitian yang mengolah air limbah industri pemerahan susu menggunakan sistem MBBR secara aerobik dapat mengolah beban COD (*Chemical Oxygen Demand*) maksimum 5,06 kgCOD/m<sup>3</sup>/hari menjadi 0,67 kgCOD/m<sup>3</sup>/hari atau dapat dikatakan efisiensi penyisihan sebesar 97,3% (Andreottola *et al.*, 2002). Penelitian lain menyebutkan bahwa sistem MBBR methanogenic yang dilanjutkan dengan sistem MBBR aerobik dapat menyisihkan COD rata-rata sebesar 93%, NH<sub>4</sub>-N 97%, TKN 99%, dan PO<sub>4</sub>-P 31% (Zkeri *et al.*, 2021). MBBR aerobik juga telah diklaim dapat menyisihkan COD sebesar 98% dari konsentrasi COD awal 600-800 mg O<sub>2</sub>/L setelah 8 jam pengolahan (Santos *et al.*, 2020). Produksi lumpur pada MBBR maksimum mencapai 12,25 gTSS/hari dengan konsentrasi COD awal sebesar 8000 mg/L (Aygün *et al.*, 2008). Namun, pengaruh MBBR dalam peningkatan pengolahan, pengurangan kondisi *sludge bulking*, waktu aerasi optimum, dan *media filling ratio* optimum pada IPAL PT X belum diketahui.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian mengenai performa pengolahan air limbah industri pemerahan susu PT X menggunakan MBBR dengan sumber mikroorganisme yang berasal dari larutan probiotik yang telah dimiliki oleh PT X. MBBR dioperasikan secara aerobik dan *continuous – flow*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut, maka didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan MBBR dalam meningkatkan penyisihan COD dan mengurangi kondisi *sludge bulking* pada IPAL Milking PT X?
2. Berapa waktu aerasi optimum pada pengolahan air limbah dengan sistem MBBR?
3. Berapa *media filling ratio* pada pengolahan air limbah dengan sistem MBBR?

## 1.3 Tujuan

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

1. Menentukan kemampuan MBBR dalam meningkatkan penyisihan COD dan mengurangi kondisi *sludge bulking* pada IPAL Milking PT X.

2. Menganalisa waktu aerasi optimum pada pengolahan air limbah dengan sistem MBBR.
3. Menganalisa *media filling ratio* optimum pada pengolahan air limbah dengan sistem MBBR.

#### **1.4 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian adalah Departemen Teknik Lingkungan FTSPK-ITS.
2. Sampel uji yang digunakan yaitu air limbah pemerahan susu Unit Peternakan Kedua PT X yang berasal dari bak kontrol CIP Silo Susu.
3. Sumber mikroorganisme yang digunakan yaitu *bio-starter* EM4 sebanyak 5% di tiap reaktor.
4. Parameter utama yang dianalisa adalah COD, Amonia, dan pH.
5. Media yang digunakan adalah media Kaldness tipe 1 (K1).
6. Reaktor kontrol yang digunakan berupa reaktor lumpur aktif konvensional *continuous*.

#### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan alternatif untuk meningkatkan performa pengolahan di IPAL Milking PT X eksisting menggunakan MBBR secara aerobik. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjelaskan informasi secara ilmiah mengenai proses MBBR dalam menurunkan konsentrasi organik dan mengurangi kondisi *sludge bulking* di unit IPAL Milking PT X.

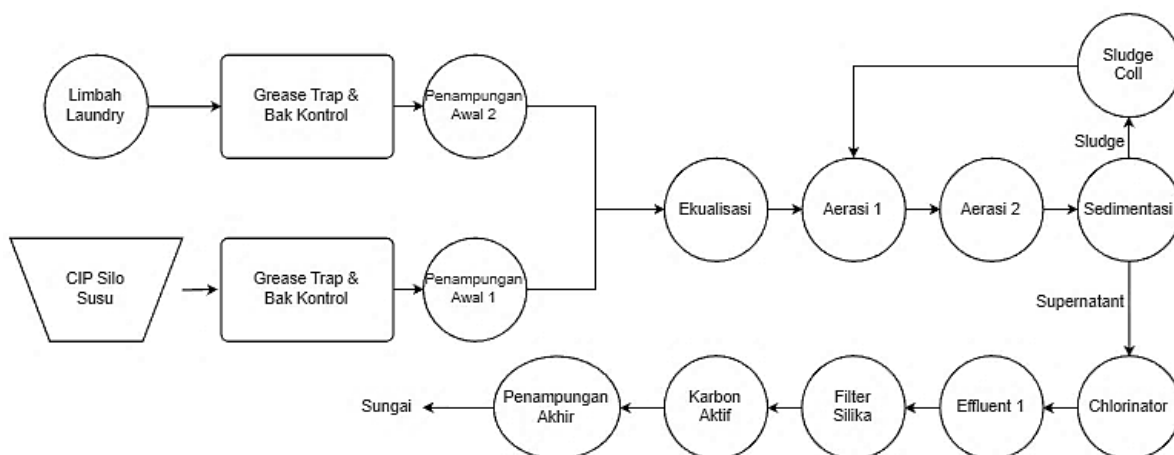
**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gambaran Umum Instalasi Pengolahan Air Limbah Eksisting

IPAL Milking PT X adalah unit instalasi pengolahan air limbah yang berada di area pemerahan susu (Area “Milking”) Unit Peternakan PT X. Air limbah yang diolah berasal dari dua sumber berbeda. Sumber pertama berasal dari air limbah cucian (*laundry*) dari kegiatan pencucian kain yang digunakan untuk membersihkan puting susu sapi sebelum nanti dipasang alat pemerah susu sapi otomatis. Sedangkan sumber kedua, berasal dari air limbah kegiatan *cleaning-in-place* (CIP) atau pembilasan silo penampung susu. IPAL Milking didesain memiliki kapasitas pengolahan sebesar 20 m<sup>3</sup>/hari. Pengolahan air limbah pada instalasi ini terdiri dari pengolahan fisik awal, pengolahan biologis, dan pengolahan lanjutan. Pengolahan fisik awal antara lain Unit *Grease Trap* untuk penyisihan lemak dan Bak Ekualisasi untuk menyamaratakan debit dan konsentrasi. Pengolahan biologis untuk menyisihkan bahan organik secara aerobik terjadi di Bak Aerasi 1 dan 2. Pengolahan lanjutan yang dimaksud adalah filtrasi air limbah dengan filter pasir silika dan adsorpsi air limbah dengan karbon aktif. Diagram alir pengolahan IPAL Milking tersaji pada Gambar 2. 1.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Pengolahan IPAL Milking PT X

Pengolahan biologis pada IPAL ini menggunakan sistem lumpur aktif konvensional aerobik. Pengolahan sistem lumpur aktif adalah pengolahan yang berprinsip sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) yaitu mikroorganisme tumbuh dalam suspensi air limbah. Air limbah akan diaerasi atau diinjeksikan oksigen agar suspensi mikroorganisme dapat mengoksidasi bahan organik secara biologis. Kemudian, mikroorganisme tersebut akan

keluar menuju bak sedimentasi untuk diendapkan. Sebagaimana endapan akan dikembalikan ke bak aerasi menggunakan sistem pompa untuk mengoksidasi bahan organik yang masuk, sementara sebagian lain akan dibawa ke pengolahan lumpur. Air yang lebih jernih (*supernatant*) akan dialirkan menuju unit pengolahan selanjutnya (Qasim & Zhu, 2017).

Karakteristik air limbah dan hasil pengolahan air limbah pada IPAL Milking PT X beserta baku mutu air limbahnya tersaji pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Limbah dan Hasil Pengolahan Air Limbah pada IPAL Milking PT X

Tanggal Sampling	Parameter	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Baku Mutu* (mg/L)
13 September 2021	TSS	10	8	50
	COD	7534,2	76	100
	BOD	2251	23	40
	Amonia	35,48	2,62	10
	pH	11,6	7,8	6 – 9
8 Desember 2021	TSS	46	17	50
	COD	4146,9	47,4	100
	BOD	1217	14	40
	Amonia	5,63	0,67	10
	pH	7,89	7,93	6 – 9

\*Baku Mutu diambil dari PermenLH nomor 5 tahun 2014

Permasalahan yang terjadi pada IPAL ini adalah:

1. Efluen (*supernatant*) setelah Unit Bak Sedimentasi seringkali masih terdapat padatan yang mengapung, tidak jernih, dan berbau.
2. Bak Sedimentasi mengalami akumulasi padatan yang mengapung di bak. Kondisi ini diduga sebagai kondisi *sludge bulking*. Kondisi *sludge bulking* akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian berikutnya.



Gambar 2. 2 Kondisi Bak Sedimentasi Eksisting yang mengalami *Sludge Bulking*

## 2.2 Tipikal Sistem Pengolahan dan Permasalahan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu

Industri pengolahan dan pemerahan susu adalah industri yang memiliki tingkat konsumsi air bersih yang tinggi sehingga tingkat produksi air limbah juga tinggi (Leonard, 1996). Karakteristik air limbah industri pengolahan susu sangat beragam, namun pada umumnya memiliki kadar bahan organik dan rasio COD:N serta COD:P yang tinggi (Donkin, 1997). Variasi karakter air limbah beberapa industri pengolahan dan pemerahan susu tersaji sebagai pada Tabel 2. 2

Tabel 2. 2 Variasi Karakteristik Air Limbah Industri Pengolahan dan Pemerahan Susu

TSS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Referensi
134 – 804	921 – 9004	483 – 6090	8 – 230	9 – 111,5	Faizoglu & Uzuner (2011)
1600 – 3900	23000 – 40000		400 – 700	60 – 100	Rajinikanth (2008)
1100 – 1600	1400 – 2500	800 – 1000			Passegi, <i>et al.</i> (2009)

Sistem pengolahan air limbah yang banyak digunakan antara lain sistem Reaktor UASB (Ozturk *et al.*, 1993), Reaktor RBC (Surampalli & Baumann, 1992), dan sistem lumpur aktif dan modifikasinya seperti sistem SBR (Hung, 1984). Pengolahan dengan sistem lumpur aktif adalah yang paling banyak diterapkan pada industri susu (Andreottola *et al.*, 2002). Namun disamping penggunaannya yang banyak, banyak laporan permasalahan yang terjadi pada pengolahan dengan sistem lumpur aktif terutama permasalahan produksi lumpur yang terlalu banyak, buruknya pengendapan lumpur aktif, penyisihan bahan organik yang tidak efisien, dan timbulnya efek *sludge bulking* sehingga air hasil pengolahan masih buruk (Zkeri *et al.*, 2021).

Beberapa penelitian yang menemukan permasalahan pada pengolahan air limbah pengolahan susu dengan sistem lumpur aktif tersaji pada Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Permasalahan pada Pengolahan Air Limbah Pengolahan Susu dengan Sistem Lumpur Aktif

Referensi	Permasalahan
Radick (1981) dan Rensink & Donker (1992)	Timbulnya busa ( <i>foaming</i> ) dan kondisi <i>bulking</i> .
Ahmad, <i>et al.</i> (2019)	Buruknya pengendapan lumpur aktif dan penyisihan bahan organik.
Mamais, <i>et al.</i> (2015) dan Goli, <i>et al.</i> (2019)	Konsumsi biaya dan energi operasional sangat tinggi, produksi lumpur signifikan, dan peningkatan emisi gas rumah kaca.
Goronszy & White (1998)	Effluent Unit SBR masih keruh.

Dari tabel tersebut, dapat disimpulkan permasalahan paling banyak adalah kegagalan pemisahan atau pengendapan bioflok lumpur aktif dari larutan air limbah sehingga kualitas effluent masih kurang baik dan timbul kondisi bak yang berbusa serta *bulking sludge*.

Seperti halnya yang terjadi pada IPAL Milking PT X, yaitu bak sedimentasi yang terdapat endapan yang mengapung serta effluent yang masih keruh dan berbau.

### **2.3 Sludge Bulking**

*Sludge bulking* adalah kondisi ketika lumpur aktif terendapkan secara buruk atau gagal terendapkan diikuti dengan terbentuknya scum, busa, dan padatan yang mengapung. Kondisi *Sludge Bulking* ditentukan apabila nilai  $SVI_{30} \geq 150$  mL/g (Donkin, 1997; Qasim & Zhu, 2017). Permasalahan *sludge bulking* adalah permasalahan yang sering terjadi pada pengolahan air limbah industri pengolahan susu dengan sistem lumpur aktif (Zkeri *et al.*, 2021). *Sludge bulking* diklasifikasikan menjadi *filamentous bulking* dan *viscous bulking*.

#### **2.3.1 Filamentous Bulking**

*Filamentous bulking* adalah *sludge bulking* yang disebabkan oleh pertumbuhan mikroorganisme berjenis “filamentous” yang terlalu banyak. Mikroorganisme filamentous yang paling besar jumlahnya antara lain *Nocardiofoms* dan *Microthrix parvicella*. Mikroorganisme ini mengganggu kualitas pengendapan dan pemadatan (kompaksi) dari lumpur aktif dengan memproduksi struktur bioflok yang menyebar (Jenkins *et al.*, 2003). Menurut Jenkins (2019) dan Pal, *et al.* (2014), gejala *filamentous bulking* antara lain:

- *Sludge blanket* atau padatan lumpur berada di permukaan dan melimpah menuju *outlet* bak sedimentasi sehingga kualitas *effluent* masih buruk.
- Karena lumpur tidak berada di dasar unit (mengendap), maka konsentrasi *Recycle Activated Sludge* (RAS) dan *Wasted Activated Sludge* (WAS) menjadi encer.
- Karakter *sludge blanket* berupa busa lengket dan berwarna coklat.

Penyebab *filamentous bulking* berdasarkan hasil penelitian Donkin (1997) dan Jenkins (2019), antara lain:

- Rasio F/M rendah.
- Nutrisi N dan P tidak tercukupi.
- Tingkat DO < 2mg/L.
- Konsentrasi H<sub>2</sub>S tinggi karena kondisi air limbah yang septik.
- pH < 6



### 2.3.2 *Viscous Bulking*

*Viscous bulking* atau *non-filamentous bulking* atau *zoogloal bulking* adalah kondisi *sludge bulking* ketika kelompok mikroorganisme “Zooglea” pada lumpur aktif memproduksi *extra cellular polymeric substances* atau EPS (seperti protein dan polisakarida) yang berkarakter hidrofilik dalam jumlah banyak, sehingga terdispersi dalam air limbah dan melimpah menuju outlet bak sedimentasi. Gejala *viscous bulking* adalah air limbah menjadi kental, keruh, dan pengendapan lumpur sangat buruk (Jenkins *et al.*, 2003). Penyebab *viscous bulking* menurut Donkin (1997) dan Jenkins (2019), antara lain:

- Rasio F/M terlalu tinggi
- Orgaink tersedia dalam jumlah banyak, namun nutrisi N dan P tidak tersedia dalam jumlah cukup
- DO < 2 mg/L

### 2.4 *Sludge Volumetric Index (SVI) sebagai Indikator Kualitas Pengendapan*

Indikator kualitas pengendapan hasil pengolahan biologis yang paling umum digunakan adalah Indeks Volumetrik Lumpur (SVI). Angka SVI merepresentasikan volume lumpur dalam milimeter yang diendapkan setelah 30 menit dari tiap gram suspensi lumpur aktif. Angka SVI (mL/g) yang dihasilkan menunjukkan kualitas pengendapan dari lumpur aktif (Spellman, 2000). Tabel 2. 4 menjelaskan rentang nilai SVI beserta dampak yang dialami dari nilai tersebut.

Tabel 2. 4 Rentang Nilai SVI dan Dampaknya

Nilai SVI	Dampak	Pencegahan
<100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lumpur mengendap terlalu cepat</li> <li>• Meninggalkan jejak kekeruhan (kondisi pin-floc)</li> <li>• Lumpur lebih padat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingkatkan debit air limbah</li> <li>• Kurangi debit <i>return activated sludge</i></li> </ul>
100 – 250	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SVI Ideal</li> <li>• Lumpur mengendap tidak terlalu cepat, sehingga partikel padatan tertangkap dengan lebih baik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondisi normal</li> </ul>
>250	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondisi <i>sludge bulking</i></li> <li>• Lumpur mengendap dengan lama sehingga melayang di bak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurangi debit air limbah</li> <li>• Tingkatkan debit <i>return activated sludge</i></li> </ul>

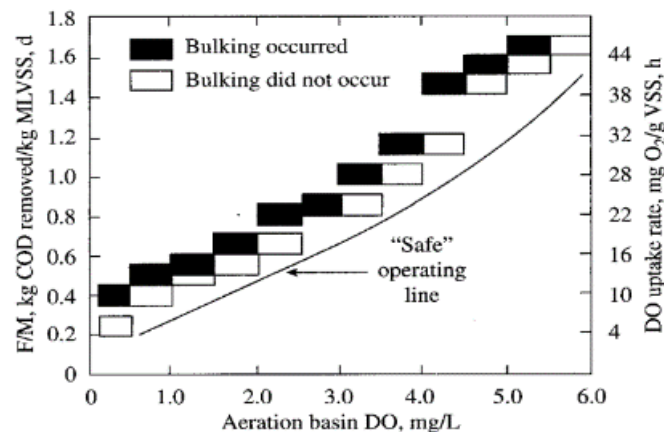
Sumber: Spellman (2000)

## 2.5 Metode Pencegahan *Sludge Bulking*

Metode untuk mencegah dan mengurangi *sludge bulking* pada pengolahan air limbah secara biologis antara lain sebagai berikut:

### 2.5.1 Kontrol DO dan Rasio F/M

Menurut Donkin (1997), konsentrasi DO ideal agar tidak terjadi *bulking* adalah 4-5 mg/L. Sedangkan rasio F/M ideal menurut Javid, *et al.* (2013) adalah 0,2-0,5 kgBOD<sub>5</sub>/kgMLVSS/hari. Namun, menurut Jenkins (2019), DO ideal harus disesuaikan dengan rasio F/M yang beroperasi. Penyesuaian tersebut, didasarkan pada grafik yang tersaji di Gambar 2. 3.



Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Rasio F/M dan Konsentrasi DO Ideal

Sumber: Jenkins (2019)

### 2.5.2 Kontrol Rasio COD:N dan COD:P

Untuk menyediakan bahan organik (karbon) dan nutrisi dalam jumlah yang cukup, rasio yang ideal adalah COD:N<40 dan COD:P<200 (Jenkins, 2019).

### 2.5.3 Injeksi Bahan Kimia

Injeksi bahan kimia menjadi strategi yang paling disukai oleh para operator pengolahan air limbah (Donkin, 1997). Penambahan klor pada lumpur aktif yang dikembalikan pada sistem (*Return Activated Sludge/RAS*), telah sukses mencegah kondisi *bulking* (Pal *et al.*, 2014). Pal, *et al.* (2014) dan Jenkins (2019) juga menyebutkan bahwa penggunaan koagulan, seperti garam Fe(II) dan garam Fe(III) dapat meningkatkan kemampuan pengendapan lumpur bioflok, sehingga kualitas hasil olahan air limbah lebih baik.

### 2.5.4 Penambahan Tahap Pengolahan secara Anaerobik

Penambahan tahapan pengolahan secara anaerobik, dapat dengan cepat dan sangat efektif untuk mencegah kondisi *sludge bulking*. Penambahan tahap anaerobik selama 30 menit sebelum tahap aerobik dapat menghambat pertumbuhan bakteri *filamentous*. Didalam

kompleks lumpur aktif, terdapat mikroorganisme *glycogen accumulating organism* (GAO) dan *phosphorus accumulation organism* (PAO). Kedua mikroorganisme tersebut pada kondisi anaerobik akan mengonsumsi senyawa organik, seperti *volatile fatty acids* dalam jumlah banyak, kemudian dikonversi menjadi senyawa *intracellular polymers* yang berperan penting dalam menghambat pertumbuhan bakteri *filamentous*. Fenomena tersebut juga berperan dalam pembentukan lumpur yang lebih padat dan meningkatkan kemampuan pengendapan lumpur (Yao *et al.*, 2019).

Penelitian Yao, *et al.* (2019), menunjukkan bahwa pada hari ke-1 hingga 118 pengolahan air limbah dengan sistem SBR secara aerobik, tidak terjadi kondisi *sludge bulking*. Hal tersebut ditandai dengan tingkat SVI berkisar antara 26-123 mL/g. Namun pada hari ke-119 hingga 153, tingkat SVI sudah berkisar antara 166-212 mL/g yang mengartikan terjadi kondisi *sludge bulking*. Pada hari ke-154, ditambahkan proses anaerobik sebelum tahan aerobik. Kemudian, pada hari ke-158, tingkat SVI berkisar antara 56-133 mL/g. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan tahap pengolahan secara anaerobik dapat mengembalikan tingkat SVI menjadi normal (dibawah 150 mL/g) secara cepat dengan hanya 4 hari saja (Yao *et al.*, 2019).

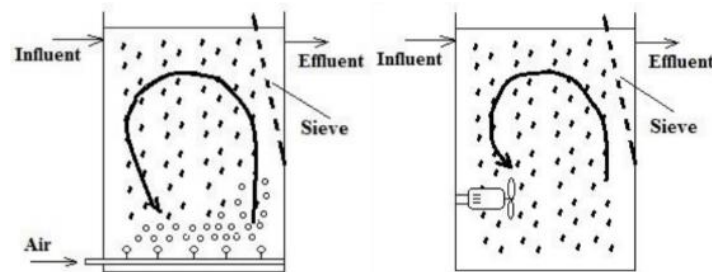
#### **2.5.5 Penggunaan MBBR**

MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*), diklaim dapat mengurangi *sludge bulking* serta dapat beroperasi dengan kondisi fluktuasi beban organik yang signifikan (Andreottola *et al.*, 2002; Sheikh *et al.*, 2019). Hal ini dikarenakan MBBR menggunakan prinsip pertumbuhan mikroorganisme terlekat pada suatu media permukaan (*biocarrier*) membentuk lapisan yang disebut *biofilm*. Mikroorganisme dalam bentuk *biofilm* dalam mengolah air limbah dapat lebih tahan terhadap gangguan seperti fluktuasi beban serta dapat mengurangi *sludge bulking* dibandingkan dengan pengolahan lumpur aktif konvensional (Das & Naga, 2011).

#### **2.6 Konsep Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)**

*Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), adalah salah satu metode pengolahan biologis secara *continuous* yang mengintegrasikan prinsip pengolahan biofilm (*attached growth*) dan prinsip lumpur aktif (*suspended growth*) (Das & Naga, 2011; Sheikh *et al.*, 2019). Tidak seperti pengolahan *biofilm* pada umumnya (seperti Tricking Filter dan Rotating Biological Contactor), media tempat mikroorganisme tumbuh pada MBBR bergerak secara bebas dalam larutan air limbah. MBBR juga menyediakan luas permukaan untuk pertumbuhan mikroorganisme yang lebih besar, sehingga dapat meningkatkan kapasitas pengolahan daripada pengolahan metode *biofilm* dan lumpur aktif konvensional (Andreottola *et al.*, 2002; Sheikh *et al.*, 2019). Proses pengolahan dengan MBBR membutuhkan reaktor dengan konfigurasi yang sama dengan

reaktor lumpur aktif. Media tumbuh mikroorganisme (*biocarrier*) dijaga untuk tetap tercelup dan bergerak bebas dalam air limbah dengan sistem aerasi maupun pengadukan mekanik (Bengtson, 2017).



Gambar 2. 4 Konsep Reaktor MBBR dengan Aerator dan Pengaduk Mekanikal

Sumber: Bengtson (2017)

Media *biocarrier* yang digunakan pada proses MBBR berbahan dari plastik HDPE. Media didesain memiliki luas permukaan yang tinggi tiap unit volume, sehingga luas permukaan untuk bakteri berkembang lebih besar tanpa perlu diikuti oleh peningkatan luas permukaan reaktor (Bengtson, 2017). Kriteria teknis media beragam sesuai dengan manufaktur dari tiap pabrik. Namun, tipikal kriteria teknis media yang dikembangkan oleh AnoxKaldnes adalah memiliki massa jenis  $0,95 \text{ g/cm}^3$  dan dibedakan menjadi 3 kelompok berdasarkan urutannya yaitu K1, K2, dan K3 yang tersaji pada Tabel 2. 5 berikut:

Tabel 2. 5 Tipikal Spesifikasi Teknis Media Kaldnes *Biocarrier* MBBR

Parameter	Tipe Kaldnes <i>Biocarrier</i>		
	K1	K2	K3
Diameter nominal (mm)	9,1	15	25
Panjang nominal (mm)	7,2	15	12
Luas permukaan spesifik efektif ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )	500	350	500

Sumber: Rusten, *et al.* (2006)

Menurut Andreottola, *et al.* (2002) dan Sheikh, *et al.* (2019), keunggulan utama dari proses menggunakan MBBR antara lain:

- Kualitas pengendapan bioflok lebih baik daripada pengolahan lumpur aktif konvensional
- Karena menerapkan sistem *attached growth*, produksi lumpur dapat berkurang sehingga kondisi *sludge bulking* juga dapat dikurangi
- Tahan terhadap fluktuasi beban/*shock loading*
- Meningkatkan kapasitas pengolahan
- Tidak membutuhkan tambahan bahan kimia

- Manajemen operasional termasuk mudah

## 2.7 Perbandingan MBBR dengan Alternatif Lain

Alternatif pengolahan air limbah industri pemerahan susu sangatlah beragam. Secara umum, pengolahan air limbah industri pemerahan susu dapat dilakukan dengan proses aerobik dan/atau anaerobik. Proses aerobik umumnya digunakan untuk mengolah air limbah dengan kadar COD < 1000 mg/L, sedangkan proses anaerobik digunakan untuk mengolah air limbah dengan kadar COD > 4000 mg/L (Goli *et al.*, 2019). Perbandingan keunggulan menggunakan MBBR dengan beberapa alternatif lain teringkas dalam Tabel 2. 6.

Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan dari Alternatif Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu

Reaktor	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
SBR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Satu bak dapat melakukan beberapa proses termasuk nitrifikasi, denitrifikasi, penyisihan fosfor, dan pengendapan</li> <li>• Siklus dapat dimodifikasi dengan mudah</li> <li>• Dapat dioperasikan secara jarak jauh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energi yang dibutuhkan lebih tinggi sesuai dengan siklus yang dibutuhkan</li> <li>• Operasional untuk mengatur waktu siklus sulit</li> <li>• Frekuensi pembuangan lumpur yang sering</li> <li>• Terkadang masih ada <i>sludge bulking</i></li> <li>• Biaya operasional dan perawatan lebih mahal daripada ASP dan MBBR</li> </ul>	Andreottola, <i>et al.</i> (2002); Goli, <i>et al.</i> (2019); Aly & Ahmed (2020)
RBC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efisiensi penyisihan polutan lebih baik</li> <li>• Energi untuk rotasi lebih kecil</li> <li>• Operasional dan perawatan lebih mudah dan murah</li> <li>• Produksi lumpur rendah</li> <li>• Tahan terhadap <i>shock loading</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sering muncul bau</li> <li>• Unit harus terlindung dari paparan sinar matahari langsung dan air hujan</li> <li>• Media RBC sudah sulit ditemukan</li> </ul>	Goli, <i>et al.</i> (2019)
ABR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energi yang dibutuhkan sangat kecil</li> <li>• Dapat memproduksi sumber energi berupa biogas</li> <li>• Kebutuhan nutrisi N dan P rendah</li> <li>• Tahan terhadap <i>shock loading</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase <i>start-up</i> butuh waktu lama</li> <li>• Air hasil pengolahan masih kurang baik dan perlu dilakukan pengolahan lagi</li> <li>• Reduksi patogen rendah</li> </ul>	Buku Pedoman DED IPLT PUPR (2017) dan Goli, <i>et al.</i> (2019)

Reaktor	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operasional dan perawatan mudah dan murah</li> <li>Mampu menyisihkan COD-BOD tinggi</li> <li>Produksi lumpur rendah dan telah terstabilisasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risiko terjadi penyumbatan</li> </ul>	
UASB	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energi yang dibutuhkan sangat kecil</li> <li>Dapat memproduksi sumber energi berupa biogas</li> <li>Mampu menerima beban BOD hingga 10 kg/m<sup>3</sup>/hari</li> <li>Produksi lumpur rendah</li> <li>Biaya konstruksi, operasional, dan perawatan lebih murah dari ASP dan modifikasinya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fase <i>start-up</i> membutuhkan waktu lama</li> <li>Operasional cukup sulit</li> <li>Butuh lumpur untuk <i>seeding</i> dengan jumlah cukup banyak</li> <li>Timbulnya bau</li> <li>Kualitas efluen perlu pengolahan lanjut</li> </ul>	Sperling & Chernicharo (2005) dan Goli, <i>et al.</i> (2019)
MBBR	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kualitas pengendapan bioflok lebih baik daripada ASP</li> <li>Produksi lumpur bisa berkurang</li> <li>Kondisi <i>sludge bulking</i> dapat dikurangi</li> <li>Tahan terhadap fluktuasi beban/<i>shock loading</i></li> <li>Manajemen operasional termasuk mudah</li> <li>Tidak ada risiko penyumbatan</li> <li>Tidak perlu <i>backwashing</i></li> <li>Biaya operasional dan perawatan lebih murah daripada ASP dan SBR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kebutuhan energi masih tinggi untuk aerasi</li> <li>Jumlah/volume media MBBR perlu melalui perhitungan yang teliti</li> </ul>	Andreottola, <i>et al.</i> (2002); Sheikh, <i>et al.</i> (2019); Aly & Ahmed (2020)

Pada penelitian ini, hal yang menjadi keunggulan utama penggunaan MBBR adalah tidak perlu adanya pembangunan unit baru maupun perombakan total unit-unit IPAL yang sudah ada, namun hanya pembaharuan dan penyesuaian unit eksisting menjadi unit dengan konsep MBBR. Pembaharuan yang dilakukan adalah dengan memasukkan media dengan volume sesuai hasil

penelitian menuju bak aerasi eksisting serta penyesuaian sistem *outlet* bak agar media *biocarrier* tidak ikut keluar menuju unit selanjutnya. Karena tidak adanya perombakan unit lama dan pembangunan unit baru, maka biaya konstruksi dan biaya perombakan lahan juga dapat dikurangi, sehingga penggunaan alternatif MBBR menjadi lebih unggul daripada alternatif lain.

## 2.8 Kemampuan MBBR dalam Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menguji kemampuan MBBR dalam pengolahan air limbah industri susu. Hasil dari penelitian mengenai performa pengolahan MBBR serta batasan pengolahannya terungkap dalam Tabel 2. 7.

Tabel 2. 7 Penelitian Terkait Performa MBBR dalam Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Susu

No	Penelitian	Media Filling Ratio (%volume reaktor)	Waktu Reaksi (jam)	Konsentrasi Awal (mg/L)		Efisiensi Penyisihan		Referensi
				COD	NH <sub>4</sub>	COD	NH <sub>4</sub>	
1	MBBR dengan luas spesifik 494 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	20%	8	1200		60%		Santos, <i>et al.</i> (2020)
2	MBBR dengan luas spesifik 494 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	40%	8	1200		80%		Santos, <i>et al.</i> (2020)
3	MBBR dengan luas spesifik 160 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	60%	11,5	2.395	11.6	89,5%	50,8%	Andreottola, <i>et al.</i> (2002)
4	MBBR Anaerobik + MBBR Aerobik tipe Kaldness K3	40% + 33%	24 + 28,8	2.499 ± 81,2	89.1 ± 34,8	93,3%	96%	Zkeri, <i>et al.</i> (2020)

## 2.9 Kriteria Desain MBBR

Parameter penting dalam penentuan dimensi MBBR adalah SALR (*surface area loading rate*) (Bengston, 2017) atau SARF (*surface area removal flux*) (Qasim & Zhu, 2018) dalam g/m<sup>2</sup>/hari. SALR merepresentasikan massa polutan air limbah per hari yang dapat disisihkan tiap luasan media. Hasil dari perhitungan SALR adalah kebutuhan luas area *biocarrier*. Kemudian, volume reaktor dapat dihitung dengan dibagi oleh luas area spesifik (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) sesuai dengan spesifikasi teknis yang tersaji di Tabel 2. 5. Kriteria desain MBBR dan parameter operasional MBBR secara berurutan tersaji pada Tabel 2. 8 dan Tabel 2. 9.

Tabel 2. 8 Kriteria Desain MBBR

Tujuan	Target Pengolahan (% Penyisihan)	SALR Desain (g/m <sup>2</sup> /hari)	Referensi
Penyisihan BOD			Bengston (2017)
High Rate	75 – 80	25	
Normal Rate	85 – 90	15	
Low Rate	90 – 95	5	
Nitrifikasi			
<i>Effluent</i> NH <sub>3</sub> -N > 3 mg/L	90	1	
<i>Effluent</i> NH <sub>3</sub> -N < 3 mg/L	90	0,45	

Tabel 2. 9 Parameter Operasional MBBR

Parameter	Satuan	Rentang Nilai	Referensi
Beban BOD	kg/m <sup>3</sup> /hari	1 – 1,4	Tchobanoglous, <i>et al.</i> (2003)
Waktu aerasi	jam	3,5 – 4,5	
Konsentrasi biomassa per luasan	g TSS/m <sup>2</sup>	15 – 25	Qasim & Zhu (2018)
Konsentrasi MLSS ekuivalen dalam reaktor	g TSS/m <sup>3</sup>	4 – 8	
<i>Media filling ratio</i> (Jumlah volume media)	% volume reaktor total	20-60	
Luas permukaan spesifik efektif	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	<i>sesuai Tabel 2. 5</i>	

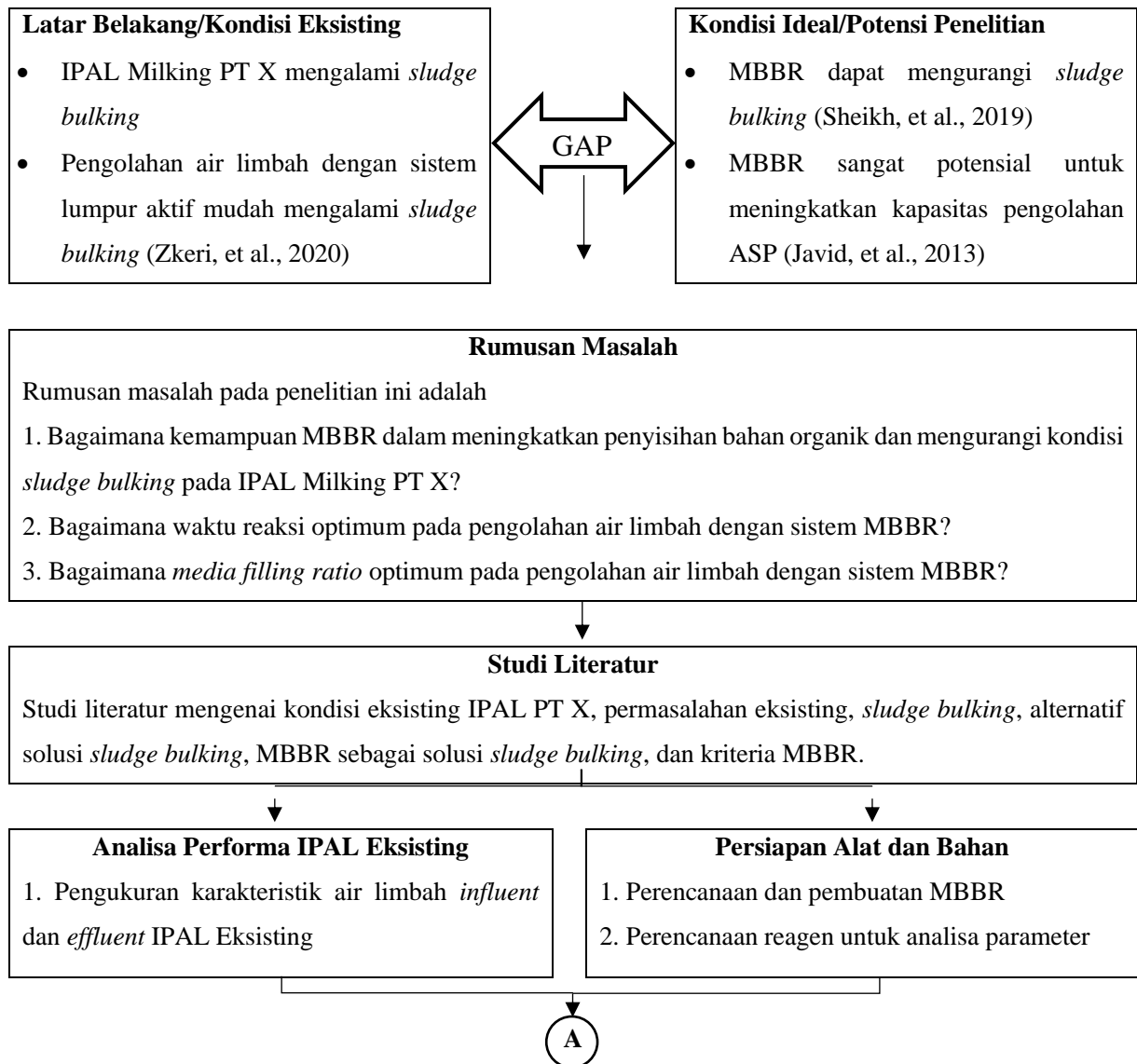


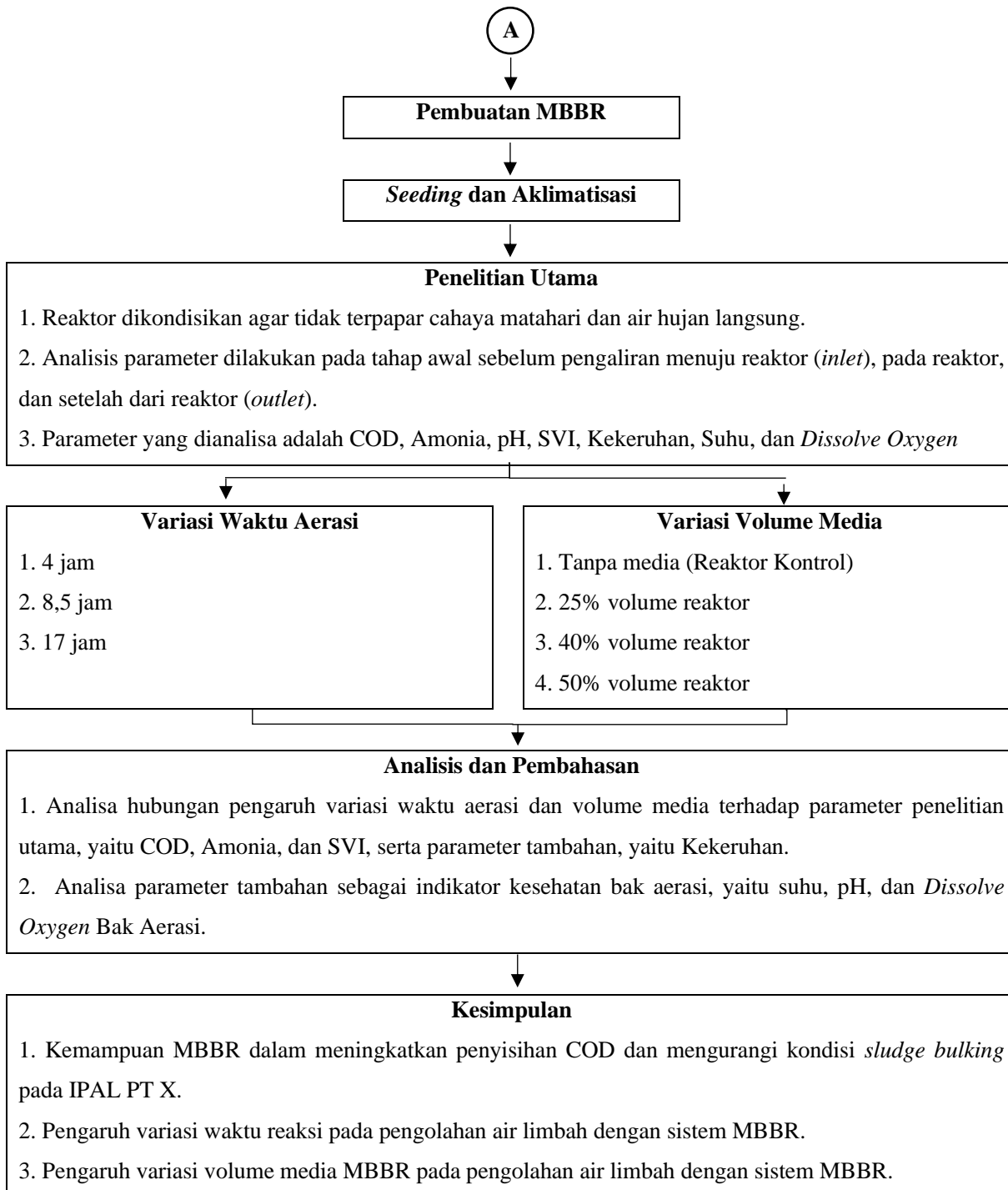
## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian memuat secara garis besar metode yang perlu dilakukan selama pelaksanaan penelitian. Penelitian ini didasarkan pada konsep “Gap Analysis” yaitu kajian antara kondisi ideal dengan kondisi realita sehingga dapat ditentukan rumusan masalah dan tujuan dari perlunya penelitian ini. Kemudian, dilakukan persiapan penelitian yang terdiri dari penelitian pendahuluan untuk memudahkan dalam pelaksanaan penelitian dan persiapan alat dan bahan. Kegiatan penelitian dilanjutkan dengan menganalisa dan membahas hasil penelitian untuk merumuskan kesimpulan. Diagram kerangka penelitian dan kerangka kerja penelitian tugas akhir ini tersaji pada Gambar 3. 1.





Gambar 3. 1 Diagram Kerangka Penelitian

### 3.2 Analisa Peforma IPAL Eksisting

Pada penelitian pendahuluan, dilakukan uji karakteristik air limbah kegiatan pemerahan susu PT X, meliputi parameter COD, Amonia, TSS, dan pH IPAL Milking PT X. Uji dilakukan di inlet dan outlet IPAL dengan rincian titik uji tersaji pada Tabel 3. 1 untuk mengetahui karakteristik awal dan performa eksisting IPAL. Standar metode analisa parameter – parameter tersebut tersaji pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Standar Analisa Parameter Uji

Parameter Uji	Standar Metode	Titik Uji
COD	SNI 06-6989.15-2004	Bak Kontrol CIP Silo Susu dan Bak Chlorinator IPAL PT X.
Amonia, N-NH <sub>3</sub>	Metode Nessler	
pH	SNI 06-6989.11-2004	
TSS	SNI 06-6989.3-2004	

Penjelasan rinci metode uji, tersaji pada Lampiran A.

### 3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain adalah reaktor MBBR dan kolom sedimentasi yang menggunakan bak plastik dengan diameter 24 cm dan ketinggian 28 cm, *aerator* dengan kapasitas 4 L/menit, media MBBR tipe Kaldness K1, *glasswear*, dan *dosing pump* untuk pengatur debit aliran. Bahan yang digunakan antara lain reagen untuk analisa TSS, COD, BOD, Amonia, dan pH, air limbah IPAL Milking PT X.

Sumber mikroba pada reaktor penelitian ini adalah berasal dari *bio-starter* EM4. *Bio-starter* EM4 dipilih karena mengandung kompleks campuran mikroba aerobik dan anerobik yang secara sinergis mendegradasi bahan organik. Mikroba yang terkandung dalam EM4 antara lain bakteri fotosintetik yang berfungsi menyediakan nutrisi untuk mikroba lain, bakteri asam laktat yang berfungsi merombak bahan organik seperti lignin dan selulosa menjadi senyawa yang lebih sederhana tanpa memproduksi senyawa beracun dari proses perombakan, ragi yang berfungsi merombak zat organik seperti asam amino dan gula menjadi senyawa sederhana yang dijadikan sebagai nutrisi dan enzim untuk pertumbuhan mikroba lainnya, *Actinomyces* yang berfungsi menghasilkan zat anti mikroba untuk menekan jamur dan bakteri pengganggu, dan jamur fermentasi untuk menguraikan zat organik menjadi senyawa sederhana seperti alkohol, ester, dan zat anti mikroba (Gultom & Prabatiwi, 2017; Rashed & Massoud, 2015). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Asadiya & Karnaningroem (2018), Holifah (2019), dan Munawaroh, *et al.* (2013), kadar EM4 yang paling efektif adalah 5% dari total volume pengolahan reaktor. Maka, pada penelitian ini, digunakan EM4 dengan kadar 5% atau dengan volume 500 mL tiap reaktor.

Air limbah diambil dari unit Bak Kontrol CIP Silo Susu PT X. Kebutuhan sampel air limbah disesuaikan dengan volume pengolahan efektif yang dijelaskan pada subbab berikutnya. Sedangkan perhitungan kebutuhan media MBBR Kaldness K1 adalah sebagai berikut:

- a. *Media filling ratio* = 25% dari volume pengolahan efektif  
Kebutuhan Media = 2,5 Liter
- b. *Media filling ratio* = 40% dari volume pengolahan efektif

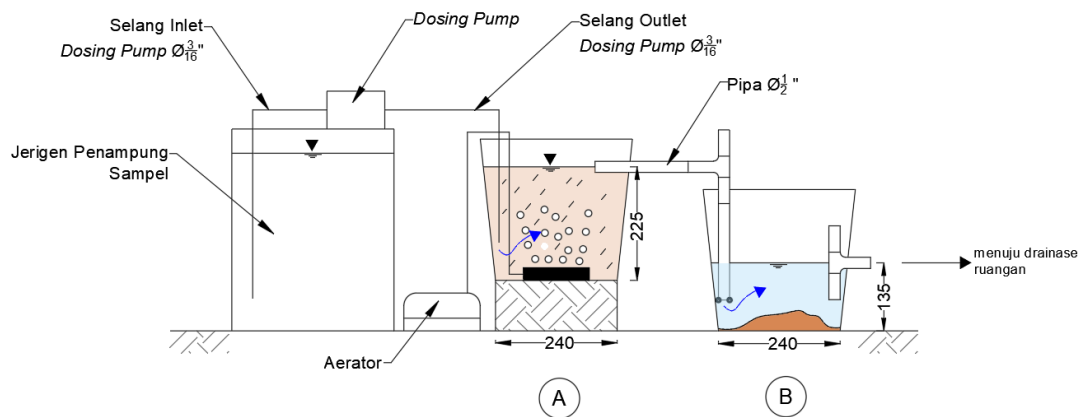
Kebutuhan Media = 4 Liter

c. *Media filling ratio* = 50% dari volume pengolahan efektif

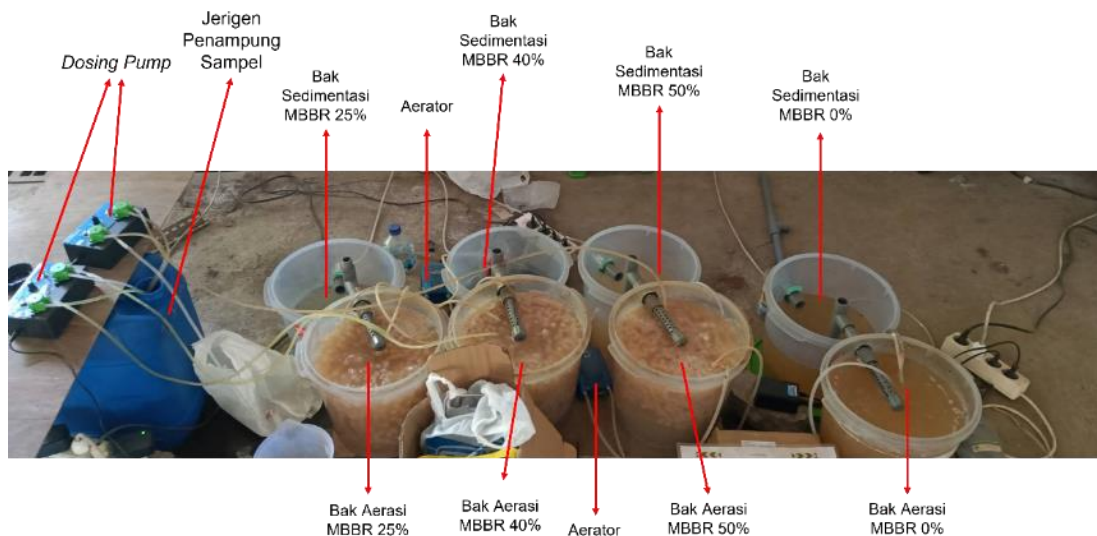
Kebutuhan Media = 5 Liter

### 3.4 Pembuatan Reaktor MBBR

Reaktor terbagi menjadi reaktor MBBR dan bak sedimentasi. Reaktor MBBR terbuat dari bak plastik diameter 24 cm dengan ketinggian air efektif 22,5 cm sebanyak 4 buah, sehingga volume pengolahan efektif tiap reaktor adalah 10 L. Bak sedimentasi terbuat dari bak plastik diameter 24 cm dengan ketinggian efektif 13,5 cm sebanyak 4 buah. Reaktor diletakan di Workshop Departemen Teknik Lingkungan ITS. Reaktor harus dijaga agar tidak terpapar sinar dan air hujan langsung. Sketsa *As Build Drawing* reaktor dan gambar reaktor asli di lapangan secara berurutan tersaji pada Gambar 3. 2 dan Gambar 3. 3.



Gambar 3. 2 *As Build Sketch* Reaktor Penelitian



Gambar 3. 3 Reaktor Penelitian di Lapangan

Pemilihan dimensi dan jumlah reaktor didasarkan pada:

1. Jumlah variasi *media filling ratio* yang berjumlah 4 variasi, sehingga reaktor direncanakan berjumlah 4 buah.
2. Dimensi kolom sedimentasi disesuaikan dengan kriteria desain yang berlaku.

Perhitungan dimensi kolom sedimentasi tersaji sebagai berikut:

- Debit paling besar (Q) = 2,5 L/jam (debit untuk waktu aerasi 4 jam)
- Diameter (D) = 24 cm
- Luas permukaan ( $A_s$ ) =  $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$  = 0,045 m<sup>2</sup>
- *Overflow Rate* (OFR) =  $Q/A_s$  = 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam (dibawah *range* kriteria desain berdasarkan Kawamura, 2000)
- *Side Water Depth* (SWD) = 13,5 cm
- Waktu detensi ( $t_d$ ) =  $\frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot SWD}{Q}$  = 2,4 jam (didalam *range* kriteria desain  $t_d$  berdasarkan Kawamura, 2000)

### 3.5 Seeding dan Aklimatisasi

Proses *seeding* dan aklimatisasi adalah bagian dari proses *start-up* reaktor yang difungsikan untuk mendapatkan *biofilm* yang siap untuk pengoperasian MBBR. Proses *start-up* diawali dengan mengisi reaktor dengan air limbah kemudian diberi 500 mL *bio-starter* EM4 pada masing-masing reaktor. Pada periode ini, reaktor dioperasikan secara *batch* dengan waktu 17 jam untuk aerasi kemudian 1 jam untuk pengendapan. Setelah itu dilakukan *decanting* hingga setengah volume reaktor. Kemudian reaktor kembali diisi dengan air limbah. Proses ini dilakukan selama 5 hari. Setelah itu, operasional reaktor dibuat secara *continuous* selama 25 hari dengan dilakukan sirkulasi lumpur aktif. Setelah kondisi *steady state* tercapai, yang ditandai dengan penebalan *biofilm*, media Kaldness telah berputar (*fluidize*), dan kualitas *effluent* tidak fluktuatif secara signifikan, maka reaktor telah dinyatakan siap untuk dilakukan penelitian utama. Sirkulasi lumpur dapat dihentikan (Chen, *et al.*, 2008 & Javid, *et al.*, 2013).

Pada penelitian ini, parameter TSS dijadikan parameter utama dan kekeruhan sebagai *rapid test* untuk menentukan kondisi *steady state*. Parameter TSS dipilih dikarenakan zat organik juga berkontribusi didalamnya selain zat inorganik seperti sedimen, pasir, dan tanah liat. Fitoalga dan beberapa bakteri juga berkontribusi meningkatkan jumlah TSS. Analisa TSS juga dapat dilakukan lebih cepat untuk memperkirakan jumlah zat organik dibandingkan dengan analisa COD. Sedangkan parameter kekeruhan (*turbidity*) dipilih atas dasar dapat memperkirakan pergerakan konsentrasi TSS dan organik dengan lebih cepat (*rapid test*)

berdasarkan tingkat kekeruhan sampel walaupun hasilnya jauh kurang teliti dibandingkan analisa TSS dan COD (Inc., 2014 & Qasim & Zhu, 2017).

### 3.6 Penelitian Utama

Penelitian utama bertujuan untuk menemukan hubungan antara variasi waktu aerasi ( $t_d$ ) dengan variasi volume media yang diisi ke reaktor dalam persentase volume reaktor atau *media filling ratio*. Matriks penelitian ini tersaji pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Matriks Penelitian

$t_d$ (Waktu Aerasi)	<i>Media filling ratio</i> (% volume reaktor)				<i>Train Name</i>
	0% (kontrol)	25%	40%	50%	
4 jam	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>D<sub>1</sub></b>	Train 1
8,5 jam	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>D<sub>2</sub></b>	Train 2
17 jam	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>	<b>D<sub>3</sub></b>	Train 3
<i>Train Name</i>	Train A	Train B	Train C	Train D	

Pemilihan waktu aerasi ( $t_d$ ) didasarkan pada:

1. Nilai tengah pada kriteria desain waktu aerasi yang tersaji di Tabel 2. 9 Parameter Operasional MBB. Nilai tersebut adalah 4 jam.
2. Waktu aerasi aktual di lapangan. Bak Aerasi IPAL Milking PT X masing-masing berkapasitas 8,5 m<sup>3</sup>. Dengan debit desain 20 m<sup>3</sup>/hari, didapatkan waktu aerasi untuk masing-masing bak aerasi adalah 8,5 jam. Sehingga, diambil angka 8,5 jam dan 17 jam (2x8,5 jam: karena terdapat 2 unit Bak Aerasi) untuk variabel waktu aerasi.

Reaktor beroperasi secara *contionous flow* selama waktu aerasi yang ditentukan. Aliran debit diatur menggunakan *peristaltic pump* seperti pada Gambar 3. 4.



Gambar 3. 4 *Peristaltic Pump*

Perhitungan debit yang harus dialirkan di tiap reaktor untuk mencapai waktu aerasi yang diinginkan tersaji sebagai berikut:

- a. Waktu Aerasi 4 jam

Volume pengolahan efektif = 10 Liter

Debit = Volume/Waktu Aerasi = 2,5 L/jam  $\approx$  42 mL/menit

- b. Waktu Aerasi 8,5 jam

Volume pengolahan efektif = 10 Liter

Debit = 1,25 L/jam  $\approx$  21 mL/menit

- c. Waktu Aerasi 17 jam

Volume pengolahan efektif = 10 Liter

Debit = 0,625 L/jam  $\approx$  11 mL/menit

Aerator yang digunakan menggunakan aerator berkapasitas 4 L/menit dengan *diffuser* berbahan batu keramik (*fine bubble diffuser*). Pengambilan sampel untuk analisa parameter dilakukan pada *inlet* reaktor (*pre-reactor*), pada reaktor (untuk analisa MLSS), dan *outlet* (*post-reactor*). Analisa dilakukan dengan *time series* atau analisa pada beberapa waktu yaitu setiap hari dilakukan analisa hingga nilai hasil analisa tidak fluktuatif (*steady state*). Parameter yang dianalisa antara lain COD, Amonia, SVI, dan pH. Metodologi analisa parameter disesuaikan dengan standar yang tersaji pada Tabel 3. 1 dengan penjelasan metode analisa lebih rinci pada Lampiran A.

### 3.7 Analisis dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengambilan sampel dan analisa parameter, maka dapat dilakukan visualisasi hubungan data terkait hal-hal berikut:

1. Hubungan variasi waktu aerasi terhadap tingkat penyisihan polutant dalam air limbah.
2. Hubungan variasi waktu aerasi terhadap angka SVI untuk menentukan kondisi *sludge bulking* atau tidaknya.
3. Hubungan variasi *media filling ratio* dalam reaktor terhadap tingkat penyisihan polutant dalam air limbah.
4. Hubungan variasi *media filling ratio* dalam reaktor terhadap angka SVI untuk menentukan kondisi *sludge bulking* atau tidaknya.

### 3.8 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa dan visualisasi data terkait pengaruh variasi volume media dan waktu aerasi terhadap performa pengolahan dan pengurangan kondisi *sludge bulking*, dapat ditarik kesimpulan waktu aerasi dan volume media yang terbaik untuk mendapatkan kondisi

yang paling baik. Selain itu, dari hasil analisa data tersebut dapat dijadikan dasar rekomendasi Prosedur Operasional Standar (SOP) untuk IPAL PT X agar pengolahan berjalan lebih optimal.



## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Peforma IPAL Eksisting

Penelitian pendahuluan ini dilakukan uji karakteristik air limbah kegiatan pemerahan susu PT X, meliputi parameter COD, Amonia, TSS, dan pH IPAL Milking PT X. Uji dilakukan di inlet dan outlet IPAL dengan rincian titik uji tersaji pada Tabel 3. 1 untuk mengetahui karakteristik awal dan performa eksisting IPAL. Selain itu, dilakukan uji TSS *bio – starter* EM4 sebagai sumber mikroba reaktor penelitian dan dasar perhitungan volume mikroorganisme yang dibutuhkan reaktor. Metode analisa parameter disesuaikan dengan metode yang tersaji pada Tabel 3. 1. Sampel yang digunakan untuk analisa awal diambil pada 27 Maret 2022 dan dilakukan analisa pada 5 – 6 April 2022. Sampel ini juga digunakan untuk *seeding* serta aklimatisasi. Hasil analisa parameter tersebut tersaji pada Tabel 4. 1

Tabel 4. 1 Hasil Analisa Karakteristik Awal Limbah Kegiatan Pemerahan Sapi PT X dan *Bio - starter* EM4

Paramaeter	Satuan	Nilai
<b>Karakter Air Limbah Inlet</b>		
COD	mg O <sub>2</sub> /L	2804,80
TSS	mg/L	1684,00
Amonia	mg NH <sub>3</sub> – N/L	22,19 ± 0,422
pH		2,82 ± 0,180
<b>Karakter Air Limbah Outlet</b>		
COD	mg O <sub>2</sub> /L	72,00
TSS	mg/L	62,00
Amonia	mg NH <sub>3</sub> – N/L	8,79 ± 0,051
pH		5,73 ± 0,02
<b>Karakter <i>Bio – Starter</i> EM4</b>		
pH		3,74 ± 0,02

#### 4.2 *Seeding* dan Aklimatisasi

Proses *seeding* dan aklimatisasi adalah bagian dari proses *start-up* reaktor yang difungsikan untuk mendapatkan *biofilm* yang siap untuk pengoperasian MBBR. Kondisi *steady state* tercapai apabila terdapat penebalan *biofilm* dan media Kaldness telah berputar (*fluidize*). Pada penelitian ini, parameter TSS dijadikan parameter utama dan kekeruhan sebagai *rapid test* untuk menentukan kondisi *steady state*. Reaktor mulai dijalankan pada 28 Maret 2022. Media Kaldness belum *fluidize* atau masih mengambang di permukaan air (tidak berputar). Media

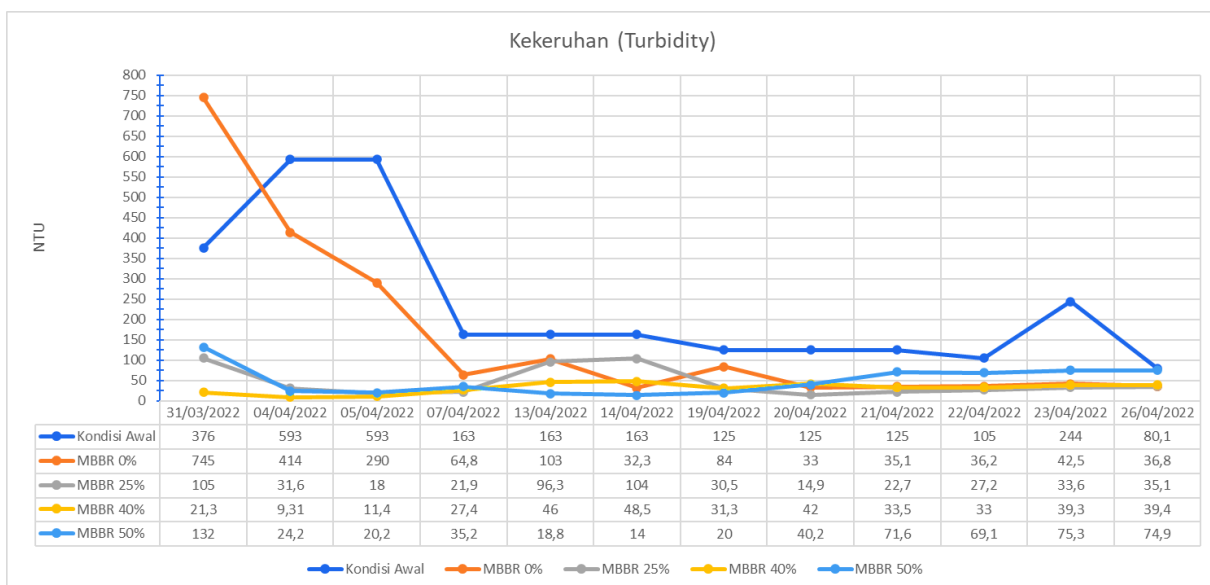
Kaldness mulai *fluidize* pada 31 Maret 2022 atau setelah 3 hari sejak awal reaktor dijalankan, namun belum terlihat penebalan *biofilm*. Penebalan *biofilm* mulai terlihat pada 7 April 2022 atau setelah 10 hari.



Gambar 4. 1 Kondisi Media Kaldness Awal (Kiri), Media Kaldness yang Telah mengalami Penebalan *Biofilm* (Tengah), dan Kondisi *Diffuser Aerator* yang Terselimuti *Biofilm* (Kanan)

Hasil analisa kekeruhan (*turbidity*) pada tahap *seeding* dan aklimatisasi tersaji pada

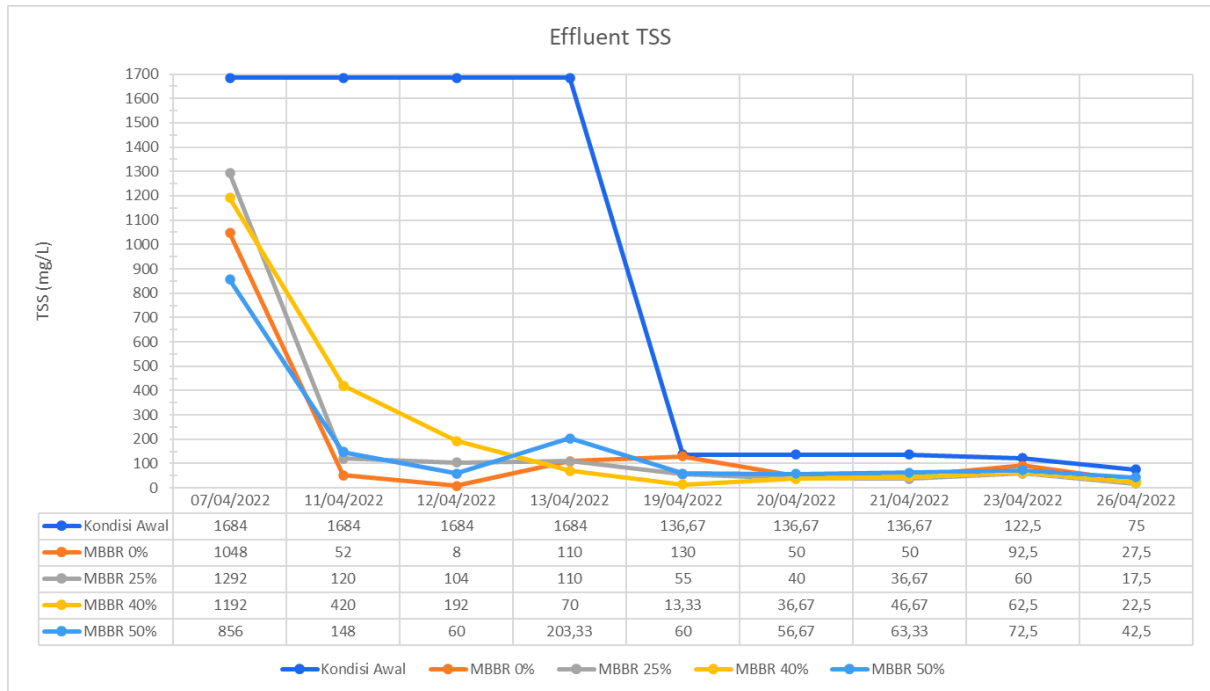
Gambar 4. 2.



Gambar 4. 2 *Trend* Kekeruhan pada Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi

Sedangkan hasil analisa TSS pada tahap *seeding* dan aklimatisasi tersaji pada Gambar 4.

3.



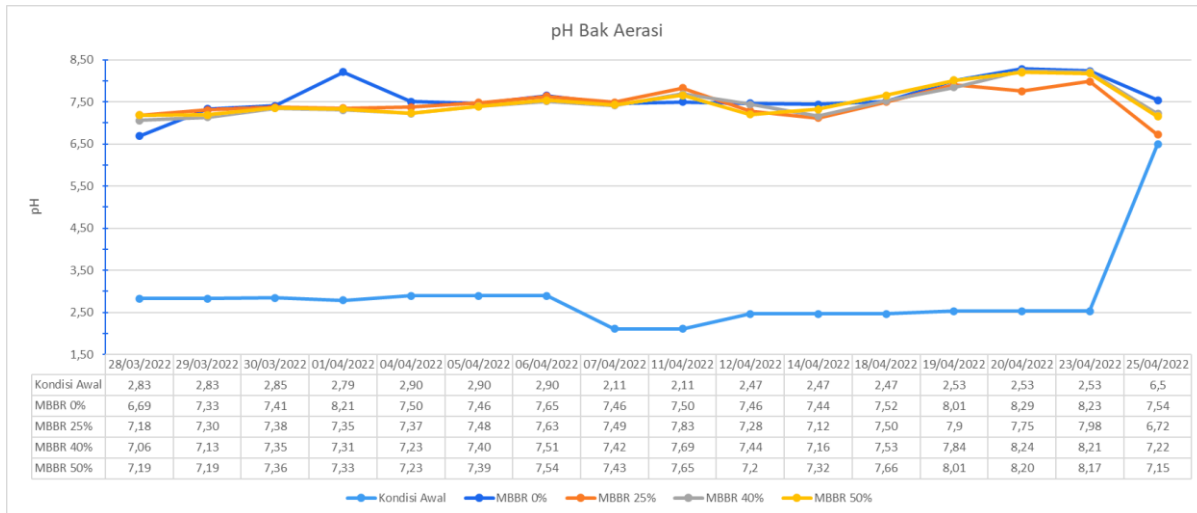
Gambar 4. 3 *Trend* TSS pada Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi

Berdasarkan *trend* grafik hasil analisa kekeruhan dan TSS, keduanya tidak mengalami fluktuasi yang terlalu signifikan pada 20 April 2022 hingga 26 April 2022. Berikut adalah hasil perhitungan rata-rata dengan standar deviasi data pada 20 April hingga 26 April 2022 untuk menunjukkan tingkat fluktuasi data:

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Rata-Rata dan Standar Deviasi Data pada 20 April hingga 26 April 2022

Keterangan	MBBR 0%		MBBR 25%		MBBR 40%		MBBR 50%	
	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/L)
Rata-rata	36,72	68,00	26,70	66,17	37,44	51,00	72,73	65,00
Standar Deviasi	3,54	37,39	8,27	63,58	3,98	24,70	2,93	17,77

Dari hasil perhitungan tersebut, nilai standar deviasi masih terlampaui tinggi namun tidak melebihi dari nilai rata-rata sehingga nilai rata-rata bukanlah representasi sampel data yang buruk (Bintari & Kusnandar, 2020; Halimatussa'diah & Putra, 2021; Mawo, Thomas, 2017). Sehingga fluktuasi data tersebut dapat cukup ditolerir dan keempat reaktor telah dapat dianggap mencapai *steady state* selama 6 hari. Analisa pH di bak aerasi juga dilakukan pada tahap *seeding* dan aklimatisasi untuk menilai kondisi mikroorganismenya. Nilai pH dalam grafik ini adalah pH rata-rata harian. Analisa pH dilakukan tiap jam per hari. Hasil analisa pH di bak aerasi tersaji pada Gambar 4. 4.



Gambar 4. 4 *Trend* pH Bak Aerasi pada Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi

Dari Gambar 4. 4, rata-rata pH bak aerasi MBBR 0% adalah  $7,61 \pm 0,405$ ; MBBR 25% adalah  $7,45 \pm 0,320$ ; MBBR 40% adalah  $7,48 \pm 0,353$ ; dan MBBR 50% adalah  $7,50 \pm 0,349$  dari kondisi pH air limbah awal adalah  $2,61 \pm 0,269$ . Kondisi pH ideal bak aerasi agar menciptakan lingkungan bagi mikroba pengolah air limbah yang baik adalah berkisar antara 6,5 – 9,0 (Spellman, 2000). Sehingga bak aerasi pada reaktor penelitian ini sudah dinyatakan ideal untuk pengolahan air limbah. Tahap *seeding* dan aklimatisasi dianggap telah selesai.

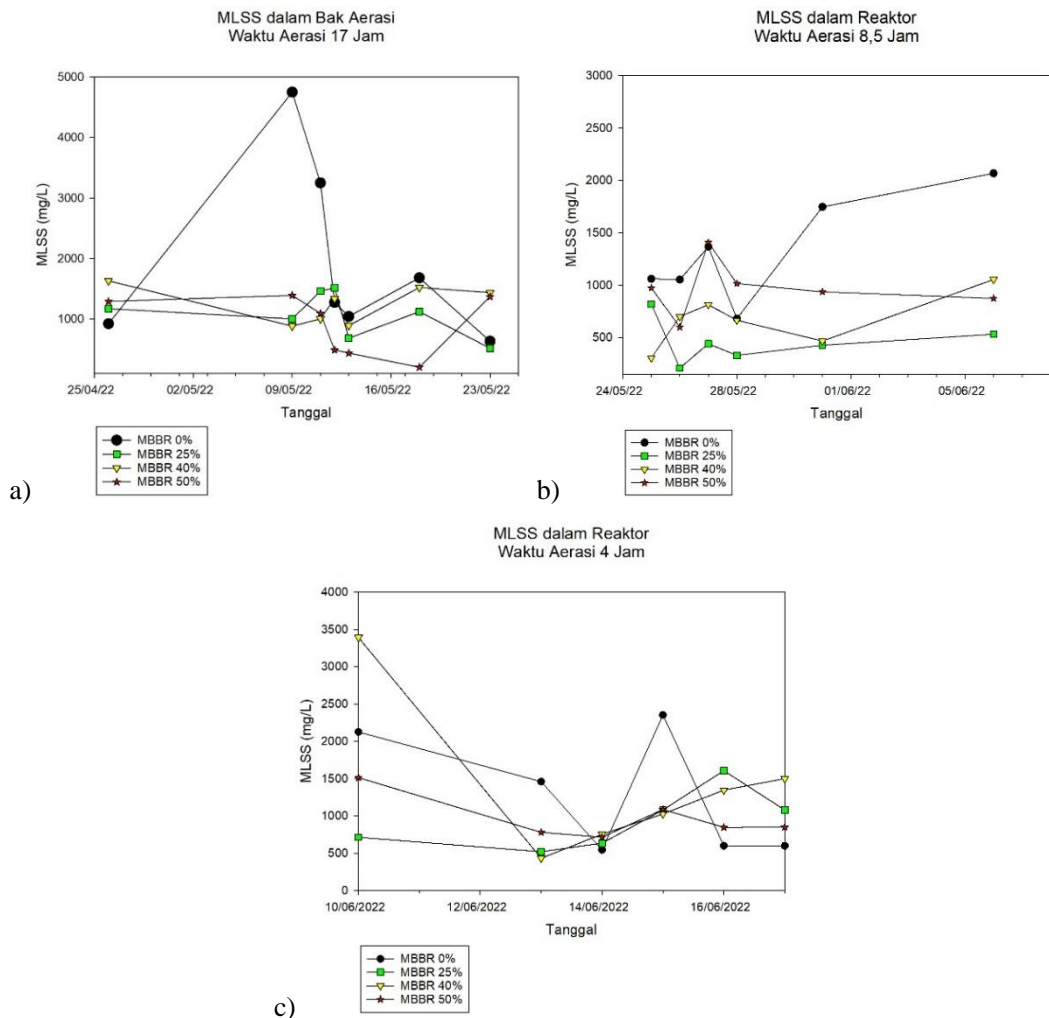
### 4.3 Pelaksanaan Penelitian Utama

Pelaksanaan penelitian utama berlangsung pada 20 April 2022 hingga 13 Mei 2022. Reaktor penelitian diletakkan di dalam *workshop* Departemen Teknik Lingkungan dan dikondisikan agar terhindar dari paparan cahaya matahari dan air hujan langsung. Reaktor terdiri dari bak aerasi dengan kapasitas pengolahan bersih 10 L dan bak sedimentasi. Reaktor berjumlah 4 pasang bak aerasi dan bak sedimentasi sesuai dengan jumlah variasi persentase volume media MBBR yang direncanakan. Reaktor dijalankan dengan sistem *continuous flow*. Debit air limbah diatur menggunakan *dosing pump*. Aerator yang digunakan untuk aerasi reaktor berkapasitas 4 L/menit dengan menggunakan *diffuser* berjenis batu (*fine bubble diffuser*).

#### 4.3.1 Hasil Analisa Konsentrasi MLSS dalam Reaktor

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Asadiya & Karnaningroem (2018), Holifah (2019), dan Munawaroh, *et al.* (2013), kadar EM4 yang paling efektif untuk menyediakan sumber mikroba yang ideal bagi reaktor adalah 5% dari total volume pengolahan reaktor. Sedangkan menurut kriteria desain yang tersaji pada Tabel 2. 8, konsentrasi MLSS minimal

adalah 4000 mg/L. Analisa ini bertujuan untuk menunjukkan kecukupan kadar EM4 terhadap kriteria MLSS yang dibutuhkan. Mikroba pada reaktor penelitian ini didapatkan dari probiotik *bio – starter* EM4 yang dituangkan ke bak aerasi sebanyak 500 mL pada saat tahap awal *seeding*. Hasil dari perlakuan tersebut, nilai MLSS reaktor selama penelitian utama tersaji secara lengkap pada Tabel B. 2 pada lembar Lampiran B. Grafik nilai MLSS dalam reaktor selama penelitian tersaji pada Gambar 4. 5.



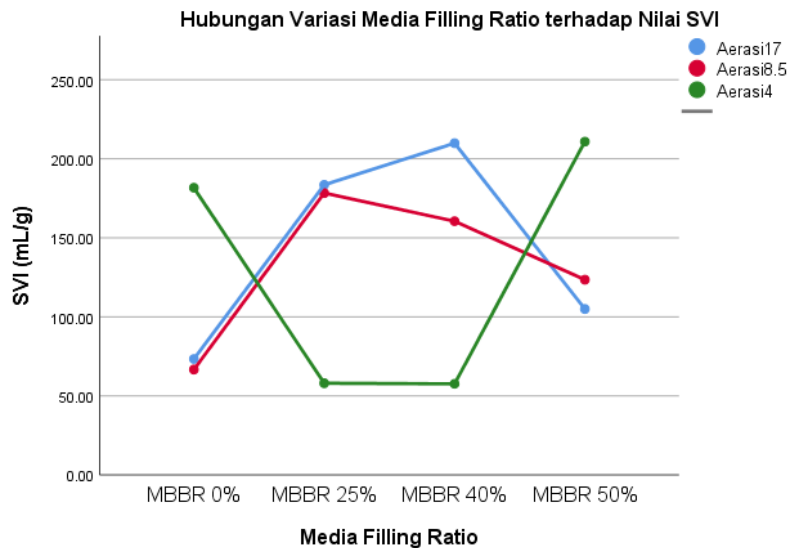
Gambar 4. 5 Konsentrasi MLSS dalam Reaktor pada a) Waktu Aerasi 17 Jam; b) Waktu Aerasi 8,5 Jam; c) Waktu Aerasi 4 Jam

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, ketiga reaktor yang diisi MBBR (MBBR 25%, MBBR 40%, dan MBBR 50%) tidak mencapai kriteria desain yang disyaratkan pada Tabel 2. 8, yaitu konsentrasi MLSS ekuivalen minimal pada MBBR adalah 4000 mg/L.

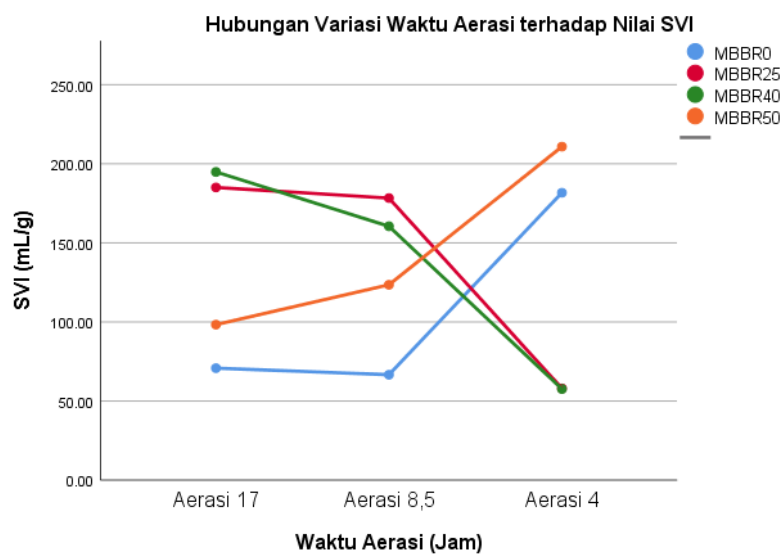
### 4.3.2 Hasil Analisa Nilai SVI dalam Reaktor

Nilai SVI adalah indikator dari kualitas pengendapan lumpur aktif. Menurut Spellman (2000), nilai SVI ideal adalah berkisar antara 100 – 250 mL/g. Namun, menurut Qasim & Zhu (2017), reaktor telah dinyatakan mengalami ketidak-idealitas pengendapan yaitu *sludge bulking*

ketika angka SVI melebihi 150 mL/g. Grafik hubungan variasi *media filling ratio* terhadap nilai SVI dan hubungan variasi waktu aerasi terhadap nilai SVI secara berurutan tersaji pada Gambar 4. 6 dan Gambar 4. 7.



Gambar 4. 6 Hubungan Variasi *Media Filling Ratio* terhadap Nilai SVI



Gambar 4. 7 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai SVI

Berdasarkan hasil analisa, baik pada waktu aerasi 17 jam maupun 8,5 jam, reaktor kontrol atau MBRR 0% tidak mengalami *sludge bulking* namun 12 nilai SVI dari 13 percobaan berada dibawah 100 mL/g (nilai lebih lengkap tersaji pada Tabel B. 4), yang mengartikan reaktor MBBR 0% mengalami kondisi *pin-floc*. Kondisi *pin-floc* adalah salah satu bentuk kegagalan atau buruknya kualitas pengendapan lumpur aktif mengakibatkan *effluent* air limbah keruh dan seringkali diikuti dengan konsentrasi TSS yang tinggi (Jenkins *et al.*, 2003; Spellman, 2000). Hal ini dibuktikan pada nilai kekeruhan rata-rata reaktor MBBR 0% yang paling tinggi

diantara reaktor lainnya yaitu sebesar 134,18 NTU pada waktu aerasi 17 jam dan 6,88 NTU pada waktu aerasi 8,5 jam (nilai lebih lengkap tersaji pada Tabel B. 5). Reaktor MBBR 50% juga mengalami *pin-floc* pada waktu aerasi 17 jam ditandai dengan 5 nilai SVI dari 7 percobaan berada dibawah 100 mL/g. Namun pada waktu aerasi 8,5 jam, nilai SVI reaktor MBBR 50% lebih ideal. Hal ini dapat diakibatkan oleh adanya pengurangan waktu aerasi yang mengartikan juga adanya penambahan debit air limbah sehingga kadar organik yang menuju sistem tersedia dalam jumlah yang ideal. Rasio F/M menjadi ideal ketika debit air limbah ditambah. Rasio F/M ideal menurut Javid, *et al.* (2013) adalah 0,2-0,5 kgBOD<sub>5</sub>/kgMLVSS/hari. Hal ini mengakibatkan nilai kekeruhan reaktor MBBR 50% pada waktu aerasi 8,5 jam adalah nilai terbaik daripada reaktor lainnya.

Pada reaktor MBBR 25%, dengan nilai rata-rata SVI sebesar  $185,05 \pm 107,45$  mL/g menjadikan reaktor MBBR 25% ada di peringkat kedua dari ketiga nilai SVI rata-rata reaktor MBBR pada waktu aerasi 17 jam. Namun, berdasarkan nilai maksimum dan minimumnya, nilai SVI reaktor MBBR 25% telah menyimpang terlalu jauh dari kriteria nilai SVI ideal dibandingkan dengan reaktor MBBR 50% pada waktu aerasi 17 jam. Nilai minimum reaktor MBBR 25% pada waktu aerasi 17 jam terpaut 0,88 dari nilai minimum SVI ideal sedangkan nilai maksimumnya sudah terpaut hingga 151,79 yang mengartikan reaktor MBBR 25% pernah mengalami *sludge bulking* yang parah pada waktu aerasi 17 jam. Pada waktu aerasi 8,5 jam, reaktor MBBR 25% juga menghasilkan nilai rata-rata SVI paling tinggi yaitu  $178,30 \pm 86,63$  mL/g dan memiliki nilai maksimum yang telah melampaui 35,71 mL/g nilai SVI ideal. Reaktor yang mengalami *sludge bulking* dengan nilai SVI lebih dari 250 mL/g umumnya memiliki karakter *supernatant* yang sangat jernih, namun seringkali diikuti dengan lapisan *sludge blanket* yang mengapung dan melimpah (*overflow*) menuju unit-unit berikutnya (Jenkins *et al.*, 2003). Hal ini dibuktikan dengan nilai kekeruhan rata-rata reaktor MBBR 25% pada waktu aerasi 17 jam adalah 42,14 NTU dan 3,56 NTU pada waktu aerasi 8,5 jam menjadikannya di peringkat kedua dari ketiga nilai kekeruhan rata-rata reaktor MBBR. Tingginya nilai NTU dapat diakibatkan adanya peristiwa *sludge blanket* yang melimpah menuju outlet bak.

Reaktor MBBR 40% memiliki nilai SVI rata-rata yang paling tinggi diantara reaktor lainnya pada waktu aerasi 17 jam yaitu  $194,83 \pm 60,56$  mL/g dan memiliki nilai maksimal 276,07 mL/g atau telah terpaut 26,07 dari nilai maksimum SVI ideal. Nilai maksimum tersebut hanya terjadi sekali dan tidak ada kejadian nilai dibawah minimum. Hal ini mengartikan bahwa MBBR 40% adalah reaktor yang menghasilkan kualitas pengendapan paling ideal walaupun sekali mengalami *sludge bulking* namun tidak separah yang terjadi pada reaktor MBBR 25% serta

reaktor MBBR 40% tidak pernah mengalami *pin-floc* pada waktu aerasi 17 jam. Hal ini juga dibuktikan dari nilai kekeruhan rata-rata reaktor MBBR 40% yang paling rendah daripada reaktor lainnya pada waktu aerasi 17 jam. Namun, pada waktu aerasi 8,5 jam, MBBR 40% menghasilkan kekeruhan yang lebih tinggi daripada MBBR 50%, dikarenakan MBBR 40% mengalami *bulking* pada waktu aerasi 8,5 jam.

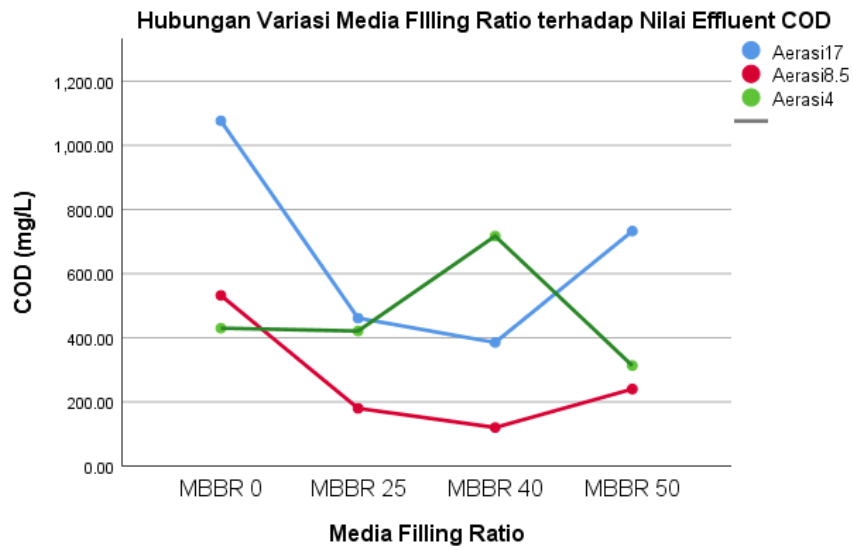
Kondisi berbeda pada waktu aerasi 4 jam. Reaktor MBBR 25% dan MBBR 40% lebih sering mengalami kondisi *pin-floc* dan seringkali terdapat kegagalan pengendapan lumpur aktif (lumpur mengapung). Reaktor kontrol MBBR 0% mengalami ketidakstabilan nilai SVI ditandai dengan nilai maksimum dan minimumnya yang terpaut jauh dari nilai SVI ideal. Reaktor MBBR 50% dinilai lebih stabil pada waktu aerasi 4 jam ditandai dengan *trend* nilai SVI yang lebih landai dan tidak terpaut jauh dari rentang nilai SVI ideal.

Berdasarkan nilai SVI rata-rata, nilai maksimum, dan nilai minimum, reaktor MBBR 50% dengan waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi yang paling baik karena memiliki nilai SVI yang tidak melampaui terlalu jauh dari nilai SVI maksimum-minimum ideal sehingga kekeruhannya menjadi yang paling rendah.

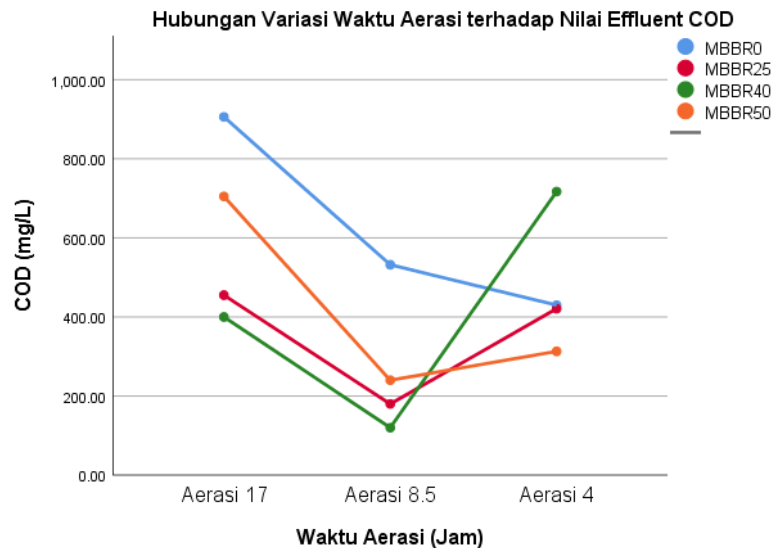
#### **4.3.3 Hasil Analisa Konsentrasi COD Effluen Reaktor**

Parameter COD dijadikan parameter utama untuk menilai konsentrasi organik yang terkandung dalam air limbah. Kandungan organik yang dimaksud antara lain karbohidrat, protein, dan lemak. Sedangkan COD merpresentasikan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat organik menjadi senyawa sederhana oleh larutan kimia oksidator kuat dalam suasana asam (Qasim & Zhu, 2017). Hasil analisa laboratorium dari konsentrasi COD *effluent* dari keempat reaktor akan dijadikan dasar data untuk dilakukan analisa hubungan variasi *media filling ratio* terhadap konsentrasi COD dan hubungan variasi waktu aerasi terhadap konsentrasi COD. Data hasil analisa COD secara lengkap tersaji di Tabel B. 1 pada lembar Lampiran B. Grafik hubungan variasi *media filling ratio* terhadap konsentrasi COD tersaji pada Gambar 4. 8 sedangkan hubungan variasi waktu aerasi tersaji pada Gambar 4. 9.





Gambar 4. 8 Hubungan Variasi *Media Filling Ratio* terhadap Nilai *Effluent COD*



Gambar 4. 9 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai *Effluent COD*

Berdasarkan grafik hubungan variasi *media filling ratio* terhadap nilai *effluent COD*, semakin tinggi *media filling ratio*, maka nilai *effluent COD* berkurang. Hal ini mengartikan bahwa penggunaan MBBR dapat meningkatkan penyisihan COD. Namun, pada variasi *media filling ratio* 50% (MBBR 50%), terdapat kenaikan nilai *effluent COD* mengartikan penyisihan COD pada MBBR 50% tidak sebaik reaktor lainnya. Hal ini dapat dikarenakan jumlah media dalam reaktor terlalu banyak, sehingga pengadukan menjadi sulit dan menciptakan banyak dead zone. Volume media MBBR maksimal adalah 60% agar pengadukan dalam bak aerasi tetap terjadi secara ideal sehingga kontak antara mikroorganisme dengan bahan organik terjadi secara maksimal. Ketika terdapat dead zone, kontak antara mikroorganisme dengan bahan organik

tidak terjadi secara menyeluruh dalam reaktor, sehingga efisiensi penyisihan menjadi berkurang (Qasim & Zhu, 2017). Walaupun semakin banyak media akan semakin menyediakan banyak permukaan untuk mikroorganisme berkembang, namun apabila pengadukan tidak ideal sehingga menciptakan dead zone, maka mikroorganisme tidak dapat berkontak dengan bahan organik secara ideal. Pengadukan dalam reaktor MBBR 25% dan MBBR 0% jauh lebih baik daripada reaktor MBBR 50% namun efisiensinya tidak sebaik dengan reaktor MBBR 40%. Hal ini dikarenakan jumlah media dalam reaktor belum menyediakan permukaan untuk tumbuhnya mikroorganisme dalam jumlah cukup. Sehingga, penyisihan COD lebih rendah daripada reaktor MBBR 40%.

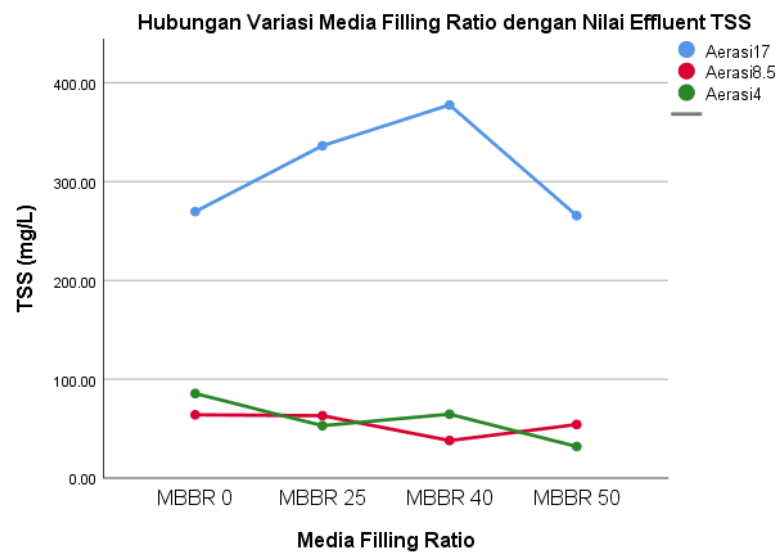
Pada grafik hubungan variasi waktu aerasi terhadap nilai *effluent* COD, terdapat penurunan nilai *effluent* COD setelah waktu aerasi dikurangi dari 17 jam menjadi 8,5 jam. Namun ada peningkatan nilai ketika waktu aerasi dikurangi menjadi 4 jam. Hal ini dapat diakibatkan bahwa penyisihan polutan oleh mikroorganisme dapat terjadi dengan baik pada waktu aerasi atau waktu kontak yang tepat. Terlalu tinggi maupun terlalu rendah waktu aerasi dapat mempengaruhi penyisihan polutan (Wang *et al.*, 2020). Penelitian Wang *et al.* (2020) juga membuktikan bahwa reaktor MBBR untuk mengolah limbah pada waktu aerasi 6 jam menghasilkan persentase penyisihan COD lebih besar daripada saat waktu aerasi 24 jam (84,62% pada 6 jam; 80,99% pada 24 jam).

Pada penelitian ini, reaktor MBBR 40% dengan waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi yang paling ideal dalam menyisihkan COD, didasarkan pada konsentrasi COD *effluent* rata-rata yang paling rendah diantara reaktor lainnya yaitu  $120,00 \pm 53,86$  mg/L, nilai penyisihan (%R) rata-rata yang paling tinggi 96,6%, konsentrasi COD *effluent* maksimum, serta konsentrasi minimum yang juga paling rendah diantara reaktor lainnya (nilai lebih lengkap tersaji pada Tabel B. 1).

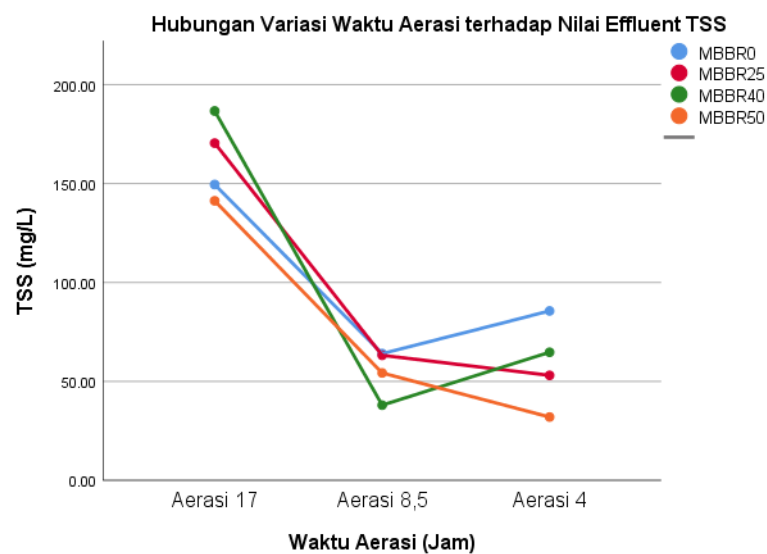
#### **4.3.4 Hasil Analisa Konsentrasi TSS Effluen Reaktor**

Parameter TSS juga menjadi parameter utama karena TSS mengandung zat organik juga zat inorganik seperti sedimen, pasir, dan tanah liat. Fitoalga dan beberapa mikroba patogen juga berkontribusi didalam kandungan TSS. Dalam konteks kualitas air permukaan, kandungan partikel tersuspensi yang tinggi dapat menghambat cahaya matahari masuk sehingga tanaman dan fitoalga air tidak bisa berfotosintesis untuk memproduksi oksigen bagi kehidupan organisme air lainnya. Selain itu, partikel tersuspensi juga dapat menyerap panas matahari yang membuat suasana air menjadi hangat dan menurunkan konsentrasi *Dissolve Oxygen* (DO) (Inc., 2014; Qasim & Zhu, 2017). Hasil analisa TSS di tiap reaktor tersaji secara lengkap pada Tabel

B. 6 pada lembar Lampiran B. Hasil analisa tersebut kemudian dianalisa hubungannya dengan variasi *media filling ratio* dan variasi waktu aerasi. Grafik hubungan variasi *media filling ratio* terhadap nilai *effluent* TSS dan hubungan variasi waktu aerasi terhadap nilai *effluent* TSS secara berurutan tersaji pada Gambar 4. 10 dan Gambar 4. 11. Berdasarkan hasil penelitian, reaktor MBBR 40% dengan waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi paling ideal dalam menyisihkan TSS, didasarkan pada konsentrasi TSS *effluent* rata-rata yang paling rendah diantara reaktor lainnya yaitu 33,89 mg/L.



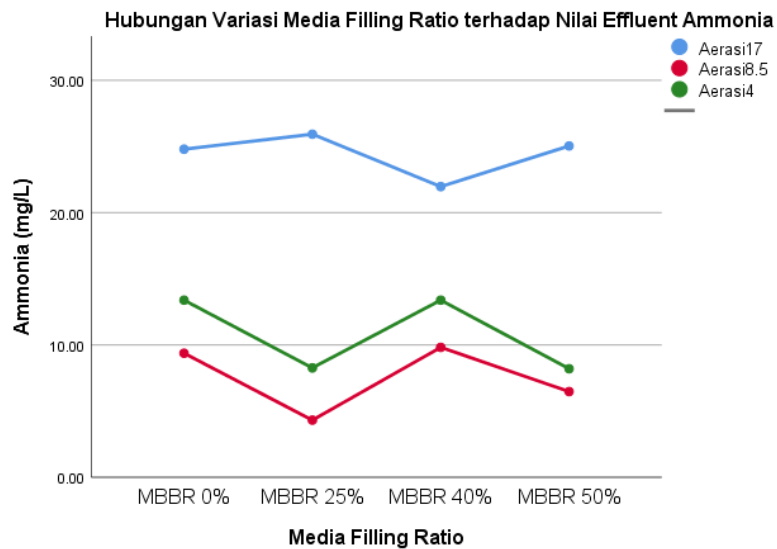
Gambar 4. 10 Hubungan Variasi *Media Filling Ratio* terhadap Nilai *Effluent* TSS



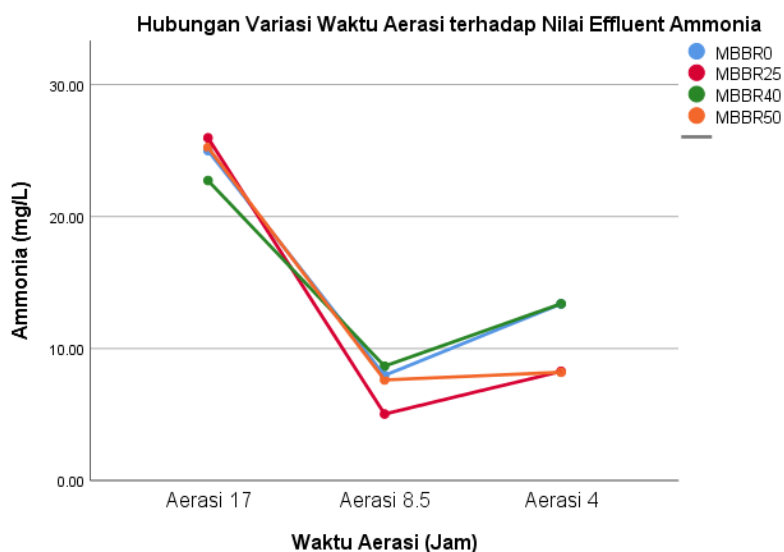
Gambar 4. 11 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai *Effluent* TSS

### 4.3.5 Hasil Analisa Konsentrasi Amonia Effluen Reaktor

Zat ammonia adalah hasil dari hidrolisis nitrogen organik seperti protein. Keberadaan ammonia dalam lingkungan air dapat membahayakan karena bersifat racun. Tingkat ammonia juga dapat menjadi indikator seberapa aktif kegiatan dekomposisi organik oleh mikroba (Qasim & Zhu, 2017). Pada penelitian ini, kandungan ammonia pada *effluent* dimungkinkan berada dalam konsentrasi tinggi mengingat limbah susu mengandung protein, asam amino, dan nitrogen organik lainnya yang tinggi. Hasil analisa dari konsentrasi ammonia dari keempat reaktor tersaji secara lengkap pada Tabel B. 7 pada lembar Lampiran B. Grafik hubungan variasi *media filling ratio* dengan nilai *effluent* ammonia tersaji pada Gambar 4. 12, sedangkan hubungan variasi waktu aerasi dengan nilai *effluent* ammonia tersaji pada Gambar 4. 13.



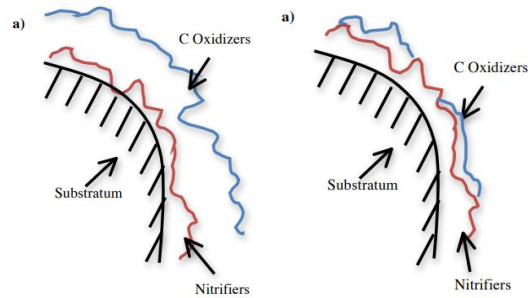
Gambar 4. 12 Hubungan Variasi *Media Filling Ratio* terhadap Nilai *Effluent* Ammonia



Gambar 4. 13 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai *Effluent* Ammonia

Pada penelitian ini, terdapat data konsentrasi Ammonia *influent* yang lebih kecil daripada *effluent*. Hal ini mengartikan air limbah *influent* mengandung nitrogen yang masih dalam bentuk organik (protein, asam amino, dsb.) yang juga mengartikan air limbah susu yang diambil masih dalam keadaan segar dan belum terjadi dekomposisi. Konsentrasi ammonia yang meningkat diakibatkan karena adanya dekomposisi bahan organik dalam reaktor (Qasim & Zhu, 2017). Nilai rata-rata *effluent* ammonia pada waktu aerasi 17 jam berdekatan antar satu reaktor dengan reaktor lainnya. Hal ini menandakan pengaruh variasi media pada penyisihan Ammonia tidak berpengaruh secara signifikan. Pernyataan ini dibuktikan pada analisa ANOVA yang disajikan pada Tabel 4. 4 dengan nilai signifikansi (Sig.) lebih besar dari 0,05. Tidak adanya signifikansi pengaruh antar perbedaan perlakuan pada waktu aerasi 17 jam dapat diakibatkan dari:

1. **Keempat reaktor sama-sama tidak dapat memproduksi bakteri *nitrifier* untuk melakukan nitrifikasi.** Bakteri *nitrifier* adalah bakteri yang bersifat autotofik. Sedangkan bakteri yang berfungsi mendegradasi karbon organik (COD dan BOD) adalah bakteri bersifat heterotrofik. Bakteri autotofik berkembang lebih lama daripada bakteri heterotrofik. Bakteri *nitrifier* umumnya mulai aktif ketika bakteri heterotofik telah mengonsumsi karbon organik secara menyeluruh (Qasim & Zhu, 2017). Hal inilah yang menjadi alasan pada parameter COD terdapat signifikansi sementara pada parameter Ammonia tidak ada signifikansi. Perbedaan variasi *media filling ratio* mempengaruhi kinerja dari bakteri heterotrofik namun keempat variasi tersebut tidak bisa menumbuhkan bakteri *nitrifier*.
2. **Beban BOD *influent* lebih dari 0,5 g/m<sup>2</sup>/hari dan Rasio C/N atau BOD/TKN lebih dari 1,0.** Seperti yang telah disebutkan pada poin nomor satu, bakteri *nitrifier* atau bakteri autotofik akan aktif ketika bakteri heterotofik telah mengonsumsi karbon organik secara menyeluruh. Maka dari itu, BOD yang boleh masuk kedalam reaktor untuk terjadi nitrifikasi haruslah dalam konsentrasi kecil. Hal ini sangatlah krusial terutama pada reaktor sistem *attached growth* yang apabila BOD yang diolah masih dalam konsentrasi besar, maka lapisan bakteri *nitrifier* akan tertutup dengan lapisan bakteri heterotofik. Lapisan bakteri *nitrifier* lama-kelamaan akan kekurangan nutrisi dan oksigen sehingga akan mati atau luruh (Bengtson, 2017; Hoang, 2013). Gambar 4. 14 adalah ilustrasi lapisan bakteri pada media *biofilm*.



Gambar 4. 14 Kondisi Lapisan *Biofilm* Ketika Rasio C/N Tinggi (kiri) dan Ketika Rasio C/N Rendah (kanan)

Sumber: Hoang (2013)

Tebalnya lapisan bakteri Heterotofik (*C Oxidizers*) menyebabkan lapisan bakteri *nitrifier* kekurangan nutrisi dan oksigen. Menurut Bengston (2017), ketika merencanakan MBBR untuk nitrifikasi, maka perlu ada pengolahan awal (*pre-treatment*) terlebih dahulu untuk mengurangi kadar organik sehingga nitrifikasi dapat berjalan optimal. Penelitian yang dilakukan Andreottola, *et al.* (2000) membuktikan bahwa pada beban BOD yang lebih tinggi, efisiensi nitrifikasi MBBR lebih rendah daripada pada reaktor lumpur aktif konvensional. Penelitian yang dilakukan oleh Boller dan Gujer (1986) juga membuktikan bahwa nitrifikasi pada reaktor sistem *biofilm* akan optimum setelah operasional bertahun-tahun (Rusten *et al.*, 2006). Maka dari itu pada instalasi MBBR skala besar, kompartemen untuk terjadinya BOD *removal* dan nitrifikasi dibangun secara terpisah.

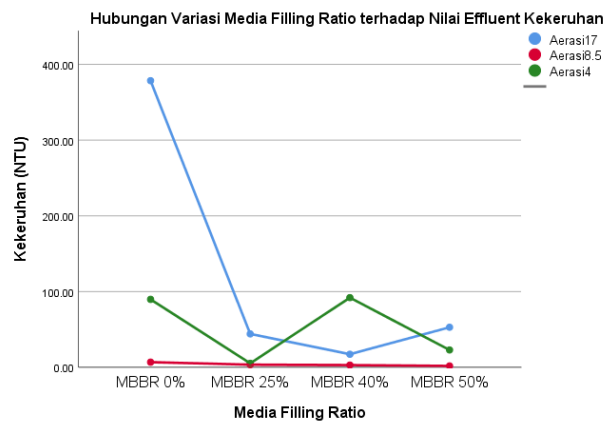
Pada waktu aerasi 8,5 jam, terjadi signifikansi nilai *effluent ammonia* antar reaktor. Hal ini dimungkinkan disebabkan karena adanya penambahan debit sehingga rasio nitrogen mencukupi untuk terjadinya nitrifikasi. Kejadian ini juga terjadi pada waktu aerasi 4 jam yang menunjukkan adanya signifikansi nilai *effluent ammonia* antar reaktor. Pertumbuhan mikroorganisme *nitrifiers* pada reaktor sistem *single-stage* sangat bergantung pada rasio BOD<sub>5</sub>/TKN. Semakin rendah rasionya, maka proses nitrifikasi akan terjadi jauh lebih baik (Qasim & Zhu, 2017). Hal ini juga membuktikan bahwa variasi waktu aerasi yang memengaruhi hasil ammonia secara signifikan, dibuktikan juga dengan nilai Sig. kurang dari 0,05 yang tersaji pada Tabel 4. 4. Peristiwa ini dialami pada penelitian yang dilakukan oleh Kamstra, *et al.* (2017) bahwa *media filling ratio* tidak berpengaruh signifikan pada *effluent Total Ammonia Nitrogen* (TAN). Skala pengolahan MBBR adalah variabel yang memberikan efek signifikan pada penyisihan ammonia. Semakin besar skala pengolahan MBBR, semakin baik penyisihan ammonia. Sementara *media filling ratio* memengaruhi namun tidak secara signifikan (Kamstra *et al.*, 2017). Serupa dengan yang terjadi pada hasil analisa COD, terjadi

penurunan nilai *effluent* ammonia ketika waktu aerasi diturunkan dari 17 jam menjadi 8,5 jam, namun kembali meningkat ketika waktu aerasi diturunkan menjadi 4 jam. Hal ini dapat diakibatkan bahwa penyisihan polutan oleh mikroorganismenya dapat terjadi dengan baik pada waktu aerasi atau waktu kontak yang tepat. Terlalu tinggi maupun terlalu rendah waktu aerasi dapat mempengaruhi penyisihan polutan (Wang *et al.*, 2020).

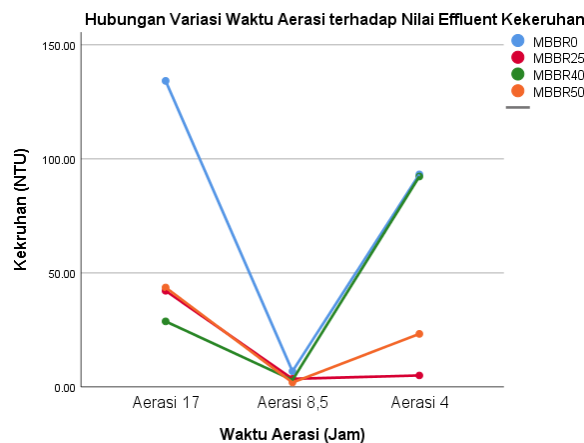
Pada penelitian ini, reaktor MBBR 25% dengan waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi ideal untuk menghasilkan *effluent* ammonia rata-rata yang paling rendah yaitu  $5,04 \pm 3,22$  mg/L, nilai maksimum, dan nilai minimum yang paling rendah diantara reaktor lainnya.

#### 4.3.6 Hasil Analisa Kekeruhan *Effluent* Reaktor

Kekeruhan dapat memperkirakan pergerakan konsentrasi TSS dan organik dengan lebih cepat (*rapid test*) berdasarkan tingkat kekeruhan sampel (Inc., 2014). Selain itu, kekeruhan juga digunakan sebagai indikator kualitas pengendapan yang berhubungan dengan nilai SVI. Grafik hubungan variasi *media filling ratio* terhadap nilai *effluent* kekeruhan dan hubungan variasi waktu aerasi terhadap nilai *effluent* kekeruhan secara berurutan tersaji Gambar 4. 15 dan Gambar 4. 16.



Gambar 4. 15 Hubungan Variasi *Media Filling Ratio* terhadap Nilai *Effluent* Kekeruhan

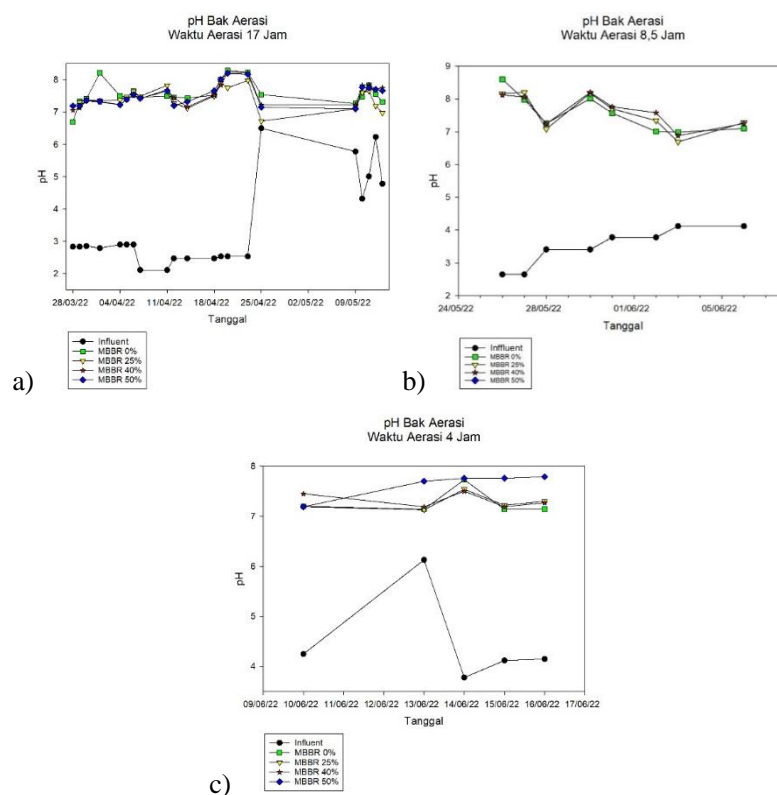


Gambar 4. 16 Hubungan Variasi Waktu Aerasi terhadap Nilai *Effluent* Kekeruhan

Nilai *effluent* kekeruhan secara lengkap tersaji pada Tabel B. 5 pada lembar Lampiran B. Sesuai dengan nilai SVI yang telah dijelaskan sebelumnya, reaktor MBBR 50% dengan waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi yang paling ideal untuk menghasilkan nilai kekeruhan paling rendah karena dapat menghasilkan nilai SVI yang juga paling baik.

#### 4.3.7 Hasil Analisa pH dalam Reaktor

Untuk menyediakan lingkungan reaktor yang baik bagi perkembangan mikroorganisme, pH bak aerasi haruslah berkisar antara 6 – 9 (Spellman, 2000). Analisa pH dilakukan dari awal masa *seeding* dan aklimatisasi hingga akhir penelitian. Hasil analisa dari pH dari keempat reaktor tersaji sebagai berikut:



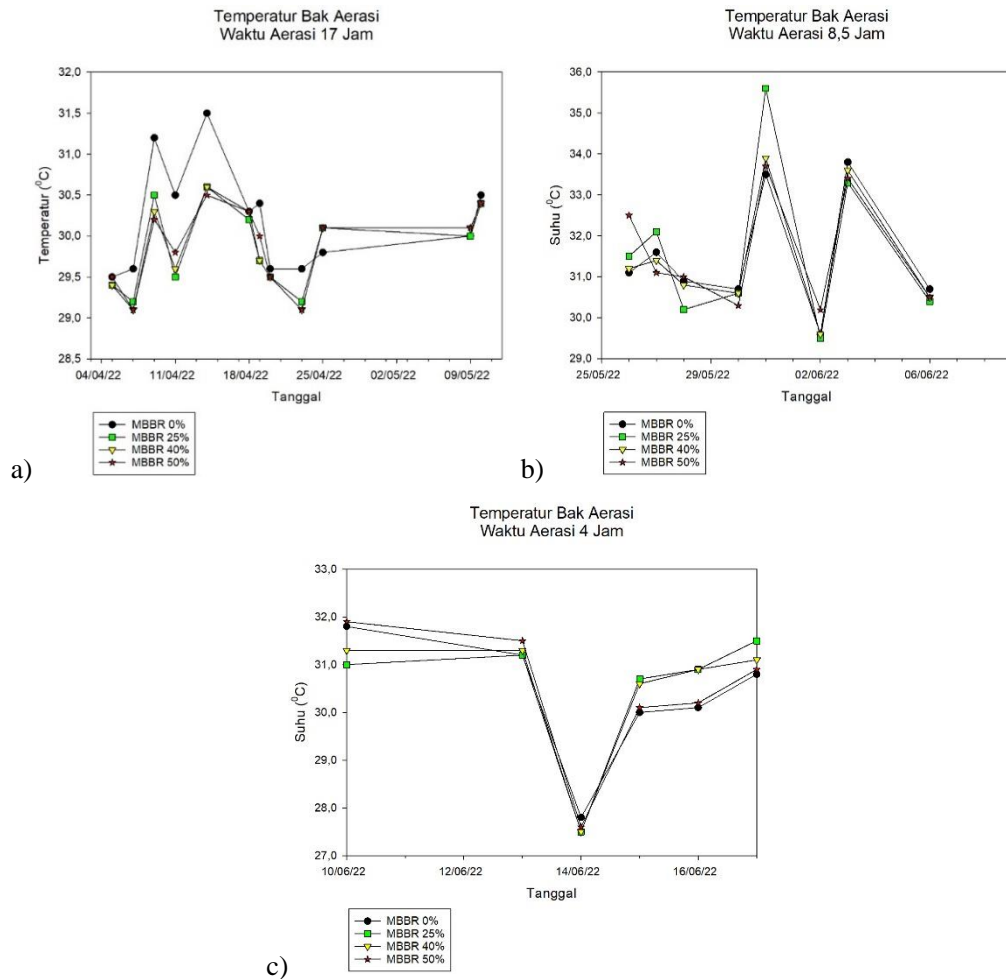
Gambar 4. 17 pH Bak Aerasi pada a) Waktu Aerasi 17 Jam; b) Waktu Aerasi 8 Jam; c) Waktu Aerasi 4,5 Jam

Berdasarkan grafik tersebut, pH bak aerasi berada dalam rentang 6 – 8 yang berarti sesuai dengan kriteria pH ideal untuk pertumbuhan mikroorganisme.

#### 4.3.8 Hasil Analisa Temperatur dalam Reaktor

Belum ada angka temperatur yang pasti untuk menyediakan lingkungan yang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme. Namun, menurut Spellman (2000), ketika temperatur menurun, aktivitas mikroorganisme juga akan menurun. Ketika temperatur menjadi hangat, bak aerasi akan cenderung untuk mengalami denitrifikasi dan perkembangan bakteri *filamentous*. Hasil analisa temperatur dari keempat reaktor tersaji pada Gambar 4. 18.



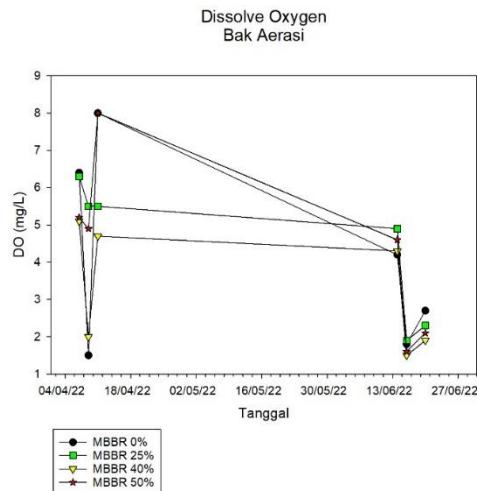


Gambar 4. 18 Temperatur Bak Aerasi pada a) Waktu Aerasi 17 Jam; b) Waktu Aerasi 8,5 Jam; c) Waktu Aerasi 4 Jam

Hasil analisa suhu secara lengkap tersaji pada Tabel B. 10. Berdasarkan data tersebut, suhu bak aerasi berkisar antara 27,5 – 33,9 °C yang mengartikan temperatur bak aerasi pada kondisi normal.

### 4.3.9 Hasil Analisa DO dalam Reaktor

Konsentrasi DO (*Dissolve Oxygen*) ideal adalah 2,0 – 2,5 mg/L (Spellman, 2000). Pengukuran DO pada penelitian ini hanya dapat dilakukan sebanyak 4 (empat) hari dikarenakan ada kerusakan alat DO meter, sehingga pengukuran tidak bisa dilanjutkan. Hasil pengukuran DO secara lengkap tersaji pada Tabel B. 9. Grafik pergerakan nilai DO di tiap reaktor tersaji pada Gambar 4. 19.



Gambar 4. 19 Konsentrasi DO dalam Bak Aerasi

Grafik tersebut apabila dirincikan dalam tabel tersaji sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Konsentrasi DO dalam Bak Aerasi

Tanggal	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
07/04/2022	6,4	6,3	5,1	5,2
09/04/2022	1,5	5,5	2,0	4,9
11/04/2022	8,0	5,5	4,7	8,0
14/06/2022	4,2	4,9	4,3	4,6
16/06/2022	1,8	1,9	1,5	1,6
20/06/2022	2,7	2,3	1,9	2,1
<b>Rata-rata</b>	4,1	4,4	3,3	4,4
<b>Standar Deviasi</b>	2,6	1,8	1,6	2,3
<b>Nilai Maks.</b>	8,0	6,3	5,1	8,0
<b>Nilai Min.</b>	1,5	1,9	1,5	1,6

#### 4.4 Analisa Pengaruh Variasi Waktu Aerasi dan Variasi Media Filling Ratio Terhadap Parameter COD, TSS, dan Ammonia

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, kemudian dilakukan analisa statistik untuk mengetahui pengaruh atau signifikansi variasi *media filling ratio* dan variasi waktu aerasi terhadap parameter COD, TSS, SVI, Ammonia, dan NTU. Penentuan signifikansi menggunakan metode uji ANOVA (*Analysis of Variance*) yang menunjukkan apakah tiap variabel perlakuan berpengaruh secara signifikan pada hasil perlakuan. Pada penelitian ini, uji ANOVA bertujuan untuk menentukan apakah variasi *media filling ratio* berpengaruh secara signifikan pada hasil perlakuan, apakah variasi waktu aerasi berpengaruh secara signifikan pada hasil perlakuan, dan apakah variasi *media filling ratio* dan waktu aerasi saling berinteraksi dan memengaruhi hasil perlakuan secara signifikan. Parameter variabel perlakuan dikatakan signifikan apabila nilai signifikansi (Sig.) kurang dari 0,05. Apabila nilai

Sig. lebih dari 0,05; maka variasi perlakuan berpengaruh namun tidak secara signifikan. Tingkat keyakinan signifikansi dihitung dengan rumus berikut:

$$1 - \text{Sig.}$$

Apabila berpengaruh signifikan, maka dilakukan uji lanjutan yaitu uji Tukey's HSD untuk mengetahui pengaruh antar variabel satu dengan lainnya. Uji ANOVA dan uji Tukey's HSD menggunakan perangkat lunak SPSS. Hasil uji ANOVA dengan bantuan SPSS tersaji pada Tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Hasil Uji ANOVA dengan Bantuan SPSS

#### Tests of Between-Subjects Effects: COD

Dependent Variable: COD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2766140.425 <sup>a</sup>	11	251467.311	2.512	.014
Intercept	10871420.873	1	10871420.873	108.591	.000
WaktuAerasi	1061949.521	2	530974.761	5.304	.008
MBBR	595920.173	3	198640.058	1.984	.130
WaktuAerasi * MBBR	977679.435	6	162946.572	1.628	.161
Error	4605212.255	46	100113.310		
Total	20064076.520	58			
Corrected Total	7371352.679	57			

a. R Squared = .375 (Adjusted R Squared = .226)

#### Tests of Between-Subjects Effects: TSS

Dependent Variable: TSS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	266789.489 <sup>a</sup>	11	24253.590	.472	.915
Intercept	585453.532	1	585453.532	11.403	.001
WaktuAerasi	245048.788	2	122524.394	2.386	.098
MBBR	2915.386	3	971.795	.019	.996
WaktuAerasi * MBBR	14625.176	6	2437.529	.047	1.000
Error	4209974.863	82	51341.157		
Total	5552544.534	94			
Corrected Total	4476764.351	93			

a. R Squared = .060 (Adjusted R Squared = -.067)

#### Tests of Between-Subjects Effects: SVI

Dependent Variable: SVI

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	237023.507 <sup>a</sup>	11	21547.592	4.211	.000
Intercept	1246611.985	1	1246611.985	243.644	.000
WaktuAerasi	3560.645	2	1780.323	.348	.707
MBBR	14485.045	3	4828.348	.944	.425
WaktuAerasi * MBBR	216648.487	6	36108.081	7.057	.000
Error	327458.211	64	5116.535		
Total	1826791.723	76			
Corrected Total	564481.718	75			

a. R Squared = .420 (Adjusted R Squared = .320)

### Tests of Between-Subjects Effects: Ammonia

Dependent Variable: Ammonia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3714.967 <sup>a</sup>	11	337.724	24.593	.000
Intercept	11915.914	1	11915.914	867.718	.000
WaktuAerasi	3534.422	2	1767.211	128.689	.000
MBBR	51.892	3	17.297	1.260	.299
WaktuAerasi * MBBR	136.468	6	22.745	1.656	.152
Error	659.158	48	13.732		
Total	16225.470	60			
Corrected Total	4374.125	59			

a. R Squared = .849 (Adjusted R Squared = .815)

### Tests of Between-Subjects Effects: Turbidity

Dependent Variable: Turbidity

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	180635.495 <sup>a</sup>	11	16421.409	2.147	.025
Intercept	110511.138	1	110511.138	14.452	.000
WaktuAerasi	43168.713	2	21584.357	2.823	.065
MBBR	39657.527	3	13219.176	1.729	.167
WaktuAerasi * MBBR	43730.607	6	7288.435	.953	.462
Error	642335.428	84	7646.850		
Total	1069115.760	96			
Corrected Total	822970.923	95			

a. R Squared = .219 (Adjusted R Squared = .117)

Berdasarkan hasil diatas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada parameter **COD**, variasi waktu aerasi memengaruhi hasil sebesar lebih dari 95% atau sangat signifikan, variasi *media filling ratio* 87% memengaruhi hasil, dan variasi waktu aerasi dengan *media filling ratio* 83,9% berinteraksi untuk memengaruhi hasil variasi perlakuan.
2. Pada parameter **TSS**, variasi waktu aerasi 90,2% memengaruhi hasil, variasi *media filling ratio* 0,4% memengaruhi atau tidak memengaruhi hasil, dan variasi waktu aerasi dengan *media filling ratio* 0% berinteraksi atau tidak berinteraksi sama sekali untuk memengaruhi hasil variasi perlakuan.
3. Pada parameter **SVI**, variasi waktu aerasi 29,3% memengaruhi atau sangat sedikit memengaruhi hasil, variasi *media filling ratio* 57,5% memengaruhi atau sedikit memengaruhi hasil, dan variasi waktu aerasi dengan *media filling ratio* berinteraksi sebesar lebih dari 95% untuk memengaruhi hasil variasi perlakuan.
4. Pada parameter **Ammonia**, variasi waktu aerasi memengaruhi hasil sebesar lebih dari 95% atau sangat signifikan, variasi *media filling ratio* 70,1% memengaruhi hasil, dan variasi waktu aerasi dengan *media filling ratio* 84,8% berinteraksi untuk memengaruhi hasil variasi perlakuan.
5. Pada parameter **Kekeruhan**, variasi waktu aerasi 93,5% memengaruhi hasil, variasi *media filling ratio* 83,3% memengaruhi hasil, dan variasi waktu aerasi dengan *media filling ratio* 53,8% berinteraksi atau sedikit berinteraksi untuk memengaruhi hasil variasi perlakuan.

Berdasarkan analisa tersebut, waktu aerasi adalah yang memiliki tingkat signifikansi tinggi atau paling memengaruhi pada hampir semua parameter. Hal ini dikarenakan pengaturan waktu aerasi dengan cara mengatur debit membuat adanya perubahan *supply* kandungan organik kedalam sistem sehingga ada signifikansi hasil variasi perlakuan. Sementara variasi *media filling ratio* hanya membedakan luas permukaan mikroorganisme untuk melekat.

Setelah dilakukan uji ANOVA, maka dilakukan uji Tukey HSD bagi variasi yang memiliki tingkat signifikansi tinggi (variasi waktu aerasi pada parameter COD dan Ammonia) untuk menunjukkan signifikansi tiap variabel dengan variabel lainnya. Hasil uji Tukey HSD tersaji pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Uji Tukey's HSD

### Multiple Comparisons: COD

Dependent Variable: COD

Tukey HSD

(I) WaktuAerasi	(J) WaktuAerasi	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
4.0	8.5	202.1875	111.86672	.178	-68.7345	473.1095
	17.0	-119.1048	100.53653	.468	-362.5871	124.3774
8.5	4.0	-202.1875	111.86672	.178	-473.1095	68.7345
	17.0	-321.2923*	100.53653	.007	-564.7746	-77.8101
17.0	4.0	119.1048	100.53653	.468	-124.3774	362.5871
	8.5	321.2923*	100.53653	.007	77.8101	564.7746

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 100113,310.

\*. The mean difference is significant at the 0,05 level.

### Multiple Comparisons: Ammonia

Dependent Variable: Ammonia

Tukey HSD

(I) WaktuAerasi	(J) WaktuAerasi	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
4.0	8.5	3.4893*	1.19602	.015	.5968	6.3819
	17.0	-13.9163*	1.24294	.000	-16.9223	-10.9102
8.5	4.0	-3.4893*	1.19602	.015	-6.3819	-.5968
	17.0	-17.4056*	1.12197	.000	-20.1190	-14.6921
17.0	4.0	13.9163*	1.24294	.000	10.9102	16.9223
	8.5	17.4056*	1.12197	.000	14.6921	20.1190

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 13,732.

\*. The mean difference is significant at the 0,05 level.

Berdasarkan tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada parameter **COD**, waktu aerasi 8,5 jam dengan waktu aerasi 17 jam adalah variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap hasil perlakuan.
2. Pada parameter **Ammonia**, semua variabel waktu aerasi saling berpengaruh secara signifikan terhadap hasil perlakuan.

#### 4.5 Ringkasan Variasi Waktu Aerasi dan Variasi *Media Filling Ratio* Optimum untuk Kinerja MBBR

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diringkas bahwa variasi waktu aerasi adalah variasi yang berpengaruh dengan signifikansi tinggi pada parameter COD, TSS, Ammonia, dan Kekeruhan. Variasi waktu aerasi terhadap parameter COD dan Ammonia berpengaruh sangat signifikan atau mempunyai tingkat signifikansi lebih dari 95%, sedangkan pada parameter Kekeruhan berpengaruh 93,5% serta parameter TSS berpengaruh 90,2%. Variasi *media filling ratio* dengan tingkat signifikansi paling tinggi adalah pada parameter COD dengan tingkat signifikansi hanya 83,9% saja. Tingginya tingkat signifikansi pada variabel waktu aerasi diakibatkan karena pengaturan waktu aerasi dengan cara mengatur debit membuat adanya perubahan *supply* kandungan organik kedalam sistem sehingga ada signifikansi hasil variasi perlakuan. Sementara variasi *media filling ratio* hanya membedakan luas permukaan mikroorganismenya untuk melekat. Variasi yang ideal terhadap kinerja MBBR pada penelitian ini dapat diringkas sebagai berikut:

- Reaktor dengan variasi *media filling ratio* 40% (MBBR 40%) pada waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi paling ideal untuk menghasilkan *effluent* COD paling baik dengan nilai *effluent* rata-rata  $120 \pm 53,86$  mg/L.
- Reaktor dengan variasi *media filling ratio* 50% (MBBR 50%) pada waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi paling ideal untuk menghasilkan nilai SVI paling baik yaitu  $123,51 \pm 68,26$  mL/g.
- Reaktor dengan variasi *media filling ratio* 25% (MBBR 25%) pada waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi paling ideal untuk menghasilkan *effluent* ammonia paling baik dengan nilai *effluent* rata-rata  $5,04 \pm 3,22$  mg/L.
- Reaktor dengan variasi *media filling ratio* 40% (MBBR 40%) pada waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi paling ideal untuk menghasilkan *effluent* TSS paling baik dengan nilai *effluent* rata-rata 33,89 mg/L.
- Reaktor dengan variasi *media filling ratio* 50% (MBBR 50%) pada waktu aerasi 8,5 jam adalah kondisi paling ideal untuk menghasilkan *effluent* kekeruhan paling baik dengan nilai *effluent* rata-rata 1,91 NTU.

Berdasarkan penelitian, reaktor dengan sistem MBBR dapat meningkatkan penyisihan COD dibuktikan dengan nilai *removal* paling tinggi pada penelitian ini dapat mencapai hingga 98,7% (pada reaktor MBBR 40% waktu aerasi 8,5 jam), sedangkan nilai *removal* COD pada IPAL eksisting sesuai dengan data pada Tabel 4. 1 adalah 97,43%. Sistem MBBR juga terbukti

dapat memperbaiki permasalahan pengendapan lumpur aktif baik *sludge bulking* dan *pin-floc* dibuktikan dengan nilai SVI pada reaktor MBBR dapat berada pada nilai ideal dibandingkan pada reaktor kontrol tanpa MBBR (MBBR 0%). Hasil dari perlakuan dengan variasi paling ideal ini apabila dibandingkan dengan baku mutu PermenLH nomor 5 tahun 2014 tersaji pada Tabel 4. 6.

Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Baku Mutu

No.	Parameter	Satuan	<i>Effluent</i> Hasil Penelitian	Baku Mutu
1	COD	mg/L	120 ± 53,86*	100
2	Ammonia	mg NH <sub>4</sub> -N/L	5,04 ± 3,22	10
3	TSS	mg/L	33,89	50

Berdasarkan data tersebut, nilai rata-rata COD masih belum memenuhi baku mutu, namun pada penelitian ini nilai minimum *effluent* COD adalah 56,00 mg/L sehingga sempat memenuhi baku mutu.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan pada penelitian pengolahan limbah industri pemerahan susu menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) adalah sebagai berikut:

1. MBBR dapat meningkatkan penyisihan COD dibuktikan dengan nilai persentase penyisihan COD maksimum dengan MBBR adalah 98,7% sementara penyisihan eksisting adalah 97,43% serta dapat mengurangi kondisi pengendapan lumpur aktif yang buruk dibuktikan dengan nilai SVI reaktor MBBR berada di rentang nilai SVI ideal sedangkan nilai SVI reaktor MBBR 0% berada dibawah rentang nilai SVI ideal.
2. Waktu aerasi optimum pada pengolahan air limbah dengan sistem MBBR adalah pada waktu aerasi 8,5 jam.
3. *Media filling ratio* optimum pada pengolahan air limbah dengan sistem MBBR adalah 40% untuk parameter COD dan TSS, 50% untuk parameter SVI dan Kekeruhan, dan 25% untuk parameter Ammonia.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan kesimpulan dan kekurangan pada penelitian ini, saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya mengenai pengolahan air limbah industri pemerahan susu menggunakan MBBR antara lain:

1. Perlu dilakukan analisa parameter TKN untuk mengetahui kadar nitrogen organik dalam air limbah. Hal ini dapat dijadikan dasaran persentase penyisihan ammonia dan perhitungan kecukupan nutrisi.
2. Perlu dilakukan uji parameter BOD untuk menilai *biodegradability* air limbah.
3. Perlu dilakukan analisa kelimpahan dan morfologi mikroorganisme untuk mengetahui jenis mikroorganisme yang efektif mengolah air limbah serta menganalisis keberadaan mikroorganisme heterotofik dan autotofik (*nitrifier*).
4. Sumber mikroorganisme yang digunakan haruslah menggunakan lumpur aktif dari IPAL Eksisting agar sesuai dengan kondisi di lapangan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, M., Izanloo, H., Alian, A. M., Amiri, H., & Sepehr, M. N. (2011). Upgrading of Kish Island Markazi wastewater treatment plant by MBBR. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 1(4), 243–249. <https://doi.org/10.2166/wrd.2011.038>
- Andreottola, G., Foladori, P., Ragazzi, M., & Villa, R. (2002). Dairy wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor. *Water Science and Technology*, 45(12), 321–328. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0441>
- Aygun, A., Nas, B., & Berktay, A. (2008). Influence of high organic loading rates on COD removal and sludge production in moving bed biofilm reactor. *Environmental Engineering Science*, 25(9), 1311–1316. <https://doi.org/10.1089/ees.2007.0071>
- Bengtson, H. H. (2017). *Biological Wastewater Treatment Process Design Calculations*. 116.
- Bintari, V. I., & Kusnandar, D. L. (2020). Jurnal Bisnis dan Ekonomi Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nilai Perusahaan. *Jurnal Bisnis Dan Ekonomi*, 27(1), 89–99. <https://www.unisbank.ac.id/ojs>
- Das, A., & Naga, R. N. (2011). Activated sludge process with mbbbr technology at Etp. *IPPTA: Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association*, 23(2), 135–137.
- Donkin, M. J. (1997). Bulking in aerobic biological systems treating dairy processing wastewaters. *International Journal of Dairy Technology*, 50(2), 67–72. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1997.tb01740.x>
- Falletti, L., & Conte, L. (2007). Upgrading of activated sludge wastewater treatment plants with hybrid moving-bed biofilm reactors. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(21), 6656–6660. <https://doi.org/10.1021/ie061635v>
- Goli, A., Shamiri, A., Khosroyar, S., Talaiekhosani, A., Sanaye, R., & Azizi, K. (2019). A review on different aerobic and anaerobic treatment methods in dairy industry wastewater. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(1), 113–141.
- Goswami, S., & Mazumder, D. (2016). Comparative study between activated sludge process (ASP) and moving bed bioreactor (MBBR) for treating composite chrome tannery wastewater. *Materials Today: Proceedings*, 3(10), 3337–3342. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.10.015>
- Gultom, R. D. P., & Prabatiwi, R. K. (2017). Pemanfaatan Limbah Air Kelapa Menjadi Pupuk Organik Cair Menggunakan Mikroorganisme Aspergillus Niger, Pseudomonas Putida Dan Bioaktivator Em4. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 6, 5–9.

<https://repository.its.ac.id/id/eprint/44185>

- Halimatussa'diah, H., & Putra, R. A. K. (2021). Faktor yang mempengaruhi return saham pada sub sektor perdagangan besar dan investasi. *Jurnal Manajemen*, 13(1), 17–25.
- Hoang, V. (2013). MBBR ammonia removal: an investigation of nitrification kinetics, biofilm and biomass response, and bacterial population shifts during long-term cold temperature exposure. *University of Ottawa (Thesis)*.
- Hung, Y. T. (1984). Batch Reactor Activated Sludge Treatment of Milk Processing Wastewaters. *Process Biochemistry*, 19, 25–28.
- Inc., F. E. (2014). *Turbidity, Total Suspended Solids & Water Clarity*. Fundamentals of Environmental Measurements. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/turbidity-total-suspended-solids-water-clarity/>
- Javid, A. H., Hassani, A. H., Ghanbari, B., & Yaghmaeian, K. (2013). Feasibility of utilizing moving bed biofilm reactor to upgrade and retrofit municipal wastewater treatment plants. *International Journal of Environmental Research*, 7(4), 963–972. <https://doi.org/10.22059/ijer.2013.679>
- Jenkins, D. (2019). *Sludge Bulking - Causes , Control Strategies and Options for Domestic and Industrial Systems*.
- Jenkins, D., Richard, M. G., & Daigger, G. T. (2003). Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems. In *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems*. <https://doi.org/10.1201/9780203503157>
- Kamstra, A., Blom, E., & Terjesen, B. F. (2017). Mixing and scale affect moving bed biofilm reactor (MBBR) performance. *Aquacultural Engineering*, 78, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.04.004>
- Leonard, A. M. (1996). *Activated sludge treatment of dairy processing wastewaters : the role of selectors for the control of sludge bulking*. 364. <https://mro.massey.ac.nz/handle/10179/2806>
- Mawo, Thomas, S. (2017). Pengaruh Literasi Keuangan, Konsep Diri dan Budaya Terhadap Perilaku Konsumtif Siswa SMAN 1 Kota Bajawa. *Journal of Economic Education*, Volume 6 ((1), 60–65.
- Ozturk, I., Eroglu, V., Ubay, G., & Demir, I. (1993). Hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor (HUASBR) treatment of dairy effluents. *Water Science and Technology*, 28(2), 77–85. <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0081>

- Pal, P., Khairnar, K., & Paunikar, W. N. (2014). Causes and remedies for filamentous foaming in activated sludge treatment plant. *Global Nest Journal*, 16(4), 762–772. <https://doi.org/10.30955/gnj.001273>
- Qasim, S. R., & Zhu, G. (2017). Wastewater treatment and reuse : Theory and design examples. In *CRC Press*.  
file:///C:/Users/user/Downloads/Wastewater\_Treatment\_and\_Reuse\_Theory\_an.pdf
- Rashed, E. M., & Massoud, M. (2015). The effect of effective microorganisms (EM) on EBPR in modified contact stabilization system. *HBRC Journal*, 11(3), 384–392. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.06.011>
- Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., & Lygren, E. (2006). Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 322–331. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.002>
- Santos, A. D., Martins, R. C., Quinta-Ferreira, R. M., & Castro, L. M. (2020). Moving bed biofilm reactor (MBBR) for dairy wastewater treatment. *Energy Reports*, 6, 340–344. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.158>
- Sheikh, S. M., Sharma, S., Sharma, A., Verma, S., Engg, C., & College, U. E. (2019). *a Review on Reduction of Phosphate From Industrial Cum Municipal Wastewater Using Mbbf Technology*. 6619–6623.
- Spellman, F. R. (2000). Spellman’s Standard Handbook for Wastewater Operators Advanced Levels. In *CRC Press* (Vol. 3).
- Surampalli, R. Y., & Baumann, R. E. (1992). RBC kinetics in treating domestic and industrial dairy wastewater under low and high organic loading conditions. *Water Pollution Research Journal of Canada*, 27(4), 665–691. <https://doi.org/10.2166/wqrj.1992.041>
- Wang, G., Wang, D., Xu, Y., Li, Z., & Huang, L. (2020). Study on optimization and performance of biological enhanced activated sludge process for pharmaceutical wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140166>
- Yao, J., Liu, J., Zhang, Y., Xu, S., Hong, Y., & Chen, Y. (2019). Adding an anaerobic step can rapidly inhibit sludge bulking in SBR reactor. *Scientific Reports*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47304-3>
- Zkeri, E., Iliopoulou, A., Katsara, A., Korda, A., Aloupi, M., Gatidou, G., Fountoulakis, M. S., & Stasinakis, A. S. (2021). Comparing the use of a two-stage MBBR system with a methanogenic MBBR coupled with a microalgae reactor for medium-strength dairy

wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 323(December 2020), 124629.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124629>

## LAMPIRAN A

### METODE ANALISA PARAMETER

#### A.1 Analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan Metode Refluks Terbuka secara Titrimetri (SNI 06-6989.15-2004)

##### 1. Batasan Uji

Uji COD dengan Metode Refluks Terbuka terbatas pada COD 50 mg/L hingga 900 mg/L.

##### 2. Bahan

Bahan yang dibutuhkan untuk analisa COD antara lain:

- a. Larutan baku kalium dikromat 0,25 N.

Larutkan 12,259 g  $K_2Cr_2O_7$  kering dalam air suling 1000 ml.

- b. Larutan asam sulfat-perak sulfat.

Tambahkan 5,5 g  $Ag_2SO_4$  kedalam 1 kg asam sulfat pekat atau 10,12 g  $Ag_2SO_4$  dalam 1000 ml asam sulfat pekat, aduk dan biarkan 1 hari sampai 2 hari untuk melarutkan. Lakukan dengan sangat hati-hati.

- c. Larutan indikator ferroin.

Larutkan 1,485 g 1,10 Phenanthrolin Monohidrat dan 0,695 g  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  dalam air suling dan encerkan sampai 100 ml.

- d. Larutan ferro ammonium sulfat (FAS) 0,1 N.

Larutkan 39,2 g  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  dalam air suling, tambahkan 20 ml  $H_2SO_4$  pekat, dinginkan dan tepatkan sampai 1000 ml.

- e. Larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat ( $HOOCC_6H_4COOK$ , KHP)  $\approx$  COD 500 mg  $O_2/L$ . Gerus perlahan KHP, lalu keringkan sampai berat konstan pada suhu  $110^\circ C$ . Larutkan 425 mg KHP ke dalam air bebas organik dan tepatkan sampai 1000 ml. Larutan ini stabil bila disimpan dalam kondisi dingin pada temperatur  $4^\circ C \pm 2^\circ C$  dan dapat digunakan sampai 1 minggu selama tidak ada pertumbuhan mikroba.

- f. Asam sulfamat. Hanya digunakan jika ada gangguan nitrit, 10 mg asam sulfamat untuk 1 mg nitrit.

- g. Serbuk merkuri sulfat,  $HgSO_4$ .

##### 3. Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan untuk analisa COD antara lain:

- a. Peralatan refluks, yang terdiri dari labu Erlenmeyer dan pendingin *Liebig* 30 cm.

- b. Pemanas atau *hot plate*.
- c. Labu ukur 100 mL dan 1000 mL.
- d. Buret 25 mL atau 50 mL
- e. Pipet volumetrik 5 mL, 10 mL, 15 mL, dan 50 mL.
- f. Erlenmeyer 250 mL.
- g. Timbangan analitik dengan tingkat ketelitian 0,1 mg.

#### 4. Prosedur Analisa

- a. Pipet 10 mL contoh uji, masukkan kedalam Erlenmeyer 250 mL.. Untuk COD>900 mg/L, ambil contoh uji dengan volume yang lebih sedikit lalu larutkan hingga 10 mL.
- b. Tambahkan 0,2 g serbuk HgSO<sub>4</sub>.
- c. Tambahkan 5 mL larutan kalium dikromat 0,25 N.
- d. Tambahkan 15 mL pereaksi asam sulfat-perak sulfat secara perlahan-lahan 56actor didinginkan dalam air pendingin.
- e. Hubungkan dengan pendingin *Liebig* dan didihkan diatas *hot plate* selama 2 jam.
- f. Dinginkan dan cuci bagian dalam dari pendingin dengan air suling hingga volume contoh uji menjadi sekitar 70 mL.
- g. Dinginkan sampai temperature kamar, tambahkan indikator ferroin 2 sampai dengan 3 tetes, tirasi dengan larutan FAS 0,1 N sampai warna merah kecoklatan, catat kebutuhan larutan FAS.
- h. Lakukan langkah a hingga g terhadap air suling sebagai blanko. Catat kebutuhan larutan FAS. Analisis blanko ini sekaligus melakukan standarisasi larutan FAS dan dilakukan setiap penentuan kadar COD.

#### 5. Perhitungan

- a. Normalitas larutan FAS

$$\text{Normalitas FAS} = \frac{(V_1)(N_1)}{V_2}$$

Keterangan:

V<sub>1</sub> adalah volume larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> yang digunakan (ml)

V<sub>2</sub> adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan (ml)

N<sub>1</sub> adalah normalitas larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

- b. Kadar COD

$$\text{COD (mg/L O}_2) = \frac{(A-B)(N)(8000)}{(\text{mL contoh uji})}$$



Keterangan:

A adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko (ml)

B adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh uji (ml)

N adalah normalitas larutan FAS

## **A.2 Analisa Amonia dengan Metode Nessler**

### **1. Bahan**

Bahan uji Amonia metode Nessler antara lain:

- a. Larutan Garam Signet
- b. Larutan Nessler.

### **2. Peralatan**

Peralatan untuk analisa Amonia antara lain:

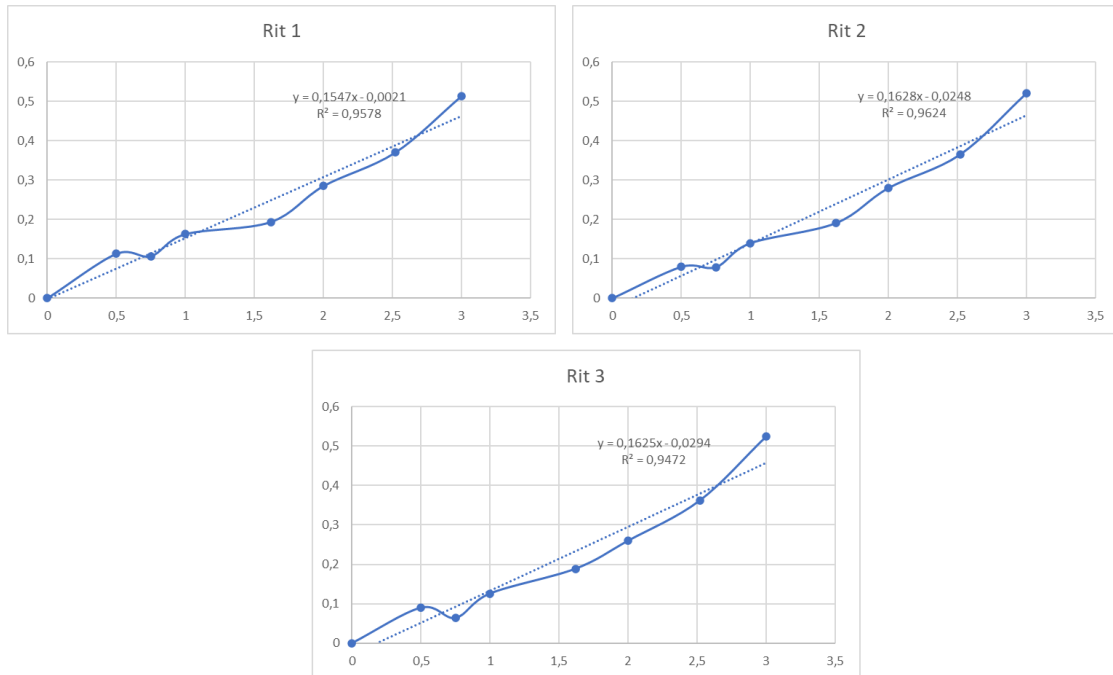
- a. Spektrofotometer
- b. Timbangan analitik
- c. Erlenmeyer 100 mL 2 buah
- d. Pipet volumetrik 5 mL, 10 mL, dan 25 mL.

### **3. Prosedur Pengujian**

- a. Isi masing-masing Erlenmeyer 100 mL dengan sampel air dan air aquadest blanko sebanyak 25 mL.
- b. Tambahkan 1 mL larutan Nessler.
- c. Tambahkan 1,25 mL larutan Garam Signet.
- d. Aduk dan biarkan selama 10 menit.
- e. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 410 nm
- f. Absorbansi hasil pembacaan spektrofotometer dibaca pada hasil kurva kalibrasi

### **4. Kurva Kalibrasi**

Kurva kalibrasi untuk analisa ini dibuat dengan 3 (tiga) kali pengulangan. Kurva tersebut tersaji sebagai berikut:



## 5. Perhitungan

Kadar amonia dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kadar Amonia (mg N/L)} = C \times f_p$$

Keterangan

C adalah kadar yang didapat dari hasil pengukuran (mg/L).

F<sub>p</sub> adalah faktor pengenceran.

### A.3 Analisa Derajat Keasaman (pH) dengan Alat pH Meter (SNI 06-6989.11-2004)

#### 1. Bahan

Bahan yang diperlukan untuk analisa pH antara lain:

Larutan penyangga pH 4, 7, dan 10 yang tersedia di pasaran. Apabila tidak ada, dapat dibuat dengan metode berikut:

- a. Larutan penyangga, pH 4,004 (25 °C)

Larutkan 10,12 g kalium hidrogen ptalat ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ) dalam 1000 ml air suling.

- b. Larutan penyangga, pH 6,863 (25 °C)

Larutkan 3,387 g kalium dihidrogen fosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dan 3,533 g dinatrium hidrogen fosfat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) dalam 1000 ml air suling.

- c. Larutan penyangga, pH 10,014 (25 °C)

Larutkan 2,092 g natrium hidrogen karbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) dan 2,640 g natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dalam 1000 ml air suling.

## 2. Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan untuk analisa Ph antara lain:

- a. pH meter dengan perlengkapannya
- b. Pengaduk gelas atau magnetik
- c. Gelas piala 250 mL
- d. Kertas tissue
- e. Timbangan analitik
- f. Termometer

## 3. Persiapan Pengujian

- a. Lakukan kalibrasi alat Ph meter dengan larutan penyangga sesuai instruksi kerja alat setiap kali akan melakukan pengukuran.
- b. Untuk contoh uji yang mempunyai suhu tinggi, kondisikan contoh uji sampai suhu kamar.

## 4. Prosedur Pengujian

- a. Keringkan elektroda dengan kertas tissue, kemudian bilas elektroda dengan air suling.
- b. Bilas elektroda dengan contoh uji.
- c. Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai Ph meter menunjukkan pembacaan yang tetap.
- d. Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari Ph meter.

### A.4 Analisa Padatan Tersuspensi Total (TSS) secara Gravimetri (SNI 06-6989.3-2004)

#### 1. Bahan

Bahan yang diperlukan untuk analisa TSS antara lain:

- a. Kertas saring (*glass-fiber filter*) dengan beberapa jenis:
  - Whatman Grade 934 AH, dengan ukuran pori (*Particle Retention*) 1,5  $\mu\text{m}$  (*Standard for TSS in water analysis*).
  - Gelman Tipe A/E, dengan ukuran pori 1,0  $\mu\text{m}$  (*Standard filter for TSS/TDS testing in sanitary water analysis procedures*).
  - E-D Scientific Specialities Grade 161 (VWR Brand Grade 161), dengan ukuran pori 1,1  $\mu\text{m}$  (*Recommended for use in TSS/TDS testing in water and wastewater*).
- b. Air suling

## 2. Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan untuk analisa TSS antara lain:

- a. Desikator yang berisi silika gel
- b. Oven, untuk pengoperasian pada suhu 103 °C sampai dengan 105 °C
- c. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg
- d. Pengaduk magnetik
- e. Pipet volumetrik
- f. Gelas ukur
- g. Cawan aluminium
- h. Cawan porselen/cawan *Gooch*
- i. Penjepit
- j. Kaca Arloji
- k. Pompa vakum

## 3. Persiapan dan Pengawetan Contoh Uji

- a. Gunakan wadah gelas atau botol plastik polietilen atau yang setara untuk menyimpan contoh uji
- b. Awetkan contoh uji pada suhu 4 °C, untuk meminimalkan dekomposisi mikrobiologikal terhadap padatan. Contoh uji sebaiknya disimpan tidak lebih dari 24 jam.
- c. Contoh uji harus bebas dari partikel besar yang mengapung (sampah).

## 4. Persiapan Kertas Saring

- a. Letakkan kertas saring pada peralatan filtrasi. Pasang vakum dan wadah pencuci dengan air suling berlebih 20 mL. Lanjutkan penyedotan untuk menghilangkan semua sisa air, matikan vakum, dan hentikan pencucian.
- b. Pindahkan kertas saring dari peralatan filtrasi ke wadah timbang aluminium. Jika digunakan cawan *Gooch* dapat langsung dikeringkan.
- c. Keringkan dalam oven pada suhu 103 °C sampai dengan 105 °C selama 1 jam, dinginkan dalam desikator kemudian timbang.
- d. Ulangi langkah butir c sampai diperoleh berat konstan atau sampai perubahan berat lebih kecil dari 4% terhadap penimbangan sebelumnya atau lebih kecil dari 0,5 mg.

## 5. Prosedur Pengujian

- a. Lakukan penyaringan dengan peralatan vakum. Basahi saringan dengan sedikit air suling.

- b. Aduk contoh uji dengan pengaduk magnetik untuk memperoleh contoh uji yang lebih homogen.
- c. Pipet contoh uji dengan volume tertentu, pada waktu contoh diaduk magnetik.
- d. Cuci kertas saring atau saringan dengan 3 x 10 mL air suling, biarkan kering sempurna, dan lanjutkan penyaringan dengan vakum selama 3 menit agar diperoleh penyaringan sempurna. Contoh uji dengan padatan terlarut yang tinggi memerlukan pencucian tambahan.
- e. Pindahkan kertas saring secara hati-hati dari peralatan penyaring dan pindahkan ke wadah timbang alumunium sebagai penyangga. Jika digunakan cawan *Gooch* pindahkan cawan dari rangkaian alatnya.
- f. Keringkan dalam oven setidaknya selama 1 jam pada suhu 103 °C sampai dengan 105 °C, dinginkan dalam desikator untuk menyeimbangkan suhu dan timbang.
- g. Ulangi tahapan pengirangan, pendinginan dalam desikator, dan lakukan penimbangan sampai diperoleh berat konstan atau sampai perubahan berat lebih kecil dari 4% terhadap penimbangan sebelumnya atau lebih kecil dari 0,5 mg.

## 6. Perhitungan

Kadar TSS dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(A-B) \times 1000}{V}$$

Keterangan

A adalah berat kertas saring + residu kering (mg)

B adalah berat kertas saring (mg)

V adalah volume contoh uji (mL)

### A.5 Analisa Indeks Lumpur Volumetrik atau *Sludge Volume Indeks (Standard Method 2710D)*

#### 1. Prinsip Umum

SVI biasanya digunakan untuk *monitoring* rutin karakteristik pengendapan lumpur aktif dan suspensi biologi lainnya. SVI didapatkan dari 1 (satu) g suspensi bak aerasi (MLSS) setelah pengendapan 30 menit.

#### 2. Prosedur

- a. Ambil sampel bak aerasi kemudian analisa TSS
- b. Endapkan sampel selama 30 min kemudian dapatkan volume endapan dalam ML/g.

#### 3. Perhitungan

Nilai SVI dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{SVI (mL/g)} = \frac{a \times 1000}{b}$$

Keterangan

a adalah volume endapan setelah diendapkan 30 menit (mL/g)

b adalah konsentrasi TSS (mg/L)

## **A.6 Analisa Kekeruhan dengan Metode Nefelometer (SNI 06-6989.25-2005)**

### **1. Batasan Uji**

Uji Kekeruhan dengan Metode Nefelometer terbatas pada nilai maksimum 40 *Nefelometric Turbidity Unit* (NTU). Apabila contoh uji diperkirakan melebihi 40 NTU, maka harus diencerkan.

### **2. Peralatan**

Peralatan yang dibutuhkan untuk uji kekeruhan antara lain:

- a. Nefelometer.
- b. Gelas piala.
- c. Botol semprot.
- d. Pipet volumetric 5 mL dan 10 mL.
- e. Neraca analitik.
- f. Labu ukut 100 mL dan 1000 mL.

### **3. Prosedur Pengujian**

- a. Optimalkan nefelometer untuk pengujian kekeruhan sesuai petunjuk penggunaan alat.
- b. Cuci tabung nefelometer dengan air suling.
- c. Kocok contoh uji dan masukkan ke dalam tabung pada nefelometer. Pasang tutupnya.
- d. Biarkan alat menunjukkan nilai pembacaan yang stabil.
- e. Catat nilai kekeruhan contoh yang teramati.

### **4. Perhitungan**

Nilai Kekeruhan dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kekeruhan (NTU)} = A \times f_p$$

Keterangan

A adalah kekeruhan dalam NTU contoh uji yang diencerkan

$f_p$  adalah faktor pengenceran

## LAMPIRAN B

### DATA HASIL ANALISA LABORATORIUM

#### B.1 Hasil Analisa COD *Effluent*

Tabel B. 1 Hasil Analisa COD *Effluent*

Tanggal	Influent	MBBR 0		MBBR 25		MBBR 40		MBBR 50	
	COD (mg/L)	COD (mg/L)	%R	COD (mg/L)	%R	COD (mg/L)	%R	COD (mg/L)	%R
<b>WAKTU AERASI 17 JAM</b>									
01/04/2022	2804,80	1609,60	42,6%	644,80	77,0%	724,80	74,2%	1441,60	48,6%
23/04/2022	4840,00	1856,00	61,7%	264,00	94,5%	272,00	94,4%	304,00	93,7%
26/04/2022	2080,00	320,00	84,6%	208,00	90,0%	64,00	96,9%	256,00	87,7%
09/05/2022	5340,00	520,00	90,3%	728,00	86,4%	480,00	91,0%	928,00	82,6%
10/05/2022	4640,00	-	-	-	-	416,00	91,0%	760,00	83,6%
11/05/2022	2163,20	646,40	70,1%	483,20	77,7%	443,20	79,5%	539,20	75,1%
12/05/2022	2163,20	483,20	77,7%	403,20	81,4%	363,20	83,2%	163,20	92,5%
<b>Rata-rata</b>	3433,03	905,87	71,2%	455,20	84,5%	394,74	87,2%	627,43	80,5%
<b>Standar Deviasi</b>	1444,71	653,62	0,17	205,68	0,07	201,85	0,08	453,99	0,15
<b>Nilai Maks.</b>	5340,00	1856,00	90,3%	728,00	94,5%	724,80	96,9%	1441,60	93,7%
<b>Nilai Min.</b>	2080,00	320,00	42,6%	208,00	77,0%	64,00	74,2%	163,20	48,6%
<b>WAKTU AERASI 8,5 JAM</b>									
26/05/2022	4400,00	736,00	83,3%	56,00	98,7%	184,00	95,8%	56,00	98,7%
28/05/2022	4520,00	584,00	87,1%	264,00	94,2%	136,00	97,0%	344,00	92,4%
30/05/2022	4400,00	408,00	90,7%	280,00	93,6%	56,00	98,7%	360,00	91,8%
06/06/2022	2040,00	400,00	80,4%	120,00	94,1%	104,00	94,9%	200,00	90,2%
<b>Rata-rata</b>	3840,00	532,00	85,4%	180,00	95,2%	120,00	96,6%	240,00	93,3%
<b>Standar Deviasi</b>	1201,33	160,33	0,05	109,59	0,02	53,86	0,02	142,21	0,04
<b>Nilai Maks.</b>	4520,00	736,00	90,7%	280,00	98,7%	184,00	98,7%	360,00	98,7%
<b>Nilai Min.</b>	2040,00	400,00	80,4%	56,00	93,6%	56,00	94,9%	56,00	90,2%
<b>WAKTU AERASI 4 JAM</b>									
10/06/2022	2216,00	347,20	84,3%	212,80	90,4%	176,00	92,1%	200,00	91,0%
14/06/2022	2216,00	192,00	91,3%	520,00	76,5%	832,00	62,5%	400,00	81,9%
15/06/2022	1973,00	572,00	71,0%	487,00	75,3%	908,00	54,0%	348,00	82,4%
16/06/2022	2040,00	608,00	70,2%	464,00	77,3%	952,00	53,3%	304,00	85,1%
<b>Rata-rata</b>	2111,25	429,80	79,2%	420,95	79,9%	717,00	65,5%	313,00	85,1%
<b>Standar Deviasi</b>	124,01	196,08	0,10	140,66	0,07	364,06	0,18	84,94	0,04
<b>Nilai Maks.</b>	2216,00	608,00	91,3%	520,00	90,4%	952,00	92,1%	400,00	91,0%
<b>Nilai Min.</b>	1973,00	192,00	70,2%	212,80	75,3%	176,00	53,3%	200,00	81,9%

## B.2 Hasil Analisa MLSS Reaktor

Tabel B. 2 Hasil Analisa MLSS Reaktor

Tanggal	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<b>WAKTU AERASI 17 JAM</b>				
26/04/2022	920,00	1170,00	1630,00	1290,00
09/05/2022	4750,00	1000,00	880,00	1390,00
11/05/2022	3250,00	1460,00	1000,00	1090,00
12/05/2022	1273,33	1513,33	1333,33	485,00
13/05/2022	1040,00	680,00	886,67	433,33
18/05/2022	1680,00	1120,00	1520,00	200,00
23/05/2022	630,00	515,00	1433,33	1366,67
<b>Rata-rata</b>	1934,76	1065,48	1240,48	893,57
<b>Standar Deviasi</b>	1510,55	371,04	313,22	504,28
<b>Nilai Maks.</b>	4750,00	1513,33	1630,00	1390,00
<b>Nilai Min.</b>	630,00	515,00	880,00	200,00
<b>WAKTU AERASI 8,5 JAM</b>				
25/05/2022	1060,00	820,00	305,00	973,33
26/05/2022	1053,33	210,00	700,00	600,00
27/05/2022	1366,67	440,00	813,33	1406,67
28/05/2022	680,00	330,00	665,00	1015,00
31/05/2022	1746,67	426,67	466,67	936,00
03/06/2022	1913,33	268,00	2653,33	606,67
06/06/2022	2066,67	532,00	1053,33	873,33
<b>Rata-rata</b>	1412,38	432,38	950,95	915,86
<b>Standar Deviasi</b>	513,54	202,99	787,83	274,35
<b>Nilai Maks.</b>	2066,67	820,00	2653,33	1406,67
<b>Nilai Min.</b>	680,00	210,00	305,00	600,00
<b>WAKTU AERASI 4 JAM</b>				
10/06/2022	2126,67	713,33	3393,33	1513,33
13/06/2022	1460,00	520,00	433,33	780,00
14/06/2022	545,00	635,00	755,00	715,00
15/06/2022	2353,33	1080,00	1026,67	1086,67
16/06/2022	600,00	1606,67	1346,67	846,67
17/06/2022	600,00	1080,00	1500,00	850,00
<b>Rata-rata</b>	1280,83	939,17	1409,17	965,28
<b>Standar Deviasi</b>	820,53	401,11	1046,48	296,45
<b>Nilai Maks.</b>	2353,33	1606,67	3393,33	1513,33
<b>Nilai Min.</b>	545,00	520,00	433,33	715,00



### B.3 Hasil Analisa *Settleable Solid*

Tabel B. 3 Hasil Analisa *Settleable Solid*

Tanggal	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	mL/L	mL/L	mL/L	mL/L
<b>WAKTU AERASI 17 JAM</b>				
26/04/2022	20	250	450	250
09/05/2022	70	100	200	100
11/05/2022	100	150	150	100
12/05/2022	125	150	200	50
13/05/2022	100	125	200	30
18/05/2022	300	450	350	20
23/05/2022	35	100	150	80
<b>Rata-rata</b>	107,14	189,29	242,86	90,00
<b>Standar Deviasi</b>	92,91	125,71	113,39	77,46
<b>Nilai Maks.</b>	300	450	450	250
<b>Nilai Min.</b>	20	100	150	20
<b>WAKTU AERASI 8,5 JAM</b>				
25/05/2022	70	50	90	15
26/05/2022	100	60	125	80
27/05/2022	80	100	150	150
28/05/2022	50	80	70	125
31/05/2022	60	60	40	125
03/06/2022	90	6	60	100
06/06/2022	150	60	120	200
<b>Rata-rata</b>	85,71	59,43	93,57	113,57
<b>Standar Deviasi</b>	33,09	28,91	39,66	57,86
<b>Nilai Maks.</b>	150	100	150	200
<b>Nilai Min.</b>	50	6	40	15
<b>WAKTU AERASI 4 JAM</b>				
10/06/2022	100	60	100	200
13/06/2022	200	60	40	200
14/06/2022	175	60	50	200
15/06/2022	200	10	60	200
16/06/2022	150	20	80	200
17/06/2022	150	35	60	150
<b>Rata-rata</b>	162,50	40,83	65,00	191,67
<b>Standar Deviasi</b>	37,91	22,45	21,68	20,41
<b>Nilai Maks.</b>	200	60	100	200
<b>Nilai Min.</b>	100	10	40	150

## B.4 Hasil Analisa SVI

Tabel B. 4 Hasil Analisa SVI

Tanggal	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	mL/g	mL/g	mL/g	mL/g
<b>WAKTU AERASI 17 JAM</b>				
26/04/2022	21,74	213,68	276,07	193,80
09/05/2022	14,74	100,00	227,27	71,94
11/05/2022	30,77	102,74	150,00	91,74
12/05/2022	98,17	99,12	150,00	103,09
13/05/2022	96,15	183,82	225,56	69,23
18/05/2022	178,57	401,79	230,26	100,00
23/05/2022	55,56	194,17	104,65	58,54
<b>Rata-rata</b>	70,81	185,05	194,83	98,33
<b>Standar Deviasi</b>	58,30	107,45	60,56	45,29
<b>Nilai Maks.</b>	178,57	401,79	276,07	193,80
<b>Nilai Min.</b>	14,74	99,12	104,65	58,54
<b>WAKTU AERASI 8,5 JAM</b>				
25/05/2022	66,04	60,98	295,08	15,41
26/05/2022	94,94	285,71	178,57	133,33
27/05/2022	58,54	227,27	184,43	106,64
28/05/2022	73,53	242,42	105,26	123,15
31/05/2022	34,35	140,62	85,71	133,55
06/06/2022	72,58	112,78	113,92	229,01
<b>Rata-rata</b>	66,66	178,30	160,50	123,51
<b>Standar Deviasi</b>	19,96	86,63	77,23	68,26
<b>Nilai Maks.</b>	94,94	285,71	295,08	229,01
<b>Nilai Min.</b>	34,35	60,98	85,71	15,41
<b>WAKTU AERASI 4 JAM</b>				
10/06/2022	47,02	84,11	29,47	132,16
13/06/2022	136,99	115,38	92,31	256,41
14/06/2022	321,10	94,49	66,23	279,72
15/06/2022	84,99	9,26	58,44	184,05
16/06/2022	250,00	12,45	59,41	236,22
17/06/2022	250,00	32,41	40,00	176,47
<b>Rata-rata</b>	181,68	58,02	57,64	210,84
<b>Standar Deviasi</b>	107,94	45,63	21,84	55,78
<b>Nilai Maks.</b>	321,10	115,38	92,31	279,72
<b>Nilai Min.</b>	47,02	9,26	29,47	132,16

Keterangan:  : menandakan nilai SVI kurang dari 100 ML/g  : menandakan nilai SVI lebih dari 250 ML/g

## B.5 Hasil Analisa Kekeruhan *Effluent*

Tabel B. 5 Hasil Analisa Kekeruhan *Effluent*

Tanggal	Influent	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	NTU	NTU	NTU	NTU	NTU
<b>WAKTU AERASI 17 JAM</b>					
31/03/2022	376	745	105	21,3	132
04/04/2022	593	414	31,6	9,31	24,2
05/04/2022	593	290	18	11,4	20,2
07/04/2022	163	64,8	21,9	27,4	35,2
13/04/2022	163	103	96,3	46	18,8
14/04/2022	163	32,3	104	48,5	14
19/04/2022	125	84	30,5	31,3	20
20/04/2022	125	33	14,9	42	40,2
21/04/2022	125	35,1	22,7	33,5	71,6
22/04/2022	105	36,2	27,2	33	69,1
23/04/2022	244	42,5	33,6	39,3	75,3
26/04/2022	80,1	36,8	35,1	39,4	74,9
11/05/2022	607	46	30,3	24,6	26,5
12/05/2022	607	31,6	20,3	21,3	23,4
23/05/2022	-	18,4	40,7	3,09	8,83
<b>Rata-rata</b>	290,65	134,18	42,14	28,76	43,62
<b>Nilai Maks.</b>	607	745	105	48,5	132
<b>Nilai Min.</b>	80,1	18,4	14,9	3,09	8,83
<b>WAKTU AERASI 8,5 JAM</b>					
26/05/2022	191	10,1	2,28	2,61	1,92
28/05/2022	195	5,54	1,95	1,81	2,13
03/06/2022	59,1	7,71	8,80	6,69	1,77
06/06/2022	49,2	4,16	1,20	1,02	1,91
<b>Rata-rata</b>	123,58	6,88	3,56	3,03	1,93
<b>Nilai Maks.</b>	195	10,1	8,80	6,69	2,13
<b>Nilai Min.</b>	49,2	4,16	1,20	1,02	1,77
<b>WAKTU AERASI 4 JAM</b>					
10/06/2022	-	25,9	2,37	8	14,6
13/06/2022	211	21,2	2,35	188	21,9
14/06/2022	211	132	6,32	74,9	35,3
15/06/2022	195	180	10,4	97,1	20,1
16/06/2022	190	107	3,79	93,3	24,5
<b>Rata-rata</b>	201,75	93,22	5,046	92,26	23,28
<b>Nilai Maks.</b>	211	180	10,4	188	35,3
<b>Nilai Min.</b>	190	21,2	2,35	8	14,6

## B.6 Hasil Analisa TSS Effluent

Tabel B. 6 Hasil Analisa TSS Effluent

Tanggal	Influent	MBBR 0		MBBR 25		MBBR 40		MBBR 50	
	TSS (mg/L)	TSS (mg/L)	%R	TSS (mg/L)	%R	TSS (mg/L)	%R	TSS (mg/L)	%R
<b>WAKTU AERASI 17 JAM</b>									
07/04/2022	1684,00	1048,00	37,8%	1292,00	23,3%	1192,00	29,2%	856,00	49,2%
11/04/2022	1684,00	52,00	96,9%	120,00	92,9%	420,00	75,1%	148,00	91,2%
12/04/2022	1684,00	8,00	99,5%	104,00	93,8%	192,00	88,6%	60,00	96,4%
13/04/2022	1684,00	110,00	93,5%	110,00	93,5%	70,00	95,8%	203,33	87,9%
19/04/2022	136,67	130,00	4,9%	55,00	59,8%	13,33	90,2%	60,00	56,1%
20/04/2022	136,67	50,00	63,4%	40,00	70,7%	36,67	73,2%	56,67	58,5%
21/04/2022	136,67	50,00	63,4%	36,67	73,2%	46,67	65,9%	63,33	53,7%
26/04/2022	75,00	27,50	63,3%	17,50	76,7%	22,50	70,0%	42,50	43,3%
09/05/2022	120,00	55,00	54,2%	80,00	33,3%	40,00	66,7%	70,00	41,7%
10/05/2022	120,00	100,00	16,7%	66,67	44,4%	66,67	44,4%	-	-
11/05/2022	280,00	96,67	65,5%	96,67	65,5%	60,00	78,6%	83,33	70,2%
18/05/2022	-	66,67	-	26,67	-	80,00	-	9,00	-
23/05/2022	-	20,00	-	50,00	-	6,67	-	43,33	-
<b>Rata-rata</b>	703,73	139,53	59,9%	161,17	66,1%	172,81	70,7%	141,29	64,8%
<b>Nilai Maks.</b>	1684,00	1048,00	99,5%	1292,00	93,8%	1192,00	95,8%	856,00	96,4%
<b>Nilai Min.</b>	75,00	8,00	4,9%	17,50	23,3%	6,67	29,2%	9,00	41,7%
<b>WAKTU AERASI 8,5 JAM</b>									
26/05/2022	80,00	48,00	40,0%	20,00	75,0%	32,00	60,0%	-	-
27/05/2022	-	60,00	-	38,00	-	42,00	-	54,00	-
28/05/2022	122,50	72,00	41,2%	56,00	54,3%	52,00	57,6%	64,00	47,8%
31/05/2022	116,00	40,00	65,5%	88,00	24,1%	32,00	72,4%	48,00	58,6%
03/06/2022	112,00	4,00	96,4%	4,00	96,4%	32,00	71,4%	52,00	53,6%
06/06/2022	112,00	90,00	19,6%	33,33	70,2%	13,33	88,1%	53,33	52,4%
<b>Rata-rata</b>	108,50	52,33	52,6%	39,89	64,0%	33,89	69,9%	54,27	53,1%
<b>Nilai Maks.</b>	122,50	90,00	96,4%	88,00	96,4%	52,00	88,1%	64,00	58,6%
<b>Nilai Min.</b>	80,00	4,00	19,6%	4,00	24,1%	13,33	57,6%	48,00	47,8%
<b>WAKTU AERASI 4 JAM</b>									
10/06/2022	-	36,67	-	30,00	-	3,33	-	6,67	-
13/06/2022	300,00	30,00	90,00%	3,33	98,89%	78,33	73,89%	10,00	96,67%
14/06/2022	300,00	93,33	68,89%	80,00	73,33%	10,00	96,67%	63,33	78,89%
15/06/2022	400,00	168,00	58,00%	104,00	74,00%	132,00	67,00%	36,00	91,00%
16/06/2022	126,67	100,00	21,05%	48,00	62,11%	100,00	21,05%	44,00	65,26%
<b>Rata-rata</b>	281,67	85,60	59,49%	53,07	77,08%	64,73	64,65%	32,00	82,95%
<b>Nilai Maks.</b>	400,00	168,00	90,00%	104,00	98,89%	132,00	96,67%	63,33	96,67%
<b>Nilai Min.</b>	126,67	30,00	21,05%	3,33	62,11%	3,33	21,05%	6,67	65,26%

## B.7 Hasil Analisa Ammonia *Effluent*

Tabel B. 7 Hasil Analisa Ammonia *Effluent*

Tanggal	Influent	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	NH4 (mg/L)	NH4 (mg/L)	NH4 (mg/L)	NH4 (mg/L)	NH4 (mg/L)
<b>WAKTU AERASI 17 JAM</b>					
30/03/2022	22,19	25,19	24,99	9,92	24,54
26/04/2022	8,41	22,29	26,21	26,01	23,51
09/05/2022	45,45	26,02	26,43	26,48	26,43
10/05/2022	14,69	25,68	26,08	25,46	25,68
11/05/2022	14,69	25,77	26,07	25,77	26,02
<b>Rata-rata</b>	21,08	24,99	25,96	22,73	25,23
<b>Standar Deviasi</b>	14,47	1,54	0,56	7,17	1,20
<b>Nilai Maks.</b>	45,45	26,02	26,43	26,48	26,43
<b>Nilai Min.</b>	8,41	22,29	24,99	9,92	23,51
<b>WAKTU AERASI 8,5 JAM</b>					
28/05/2022	15,04	13,75	3,06	13,11	8,57
29/05/2022	15,48	14,02	3,74	13,41	9,21
30/05/2022	2,47	4,52	4,97	6,05	4,35
02/06/2022	2,09	5,21	5,50	6,71	3,78
03/06/2022	25,60	8,50	11,06	10,65	15,53
06/06/2022	25,60	1,77	1,90	2,06	4,29
<b>Rata-rata</b>	14,38	7,96	5,04	8,67	7,62
<b>Standar Deviasi</b>	10,45	5,06	3,22	4,48	4,53
<b>Nilai Maks.</b>	25,60	14,02	11,06	13,41	15,53
<b>Nilai Min.</b>	2,09	1,77	1,90	2,06	3,78
10/06/2022	2,11	10,33	9,33	8,26	9,43
14/06/2022	2,83	14,06	8,56	14,49	8,54
15/06/2022	7,65	14,19	7,62	15,26	7,74
16/06/2022	7,41	14,96	7,56	15,55	7,10
<b>Rata-rata</b>	5,00	13,38	8,27	13,39	8,20
<b>Standar Deviasi</b>	2,94	2,08	0,84	3,45	1,01
<b>Nilai Maks.</b>	7,65	14,96	9,33	15,55	9,43
<b>Nilai Min.</b>	2,11	10,33	7,56	8,26	7,10

## B.8 Hasil Analisa pH Bak Aerasi

Tabel B. 8 Hasil Analisa pH Bak Aerasi

Tanggal	Influent	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	pH	pH	pH	pH	pH
<b>WAKTU AERASI 17 JAM</b>					
28/03/2022	2,83	6,69	7,18	7,06	7,19
29/03/2022	2,83	7,33	7,30	7,13	7,19
30/03/2022	2,85	7,41	7,38	7,35	7,36

Tanggal	Influent	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	pH	pH	pH	pH	pH
01/04/2022	2,79	8,21	7,35	7,31	7,33
04/04/2022	2,90	7,50	7,37	7,23	7,23
05/04/2022	2,90	7,46	7,48	7,40	7,39
06/04/2022	2,90	7,65	7,63	7,51	7,54
07/04/2022	2,11	7,46	7,49	7,42	7,43
11/04/2022	2,11	7,50	7,83	7,69	7,65
12/04/2022	2,47	7,46	7,28	7,44	7,2
14/04/2022	2,47	7,44	7,12	7,16	7,32
18/04/2022	2,47	7,52	7,50	7,53	7,66
19/04/2022	2,53	8,01	7,9	7,84	8,01
20/04/2022	2,53	8,29	7,75	8,24	8,20
23/04/2022	2,53	8,23	7,98	8,21	8,17
25/04/2022	6,5	7,54	6,72	7,22	7,15
09/05/2022	5,78	7,265	7,1	7,225	7,1
10/05/2022	4,32	7,48	7,61	7,82	7,77
11/05/2022	5,01	7,84	7,65	7,85	7,75
12/05/2022	6,23	7,56	7,19	7,71	7,7
13/05/2022	4,78	7,32	6,98	7,75	7,66
<b>Rata-rata</b>	3,42	7,58	7,42	7,53	7,52
<b>Standar Deviasi</b>	1,36	0,36	0,31	0,33	0,32
<b>Nilai Max,</b>	6,50	8,29	7,98	8,24	8,20
<b>Nilai Min.</b>	2,11	6,69	6,72	7,06	7,10
<b>WAKTU AERASI 8,5 JAM</b>					
26/05/2022	2,65	8,60	8,16	8,12	8,19
27/05/2022	2,65	7,98	8,20	8,06	7,72
28/05/2022	3,41	7,25	7,08	7,24	7,25
30/05/2022	3,41	8,01	8,17	8,20	8,11
31/05/2022	3,78	7,57	7,70	7,76	8,06
02/06/2022	3,78	7,01	7,34	7,58	7,54
03/06/2022	4,12	6,99	6,69	6,88	6,78
06/06/2022	4,12	7,10	7,28	7,25	7,24
<b>Rata-rata</b>	3,49	7,56	7,58	7,64	7,61
<b>Standar Deviasi</b>	0,58	0,59	0,57	0,48	0,50
<b>Nilai Max,</b>	4,12	8,60	8,20	8,20	8,19
<b>Nilai Min.</b>	2,65	6,99	6,69	6,88	6,78
<b>WAKTU AERASI 4 JAM</b>					
10/06/2022	4,25	7,20	7,19	7,45	7,19
13/06/2022	6,13	7,14	7,13	7,19	7,70
14/06/2022	3,78	7,73	7,54	7,5	7,76
15/06/2022	4,12	7,14	7,22	7,19	7,76
16/06/2022	4,15	7,14	7,30	7,27	7,79
<b>Rata-rata</b>	4,486	7,27	7,28	7,32	7,64
<b>Standar Deviasi</b>	0,94	0,26	0,16	0,15	0,25
<b>Nilai Max.</b>	6,13	7,73	7,54	7,5	7,79
<b>Nilai Min.</b>	3,78	7,14	7,13	7,19	7,19

## B.9 Hasil Analisa DO Bak Aerasi

Tabel B. 9 Hasil Analisa DO Bak Aerasi

Tanggal	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
07/04/2022	6,4	6,3	5,1	5,2
09/04/2022	1,5	5,5	2,0	4,9
11/04/2022	8,0	5,5	4,7	8,0
14/06/2022	4,2	4,9	4,3	4,6
16/06/2022	1,8	1,9	1,5	1,6
20/06/2022	2,7	2,3	1,9	2,1
<b>Rata-rata</b>	4,1	4,4	3,3	4,4
<b>Standar Deviasi</b>	2,6	1,8	1,6	2,3
<b>Nilai Maks.</b>	8,0	6,3	5,1	8,0
<b>Nilai Min.</b>	1,5	1,9	1,5	1,6

## B.10 Hasil Analisa Temperatur Bak Aerasi

Tabel B. 10 Hasil Analisa Temperatur Bak Aerasi

Tanggal	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	°C	°C	°C	°C
<b>WAKTU AERASI 17 JAM</b>				
05/04/2022	29,5	29,4	29,4	29,5
07/04/2022	29,6	29,2	29,1	29,1
09/04/2022	31,2	30,5	30,3	30,2
11/04/2022	30,5	29,5	29,6	29,8
14/04/2022	31,5	30,6	30,6	30,5
18/04/2022	30,3	30,2	30,3	30,3
19/04/2022	30,4	29,7	29,7	30,0
20/04/2022	29,6	29,5	29,5	29,5
23/04/2022	29,6	29,2	29,1	29,1
25/04/2022	29,8	30,1	30,1	30,1
09/05/2022	30,0	30,0	30,1	30,1
10/05/2022	30,5	30,4	30,4	30,4
20/05/2022	30,1	29,9	29,9	30,0
<b>Rata-rata</b>	30,20	29,86	29,85	29,89
<b>Standar Deviasi</b>	0,63	0,48	0,49	0,46
<b>Nilai Maks.</b>	31,5	30,6	30,6	30,5
<b>Nilai Min.</b>	29,5	29,2	29,1	29,1
<b>WAKTU AERASI 8,5 JAM</b>				
26/05/2022	31,1	31,5	31,2	32,5
27/05/2022	31,6	32,1	31,4	31,1
28/05/2022	30,9	30,2	30,8	31,0
30/05/2022	30,7	30,6	30,6	30,3
31/05/2022	33,5	33,6	33,9	33,7
02/06/2022	29,6	29,5	29,6	30,2
03/06/2022	33,8	33,3	33,6	33,4
06/06/2022	30,7	30,4	30,5	30,5

Tanggal	MBBR 0	MBBR 25	MBBR 40	MBBR 50
	°C	°C	°C	°C
<b>Rata-rata</b>	31,49	31,40	31,45	31,59
<b>Standar Deviasi</b>	1,45	1,49	1,52	1,41
<b>Nilai Maks.</b>	33,8	33,6	33,9	33,7
<b>Nilai Min.</b>	29,6	29,5	29,6	30,2
<b>WAKTU AERASI 4 JAM</b>				
10/06/2022	31,8	31,0	31,3	31,9
13/06/2022	31,2	31,2	31,3	31,5
14/06/2022	27,8	27,5	27,5	27,6
15/06/2022	30,0	30,7	30,6	30,1
16/06/2022	30,1	30,9	30,9	30,2
17/06/2022	30,8	31,5	31,1	30,9
<b>Rata-rata</b>	30,28	30,47	30,45	30,37
<b>Standar Deviasi</b>	1,39	1,48	1,47	1,53
<b>Nilai Maks.</b>	31,8	31,5	31,3	31,9
<b>Nilai Min.</b>	27,8	27,5	27,5	27,6



**LAMPIRAN C**  
**HASIL PERHITUNGAN UJI ANOVA DAN TUKEY HSD TIAP**  
**PARAMETER**

Pada bagian ini, disajikan data hasil perhitungan Uji Anova One Way tiap variasi waktu aerasi untuk menunjukkan pergerakan signifikansi hasil perlakuan.

**C.1 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 17 Jam**

Tabel C. 1 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 17 Jam

<b>ANOVA COD</b>						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	984327.5	3	328109.2	1.885327	0.161573	3.049125
Within Groups	3828727	22	174033.1			
Total	4813055	25				
<b>ANOVA Ammonia</b>						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	24.87959	3	8.293195	0.112132	0.951335	3.490295
Within Groups	887.5095	12	73.95913			
Total	912.3891	15				
<b>ANOVA SVI</b>						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	80698.17	3	26899.39	5.207298	0.00652	3.008787
Within Groups	123977	24	5165.71			
Total	204675.2	27				
<b>ANOVA TSS</b>						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	9927.61	3	3309.20	0.037333	0.990227	2.802355
Within Groups	4166117	47	88640.79			
Total	4176045	50				
<b>ANOVA Turbidity</b>						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	105707.2	3	35235.72	3.25372	0.028289	2.769431
Within Groups	606443.9	56	10829.36			
Total	712151.1	59				

## C.2 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 17 Jam

Tabel C. 2 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 17 Jam

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: COD

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0	MBBR 25	450.66667	240.85477	.269	-218.1475	1119.4808
	MBBR 40	511.12381	232.09346	.154	-133.3616	1155.6093
	MBBR 50	278.43810	232.09346	.633	-366.0473	922.9235
MBBR 25	MBBR 0	-450.66667	240.85477	.269	-1119.4808	218.1475
	MBBR 40	60.45714	232.09346	.994	-584.0283	704.9426
	MBBR 50	-172.22857	232.09346	.879	-816.7140	472.2569
MBBR 40	MBBR 0	-511.12381	232.09346	.154	-1155.6093	133.3616
	MBBR 25	-60.45714	232.09346	.994	-704.9426	584.0283
	MBBR 50	-232.68571	222.98819	.726	-851.8873	386.5159
MBBR 50	MBBR 0	-278.43810	232.09346	.633	-922.9235	366.0473
	MBBR 25	172.22857	232.09346	.879	-472.2569	816.7140
	MBBR 40	232.68571	222.98819	.726	-386.5159	851.8873

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: SVI

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	-114.23143*	38.41767	.031	-220.2108	-8.2521
	MBBR 40%	-124.01571*	38.41767	.018	-229.9950	-18.0364
	MBBR 50%	-27.52000	38.41767	.890	-133.4993	78.4593
MBBR 25%	MBBR 0%	114.23143*	38.41767	.031	8.2521	220.2108
	MBBR 40%	-9.78429	38.41767	.994	-115.7636	96.1950
	MBBR 50%	86.71143	38.41767	.137	-19.2679	192.6908
MBBR 40%	MBBR 0%	124.01571*	38.41767	.018	18.0364	229.9950
	MBBR 25%	9.78429	38.41767	.994	-96.1950	115.7636
	MBBR 50%	96.49571	38.41767	.083	-9.4836	202.4750
MBBR 50%	MBBR 0%	27.52000	38.41767	.890	-78.4593	133.4993
	MBBR 25%	-86.71143	38.41767	.137	-192.6908	19.2679
	MBBR 40%	-96.49571	38.41767	.083	-202.4750	9.4836

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: NTU

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)			Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	92.04000	37.99887	.084	-8.5767	192.6567
	MBBR 40%	105.42000*	37.99887	.037	4.8033	206.0367
	MBBR 50%	90.56467	37.99887	.092	-10.0521	191.1814
MBBR 25%	MBBR 0%	-92.04000	37.99887	.084	-192.6567	8.5767
	MBBR 40%	13.38000	37.99887	.985	-87.2367	113.9967
	MBBR 50%	-1.47533	37.99887	1.000	-102.0921	99.1414
MBBR 40%	MBBR 0%	-105.42000*	37.99887	.037	-206.0367	-4.8033
	MBBR 25%	-13.38000	37.99887	.985	-113.9967	87.2367
	MBBR 50%	-14.85533	37.99887	.980	-115.4721	85.7614
MBBR 50%	MBBR 0%	-90.56467	37.99887	.092	-191.1814	10.0521
	MBBR 25%	1.47533	37.99887	1.000	-99.1414	102.0921
	MBBR 40%	14.85533	37.99887	.980	-85.7614	115.4721

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### C.3 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 8,5 Jam

Tabel C. 3 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 8,5 Jam

ANOVA COD						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	400512	3	133504	8.776999	0.002361	3.490295
Within Groups	182528	12	15210.67			
Total	583040	15				

ANOVA Ammonia						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	45.16593	3	15.05531	0.785538	0.516008	3.098391
Within Groups	383.312	20	19.1656			
Total	428.4779	23				

ANOVA SVI						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	43778.9	3	14592.97	3.150497	0.047617	3.098391
Within Groups	92639.12	20	4631.956			
Total	136418	23				

ANOVA TSS						
-----------	--	--	--	--	--	--

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1647.373	3	549.1244	1.081982	0.380531	3.12735
Within Groups	9642.83	19	507.5173			
Total	11290.2	22				

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	45923.43	4	11480.86	8.871005	0.000699	3.055568
Within Groups	19413	15	1294.2			
Total	65336.43	19				

#### C.4 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 8,5 Jam

Tabel C. 4 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 8,5 Jam

##### Multiple Comparisons

Dependent Variable: COD

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	352.0000*	87.20856	.008	93.0864	610.9136
	MBBR 40%	412.0000*	87.20856	.002	153.0864	670.9136
	MBBR 50%	292.0000*	87.20856	.026	33.0864	550.9136
MBBR 25%	MBBR 0%	-352.0000*	87.20856	.008	-610.9136	-93.0864
	MBBR 40%	60.00000	87.20856	.900	-198.9136	318.9136
	MBBR 50%	-60.00000	87.20856	.900	-318.9136	198.9136
MBBR 40%	MBBR 0%	-412.0000*	87.20856	.002	-670.9136	-153.0864
	MBBR 25%	-60.00000	87.20856	.900	-318.9136	198.9136
	MBBR 50%	-120.00000	87.20856	.536	-378.9136	138.9136
MBBR 50%	MBBR 0%	-292.0000*	87.20856	.026	-550.9136	-33.0864
	MBBR 25%	60.00000	87.20856	.900	-198.9136	318.9136
	MBBR 40%	120.00000	87.20856	.536	-138.9136	378.9136

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

##### Multiple Comparisons

Dependent Variable: NH4

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	2.92333	2.52720	.660	-4.1501	9.9968
	MBBR 40%	-.70333	2.52720	.992	-7.7768	6.3701

	MBBR 50%	.34000	2.52720	.999	-6.7335	7.4135
MBBR 25%	MBBR 0%	-2.92333	2.52720	.660	-9.9968	4.1501
	MBBR 40%	-3.62667	2.52720	.493	-10.7001	3.4468
	MBBR 50%	-2.58333	2.52720	.739	-9.6568	4.4901
MBBR 40%	MBBR 0%	.70333	2.52720	.992	-6.3701	7.7768
	MBBR 25%	3.62667	2.52720	.493	-3.4468	10.7001
	MBBR 50%	1.04333	2.52720	.976	-6.0301	8.1168
MBBR 50%	MBBR 0%	-.34000	2.52720	.999	-7.4135	6.7335
	MBBR 25%	2.58333	2.52720	.739	-4.4901	9.6568
	MBBR 40%	-1.04333	2.52720	.976	-8.1168	6.0301

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: SVI

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	-111.63333 <sup>*</sup>	39.29349	.046	-221.6133	-1.6534
	MBBR 40%	-93.83167	39.29349	.112	-203.8116	16.1483
	MBBR 50%	-56.85167	39.29349	.486	-166.8316	53.1283
MBBR 25%	MBBR 0%	111.63333 <sup>*</sup>	39.29349	.046	1.6534	221.6133
	MBBR 40%	17.80167	39.29349	.968	-92.1783	127.7816
	MBBR 50%	54.78167	39.29349	.517	-55.1983	164.7616
MBBR 40%	MBBR 0%	93.83167	39.29349	.112	-16.1483	203.8116
	MBBR 25%	-17.80167	39.29349	.968	-127.7816	92.1783
	MBBR 50%	36.98000	39.29349	.783	-73.0000	146.9600
MBBR 50%	MBBR 0%	56.85167	39.29349	.486	-53.1283	166.8316
	MBBR 25%	-54.78167	39.29349	.517	-164.7616	55.1983
	MBBR 40%	-36.98000	39.29349	.783	-146.9600	73.0000

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: NTU

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	3.32000	1.78740	.296	-1.9866	8.6266
	MBBR 40%	3.84500	1.78740	.192	-1.4616	9.1516
	MBBR 50%	4.94500	1.78740	.071	-.3616	10.2516
MBBR 25%	MBBR 0%	-3.32000	1.78740	.296	-8.6266	1.9866
	MBBR 40%	.52500	1.78740	.991	-4.7816	5.8316
	MBBR 50%	1.62500	1.78740	.800	-3.6816	6.9316

MBBR 40%	MBBR 0%	-3.84500	1.78740	.192	-9.1516	1.4616
	MBBR 25%	-.52500	1.78740	.991	-5.8316	4.7816
	MBBR 50%	1.10000	1.78740	.925	-4.2066	6.4066
MBBR 50%	MBBR 0%	-4.94500	1.78740	.071	-10.2516	.3616
	MBBR 25%	-1.62500	1.78740	.800	-6.9316	3.6816
	MBBR 40%	-1.10000	1.78740	.925	-6.4066	4.2066

### C.5 Hasil Uji ANOVA One Way untuk Waktu Aerasi 4 Jam

#### ANOVA COD

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	208799,4	3	69599,79	1,089829	0,407405	4,066181
Within Groups	510904,3	8	63863,04			
Total	719703,7	11				

#### ANOVA TSS

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	7182,994	3	2394,331	1,1195	0,370533	3,238872
Within Groups	34220	16	2138,75			
Total	41402,99	19				

#### ANOVA SVI

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	91610,12	3	30536,71	6,229921	0,005248	3,238872
Within Groups	78425,93	16	4901,621			
Total	170036,1	19				

#### ANOVA Ammonia

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	106.1959	3	35.39863	7.897503	0.003572	3.490295
Within Groups	53.78707	12	4.482256			
Total	159.983	15				

#### ANOVA Turbidity

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	31705.23	3	10568.41	4.721359	0.015192	3.238872
Within Groups	35814.8	16	2238.425			
Total	67520.03	19				

## C.6 Hasil Uji Tukey HSD untuk Waktu Aerasi 4 Jam

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: COD

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	352.00000 <sup>*</sup>	87.20856	.008	93.0864	610.9136
	MBBR 40%	412.00000 <sup>*</sup>	87.20856	.002	153.0864	670.9136
	MBBR 50%	292.00000 <sup>*</sup>	87.20856	.026	33.0864	550.9136
MBBR 25%	MBBR 0%	-352.00000 <sup>*</sup>	87.20856	.008	-610.9136	-93.0864
	MBBR 40%	60.00000	87.20856	.900	-198.9136	318.9136
	MBBR 50%	-60.00000	87.20856	.900	-318.9136	198.9136
MBBR 40%	MBBR 0%	-412.00000 <sup>*</sup>	87.20856	.002	-670.9136	-153.0864
	MBBR 25%	-60.00000	87.20856	.900	-318.9136	198.9136
	MBBR 50%	-120.00000	87.20856	.536	-378.9136	138.9136
MBBR 50%	MBBR 0%	-292.00000 <sup>*</sup>	87.20856	.026	-550.9136	-33.0864
	MBBR 25%	60.00000	87.20856	.900	-198.9136	318.9136
	MBBR 40%	120.00000	87.20856	.536	-138.9136	378.9136

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: NH4

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	5.11750 <sup>*</sup>	1.49710	.023	.6728	9.5622
	MBBR 40%	-.00500	1.49710	1.000	-4.4497	4.4397
	MBBR 50%	5.18250 <sup>*</sup>	1.49710	.021	.7378	9.6272
MBBR 25%	MBBR 0%	-5.11750 <sup>*</sup>	1.49710	.023	-9.5622	-.6728
	MBBR 40%	-5.12250 <sup>*</sup>	1.49710	.023	-9.5672	-.6778
	MBBR 50%	.06500	1.49710	1.000	-4.3797	4.5097
MBBR 40%	MBBR 0%	.00500	1.49710	1.000	-4.4397	4.4497
	MBBR 25%	5.12250 <sup>*</sup>	1.49710	.023	.6778	9.5672
	MBBR 50%	5.18750 <sup>*</sup>	1.49710	.021	.7428	9.6322
MBBR 50%	MBBR 0%	-5.18250 <sup>*</sup>	1.49710	.021	-9.6272	-.7378
	MBBR 25%	-.06500	1.49710	1.000	-4.5097	4.3797
	MBBR 40%	-5.18750 <sup>*</sup>	1.49710	.021	-9.6322	-.7428

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: SVI

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	123.66667*	37.99181	.019	17.3300	230.0033
	MBBR 40%	124.04000*	37.99181	.019	17.7033	230.3767
	MBBR 50%	-29.15500	37.99181	.868	-135.4917	77.1817
MBBR 25%	MBBR 0%	-123.66667*	37.99181	.019	-230.0033	-17.3300
	MBBR 40%	.37333	37.99181	1.000	-105.9633	106.7100
	MBBR 50%	-152.82167*	37.99181	.003	-259.1583	-46.4850
MBBR 40%	MBBR 0%	-124.04000*	37.99181	.019	-230.3767	-17.7033
	MBBR 25%	-.37333	37.99181	1.000	-106.7100	105.9633
	MBBR 50%	-153.19500*	37.99181	.003	-259.5317	-46.8583
MBBR 50%	MBBR 0%	29.15500	37.99181	.868	-77.1817	135.4917
	MBBR 25%	152.82167*	37.99181	.003	46.4850	259.1583
	MBBR 40%	153.19500*	37.99181	.003	46.8583	259.5317

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: TSS

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	32.53400	29.10333	.684	-50.7312	115.7992
	MBBR 40%	20.86800	29.10333	.889	-62.3972	104.1332
	MBBR 50%	53.60000	29.10333	.291	-29.6652	136.8652
MBBR 25%	MBBR 0%	-32.53400	29.10333	.684	-115.7992	50.7312
	MBBR 40%	-11.66600	29.10333	.977	-94.9312	71.5992
	MBBR 50%	21.06600	29.10333	.886	-62.1992	104.3312
MBBR 40%	MBBR 0%	-20.86800	29.10333	.889	-104.1332	62.3972
	MBBR 25%	11.66600	29.10333	.977	-71.5992	94.9312
	MBBR 50%	32.73200	29.10333	.680	-50.5332	115.9972
MBBR 50%	MBBR 0%	-53.60000	29.10333	.291	-136.8652	29.6652
	MBBR 25%	-21.06600	29.10333	.886	-104.3312	62.1992
	MBBR 40%	-32.73200	29.10333	.680	-115.9972	50.5332

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: NTU

Tukey HSD

(I) MBBR	(J) MBBR	Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
		(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
MBBR 0%	MBBR 25%	88.17400*	29.92274	.042	2.5645	173.7835
	MBBR 40%	.96000	29.92274	1.000	-84.6495	86.5695



	MBBR 50%	69.94000	29.92274	.131	-15.6695	155.5495
MBBR 25%	MBBR 0%	-88.17400*	29.92274	.042	-173.7835	-2.5645
	MBBR 40%	-87.21400*	29.92274	.045	-172.8235	-1.6045
	MBBR 50%	-18.23400	29.92274	.928	-103.8435	67.3755
MBBR 40%	MBBR 0%	-.96000	29.92274	1.000	-86.5695	84.6495
	MBBR 25%	87.21400*	29.92274	.045	1.6045	172.8235
	MBBR 50%	68.98000	29.92274	.138	-16.6295	154.5895
MBBR 50%	MBBR 0%	-69.94000	29.92274	.131	-155.5495	15.6695
	MBBR 25%	18.23400	29.92274	.928	-67.3755	103.8435
	MBBR 40%	-68.98000	29.92274	.138	-154.5895	16.6295

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**LAMPIRAN D**  
**DOKUMENTASI PENELITIAN**



Titik Pengambilan Sampel  
(Bak Kontrol CIP Silo Susu)



Jeriken Penampung Sampel



Botol *Bio-starter* EM4



*Larutan Bio-starter* EM4



*Sampling* Reaktor



Analisa TSS



Analisa COD



Analisa Ammonia



Analisa Kekeruhan



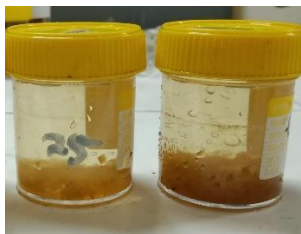
Analisa pH



Analisa *Settleable Solid*



Air limbah sebelum pengolahan (kiri) dan air limbah setelah pengolahan reaktor penelitian (kanan)



Contoh uji bak aerasi setelah diendapkan selama 2 jam

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan seorang kelahiran Kota Surabaya, Jawa Timur yang lahir pada tanggal 17 Mei 2000 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis mengenyam pendidikan SMP pada tahun 2013-2015 di SMP Negeri 8 Malang, Kota Malang. Kemudian melanjutkan pendidikan SMA pada tahun 2015-2018 di SMA Negeri 1 Malang, Kota Malang. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan perkuliahan sarjana S-1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2018, terdaftar dengan NRP. 03211840000002.

Selama perkuliahan, penulis juga aktif berkegiatan di luar kegiatan perkuliahan utama baik akademis maupun non akademis seperti menjadi peserta Studi Independen Kampus Merdeka di PT Microsoft Indonesia pada tahun 2021-2022, menjadi Wakil Ketua Environment ITS 2020, dan menjadi Tim “Media Creative and Music Production” UKM Musik ITS. Penulis pernah melaksanakan Kerja Praktik di PT Greenfields Dairy Farm Indonesia Farm 2 Wlingi, Kab. Blitar, Jawa Timur. Penulis berharap dari laporan tugas akhir ini dapat menjadi referensi baik mengenai pengolahan air limbah menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* terutama untuk air limbah industri pemerahan sapi. Penulis dapat dihubungi melalui email [adhiolakn@gmail.com](mailto:adhiolakn@gmail.com).







UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)

Periode: Genap 2021/2022

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 7 Juli 2022

Nilai TOEFL 490

Pukul : 13.30 - 14.45 WIB

Lokasi : TL-101

Judul : Optimasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Sapi menggunakan MBBR (Studi Kasus: IPAL Milking PT X)

Nama : ADHIOLA KUSUMONINGRAT NUGROHO

NRP. : 03211840000002

Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	<p>Persiapan paper/artikel :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1/ Penulis : Nugroho dan Soedjono. + amoretta + 1 lagi. Soedjono sbg corresponding author.</li> <li>2/ Artikel dlm jhs. Indo.</li> <li>3/ Boleh disajikan di jurnal ataupun seminar.</li> <li>4/ Judul : Lab. scale MBBR to treat air limbah industri pemerahan sapi.</li> <li>5/ Methods → siapkan gambar lab scale-nya + foto → jelaskan variables &amp; parameter-nya!</li> <li>6/ Siapkan L Bebbang + Hasilnya</li> <li>7/ Di L Bebb ada <math>\geq 2</math> literatur penelitian pak eddy!</li> <li>8/ Total paper <math>&lt; 15</math> hal : font 12 + 1,5 spasi. (tahoma)</li> <li>9/ Why MBBR ?</li> </ol>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D







PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 7 Juli 2022  
Pukul : 13:30 - 14:45 WIB  
Lokasi : TL-101  
Judul : Optimasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Sapi menggunakan MBBR (Studi Kasus: IPAL Milking PT X)  
Nama : ADHIOLA KUSUMONINGRAT NUGROHO  
NRP. : 03211840000002  
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Perbaiki penulisan tabel dan gambar tipe konsisten.
2	Penulisan salah kekh ganti
3.	Kesimpulan diganti sesuai tujuan
4.	Bahasan diperhatikan sitasi yang benar.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D

Dosen Pembimbing Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D

()  
()





PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 7 Juli 2022  
Pukul : 13:30 - 14:45 WIB  
Lokasi : TL-101  
Judul : Optimasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Sapi menggunakan MBBR (Studi Kasus: IPAL Milking PT X)  
Nama : ADHIOLA KUSUMONINGRAT NUGROHO  
NRP. : 03211840000002  
Topik : Penelitian

No/Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Penulisan diperbaiki : - typo & ukuran font. - Penempatan gambar
2.	Saran diperbaiki

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Alfan Purnomo, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Ir. Eddy Setiad Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D





UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 7 Juli 2022  
Pukul : 13:30 - 14:45 WIB  
Lokasi : TL-101  
Judul : Optimasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pemerahan Sapi menggunakan MBBR (Studi Kasus: IPAL Milking PT X)  
Nama : ADHIOLA KUSUMONINGRAT NUGROHO  
NRP. : 0321184000002  
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Buat kurva waktu aliran vs kualitas eff - u ratio media vs u eff.
2.	Keimpulan diperbaiki kalimatnya
3.	Kontribusi media kop. 2.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

Dosen Pembimbing Ir. Eddy Setiad Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D

(Bowo Marsono)  
(Eddy Soedjono)