PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN KOMBINASI TEKNOLOGI BIOFILTER ANAEROB DAN *MICROBUBBLE GENERATOR*

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

TIARA SEKAR MULIADITA
NIM. 190702017

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM – BANDA ACEH
2023 M / 1444 H

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN KOMBINASI TEKNOLOGI BIOFILTER ANAEROB DAN *MICROBUBBLE GENERATOR*

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan oleh:
TIARA SEKAR MULIADITA
NIM. 190702017
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 5 Desember 2023

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Ir. Juliansyah Harahap, S.T., M.Sc.	**Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.**
NIDN. 2031078204	NIDN. 2002028301

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Husnawati Yahya, M.Sc.
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN KOMBINASI TEKNOLOGI BIOFILTER ANAEROB DAN *MICROBUBBLE GENERATOR*

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Kelulusan
Program Sarjana Teknik (S-1) dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Jumat/ 03 November 2023 M
19 Rabiul Akhir 1445 H

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir:

Ketua,	Sekretaris,
Dr. Ir. Juliansyah Harahap, S.T., M.Sc.	**Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.**
NIDN. 2031078204	NIDN. 2002028301
Penguji I,	Penguji II,
Arief Rahman, S.T., M.T.	**Husnawati Yahya, M.Sc.**
NIDN. 2010038901	NIDN. 2009118301

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh

Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU.
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama	: Tiara Sekar Muliadita
NIM	: 190702017
Program Studi	: Teknik Lingkungan
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Judul Tugas Akhir	: Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Menggunakan Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain; dan
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang benar ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 25 Oktober 2023

Yang Menyatakan,

Tiara Sekar Muliadita

ABSTRAK

Nama : Tiara Sekar Muliadita
NIM : 190702017
Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul : Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Menggunakan Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*
Tanggal Sidang : 3 November 2023
Jumlah Halaman :
Pembimbing I : Dr. Ir. Juliansyah Harahap, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.

Kata Kunci : Pengolahan air limbah industri tahu, biofilter anaerob, *Microbubble Generator*

Air limbah tahu mengandung kontaminan organik yang tinggi sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas biofilter anaerob dan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dalam mengolah air limbah industri tahu serta untuk mengetahui pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) biofilter anaerob dan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dalam mengolah air limbah industri tahu. Pengolahan air limbah industri tahu menggunakan biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*. Proses biofilter anaerob memanfaatkan mikrorganisme anaerob untuk mendegradasi kandungan organik. *Microbubble Generator* menghasilkan gelembung udara dengan diameter kurang dari 200 µm untuk menyediakan oksigen bagi mikroorganisme aerob mendekomposisi bahan organik air limbah. Penelitian ini menggunakan variasi waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob selama 12, 24, dan 48 jam dan *Microbubble Generator* selama 60 menit, 120 menit, dan 180 menit. Hasil pengolahan paling efektif diperoleh pada kombinasi biofilter anaerob 48 jam dan *Microbubble Generator* 180 menit. Penurunan COD, BOD, TSS, dan amonia sebesar 233 mg/l, 70,3 mg/l, 10 mg/l, dan 0,25 mg/l dengan efektivitas 93,82%, 93,11%, 97,5%, dan 97,82%, serta meningkatkan pH dari 5,0 menjadi 6,8, dan meningkatkan DO dari 3,7 mg/l menjadi 6,5 mg/l. Dapat disimpulkan bahwa kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* efektif dalam mengolah air limbah industri tahu karena mampu menurunkan konsentrasi polutan sehingga memenuhi baku mutu air limbah tahu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014.

ABSTRACT

Name : Tiara Sekar Muliadita
Student ID Number : 190702017
Department : *Environmental Engineering*

Title : *Tofu Industrial Wastewater Treatment Using A Combination Of Anaerobic Biofilter and Microbubble Generator Technology*

Date of Session : 3 November 2023
Number of Pages :
Advisor I : Dr. Ir. Juliansyah Harahap, S.T., M.Sc.
Advisor II : Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.
Keywords : *Tofu industrial wastewater treatment, anaerobic biofilter, Microbubble Generator*

Tofu industrial wastewater contains high organic contaminants that can pollute the environment. This research aims to determine the effectiveness of the anaerobic biofilter and the combination of the anaerobic biofilter and Microbubble Generator in treating tofu industrial wastewater and to determine the effect of the Hydraulic Retention Time (HRT) of the anaerobic biofilter and the combination of the anaerobic biofilter and Microbubble Generator in treating tofu industrial wastewater. Tofu industrial wastewater treatment uses anaerobic biofilters and Microbubble Generators. The anaerobic biofilter process utilizes anaerobic microorganisms to degrade organic matter. The Microbubble Generator produces air bubbles with a diameter of less than 200 µm to provide oxygen for aerobic microorganisms to decompose wastewater organic matter. This study utilized retention time (HRT) variations of the anaerobic biofilter at 12, 24, and 48 hours and the Microbubble Generator at 60 minutes, 120 minutes, and 180 minutes. The most effective processing results were obtained from a combination of HRT anaerobic biofilter 48 hours and Microbubble Generator 180 minutes. Reduction of COD, BOD, TSS, and ammonia by 233 mg/l, 70,3 mg/l, 10 mg/l, and 0.25 mg/l with effectiveness of 93,82%, 93,11%, 97,5%, and 97,82%, also increase pH from 5.0 to 6.8, and increase DO from 3.7 mg/l to 6.5 mg/l. It can be concluded that the combination of the anaerobic biofilter and Microbubble Generator is effective in treating tofu industrial wastewater because it is able to reduce the concentration of pollutants so that it meets the quality standards for tofu wastewater according to Minister of the Environment Regulation Number 5 of 2014.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadirat Allah Swt. yang telah melimpahkan nikmat dan karunianya-Nya, diantaranya nikmat iman dan kesehatan. Shalawat serta salam semoga tercurahkan kepada Rasulullah saw. yang telah mengubah tatanan hidup manusia ke arah yang lebih baik dari zaman sebelumnya.

Ucapan rasa syukur kepada Allah Swt. karena tugas akhir ini telah dapat penulis selesaikan. Penulis mengangkat judul tugas akhir yaitu "Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Menggunakan Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*". Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana strata-1 pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Selama penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan rasa sayang dan terima kasih kepada kedua orang tua, Ayahanda Arif Sawitra dan Ibunda Lili Supriyani yang senantiasa memberi dukungan, semangat, serta doa untuk penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah banyak memberikan bantuan dan bimbingan demi kelancaran penulisan proposal tugas akhir ini:

1. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan dosen penguji pertama penulis.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Dr. Ir. Juliansyah Harahap S.T., M.Sc., dan Bapak Teuku Muhammad Ashari, M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat bermanfaat dalam penulisan tugas akhir ini.

5. Bapak Arief Rahman, S.T., M.T., selaku Ketua Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan dosen penguji kedua penulis.
6. Dr. Eng. Nur Aida, M.Si., selaku dosen pembimbing akademik penulis yang telah memberikan banyak arahan selama proses perkuliahan.
7. Seluruh staf Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry yang telah membantu dalam pengurusan administrasi.
8. Teman-teman seangkatan teknik lingkungan.

Akhir kata, penulis berharap Allah Swt. membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah meluangkan waktu dan membantu penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya perkembangan ilmu pengetahuan dan Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan tugas akhir ini.

Banda Aceh, 5 September 2023

Penulis,

Tiara Sekar Muliadita

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI iv
ABSTRAK v
ABSTRACT vi
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 5
1.5 Batasan Penelitian 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Air Limbah Industri Tahu 7
2.1.1 Karakteristik Air Limbah Industri Tahu 8
2.1.2 Dampak Pencemaran Air Limbah Industri Tahu 11
2.2 Pengolahan Air Limbah Industri Tahu 12
2.2.1 Bak Pengendapan 13
2.2.2 Biofilter Anaerob 13
2.2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Biofilter Anaerob 14
2.2.4 Pemilihan Media Biofilter Anaerob 16
2.2.5 Bak Aerob 17
2.2.6 *Microbubble Generator* 18
2.3 Penelitian Pendahuluan 19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 25

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 25
3.2 Pengambilan Sampel 27
3.2.1 Lokasi Pengambilan Sampel 27
3.2.2 Teknik Pengambilan Sampel 29
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 29
3.3.1 Alat 29
3.3.2 Bahan 30
3.4 Desain Reaktor 30
3.4.1 Bak Pengendapan 30
3.4.2 Reaktor Biofilter Anaerob 31
3.4.3 Reaktor *Microbubble Generator* 33
3.5 Variabel Penelitian 34
3.6 Proses *Seeding* 34
3.7 Prosedur Penelitian 35
3.7.1 Biofilter Anaerob 36
3.7.2 Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 36
3.8 Pengukuran Parameter Air Limbah Industri Tahu 38
3.8.1 Pengukuran pH 38
3.8.2 Pengukuran COD 38
3.8.3 Pengukuran BOD 39
3.8.4 Pengukuran TSS 39
3.8.5 Pengukuran DO 40
3.8.6 Pengukuran Amonia 41
3.9 Analisis Data 41
3.9.1 Efektivitas 41
3.9.2 Analisis Statistik 42
3.10 Penyajian Data 42
3.11 Tahapan Penelitian 42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 45
4.1. Efektivitas Pengolahan 45
4.1.1 Pengolahan Biofilter Anaerob 50

4.1.2 Pengolahan Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 62
4.2 Pengaruh Waktu Tinggal (HRT) Terhadap Pengolahan 76
4.2.1 Pengolahan Biofilter Anaerob 76
4.2.2 Pengolahan Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 78
BAB V PENUTUP 81
5.1. Kesimpulan 81
5.2. Saran 81
DAFTAR PUSTAKA 83
LAMPIRAN 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengolahan dengan Kombinasi Anaerob dan Aerob..... 13
Gambar 2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Biofilter Anaerob 15
Gambar 2.3 Media Filter Bioball..... 17
Gambar 2.4 *Microbubble Generator* 18
Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel..... 28
Gambar 3.2 Pabrik Tahu Solo, Banda Aceh..... 29
Gambar 3.3 Tempat Penampungan Air Limbah Pabrik Tahu Solo, Banda Aceh 29
Gambar 3.4 Bak Pengendapan 31
Gambar 3.5 Desain Reaktor Biofilter Anaerob 32
Gambar 3.6 Reaktor Biofilter Anaerob 32
Gambar 3.7 Reaktor *Microbubble Generator* 33
Gambar 3.8 Desain *Microbubble Generator* 33
Gambar 3.9 Diagram Skema Peralatan Penelitian 35
Gambar 3.10 Tahapan Alur Penelitian 44
Gambar 4.1 Proses *Seeding* Hari ke-1 50
Gambar 4.2 Proses *Seeding* Hari Ke-4 50
Gambar 4.3 Proses *Seeding* Hari ke-8 50
Gambar 4.4 Proses *Seeding* Hari ke-14 50
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian pH Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob 51
Gambar 4.6 Kurva Peningkatan pH Terhadap Waktu Tinggal Biofilter Anaerob..... 52
Gambar 4.7 Hasil Pengujian COD Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob..... 53
Gambar 4.8 Kurva Penurunan COD Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob 54
Gambar 4.9 Hasil Pengujian BOD Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob..... 55

Gambar 4.10 Kurva Penurunan BOD Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob 56
Gambar 4.11 Hasil Pengujian TSS Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob 57
Gambar 4.12 Kurva Penurunan TSS Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob 58
Gambar 4.13 Hasil Pengujian DO Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob 59
Gambar 4.14 Kurva Peningkatan DO Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob 60
Gambar 4.15 Hasil Pengujian Amonia Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob 61
Gambar 4.16 Kurva Penurunan Amonia Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob 61
Gambar 4.17 Hasil Pengujian pH Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 63
Gambar 4.18 Kurva Peningkatan pH Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 64
Gambar 4.19 Hasil Pengujian COD Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 65
Gambar 4.20 Kurva Penurunan COD Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 66
Gambar 4.21 Hasil Pengujian BOD Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 68
Gambar 4.22 Kurva Penurunan BOD Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 68
Gambar 4.23 Hasil Pengujian TSS Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 70
Gambar 4.24 Kurva Penurunan TSS Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 71

Gambar 4.25 Hasil Pengujian DO Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 72
Gambar 4.26 Kurva Peningkatan DO Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 73
Gambar 4.27 Hasil Pengujian Amonia Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 74
Gambar 4.28 Kurva Penurunan Amonia Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* 75

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu 8
Tabel 2. 2 Hasil Uji Karakteristik Air limbah Tahu di Indonesia 10
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu..... 21
Tabel 3. 1 Waktu Pelaksanaan Penelitian (tentatif)..... 26
Tabel 3. 2 Bahan Penelitian..... 30
Tabel 3. 3 Desain Eksperimen Penelitian..... 37
Tabel 3. 4 Bahan-bahan Pengukuran..... 38
Tabel 4. 1 Hasil Uji Karakteristik Awal Air Limbah Industri Tahu 45
Tabel 4. 2 Hasil dan Efektivitas Pengolahan Biofilter Anaerob 48
Tabel 4. 3 Hasil dan Efektivitas Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*..... 49

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Pemakaian Pertama Kali pada Halaman
BPS	Badan Pusat Statistik	1
COD	*Chemical Oxygen Demand*	2
BOD	*Biological Oxygen Demand*	2
TSS	*Total Suspended Solid*	2
pH	*Power of Hydrogen*	2
DIKPLHD	Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah	2
Permen LH	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup	2
DLHK3	Dinas Lingkungan Hidup, Kebersihan, dan Keindahan	13
HRT	*Hydraulic Retention Time*	3
DO	*Dissolved Oxygen*	3
OLR	*Organic Loading Rate*	15
IPAL	Instalasi Pengolahan Air Limbah	17
MBG	*Microbubble Generator*	25
Lambang		
µm	Mikrometer	18
<	Kurang dari	11
>	Lebih dari	11

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2021 Kota Banda Aceh memiliki 19 industri tahu yang tersebar di seluruh Kecamatan di Kota Banda Aceh seperti di Kecamatan Meuraxa, Jaya Baru, Banda Raya, Baiturrahman, Lueng Bata, Kuta Alam, Kuta Raja, Syiah Kuala, dan Ulee Kareng (BPS Kota Banda Aceh, 2021). Industri tahu menghasilkan limbah dari proses pembuatan tahu. Limbah industri tahu terdiri atas dua fase limbah, yaitu limbah dalam fase padat dan dalam fase cair. Limbah padat merupakan sisa dari tahap penyaringan dan penggumpalan, limbah ini masih berguna sehingga dapat dimanfaatkan kembali seperti digunakan untuk makanan ternak, gembus, dan oncom. Air limbah industri tahu berasal dari air sisa pada tahap pencucian, perebusan, pengepresan, dan pencetakan tahu pada umumnya tidak diproses kembali melainkan langsung dibuang. Hal tersebut menyebabkan industri tahu menghasilkan air limbah dalam jumlah besar sehingga kerap menimbulkan permasalahan lingkungan dan merugikan banyak pihak (Aurora dkk., 2021).

Proses pada industri tahu dapat menghasilkan air limbah sebesar 20 juta m^3 tiap tahunnya (Kholif dkk., 2021). Data lain menyebutkan untuk mengolah 1 kg kedelai dalam pembuatan tahu membutuhkan 45 liter air bersih dalam setiap prosesnya dan menghasilkan air limbah rata-rata 43,5 liter. Sebagai produk samping yang dihasilkan, air limbah industri tahu mengandung senyawa-senyawa organik yang tinggi, seperti protein dengan kadar 40-50%, karbohidrat 25-50% dan lemak 10% (Sari dkk., 2022). Pembuangan limbah tanpa upaya pengolahan sebelumnya dapat menimbulkan penurunan kualitas lingkungan, polusi pada perairan, serta menyebabkan terganggunya biota-biota yang hidup di air (Pagoray dkk., 2021).

Kandungan padatan tersuspensi maupun yang terlarut pada air limbah industri tahu menyebabkan gangguan kesehatan karena menghasilkan zat pencemar dan menyediakan media untuk tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme yang merugikan. Air limbah industri tahu mengalami perubahan warna menjadi coklat kehitaman dan menghasilkan gas berbau busuk yang dapat menimbulkan sakit

pernapasan. Sungai yang tercemar air limbah tahu dapat menyebabkan penyakit kulit dan diare bagi pengguna air sungai tersebut (Kurniawan dkk., 2021).

Berdasarkan data DIKPLHD (Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah) Kota Banda Aceh 2021, air limbah industri tahu Solo Punge memiliki karakteristik pH 4,27, COD 23.259 mg/l, BOD 9.510 mg/l, TSS 806 mg/l, dan amonia 7,5 mg/l. (Dinas Lingkungan Hidup, Kebersihan, dan Keindahan Kota Banda Aceh, 2021). Jika dibandingkan dengan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 pada Lampiran XVII tentang baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan pengolahan kedelai, dengan batas konsentrasi pH 6-9, TSS 200 mg/l, BOD 150 mg/l, dan COD 300 mg/l maka perlu dilakukan pengolahan terhadap air limbah industri tahu karena telah melewati dari batas baku mutu.

Sebagaimana limbah dari sumber lainnya, air limbah industri tahu harus dilakukan pengolahan sebelum dilepaskan ke lingkungan dan harus memenuhi baku mutu. Air limbah industri tahu dapat diolah dengan berbagai metode, seperti metode fisika (sedimentasi dan filtrasi), metode kimia (pembubuhan zat kimia) dan biologis (menggunakan mikroba). Teknologi pengolahan dengan metode biologis dapat dilakukan secara anaerob dan kombinasi anaerob-aerob. Pada proses biofilter anaerob, media biofilter digunakan sebagai tempat mikroorganisme tumbuh membentuk biofilm. Sumber karbon untuk pertumbuhan mikroorganisme didapat dari air limbah yang dialirkan (Pramita dkk., 2020).

Pengolahan air limbah diikuti dengan proses aerob menggunakan *Microbubble Generator*. Teknologi ini memiliki ukuran gelembung dengan diameter kecil yang akan berpengaruh pada kecepatan naik gelembung. Diameter gelembung yang kecil memperlambat laju naik gelembung sehingga gelembung dapat tinggal lebih lama dalam cairan. Kondisi tersebut selanjutnya akan menyebabkan proses transfer massa berlangsung dengan lebih cepat. Oksigen digunakan oleh mikroorganisme aerob untuk mendekomposisi bahan-bahan organik di dalam air limbah (Afisna dan Juwana, 2020).

Pada peneltian Afisna dan Juwana (2020), penggunaan *Microbubble Generator* untuk mengolah air limbah buatan dapat menurunkan COD dari 500 mg/l sampai 100 mg/l dan meningkatkan nilai DO (*Dissolved Oxygen*) dari 0 mg/l

sampai 3,1 mg/l selama 5 hari. Menurut Rahmawan (2022), *Microbubble Generator* dapat menurunkan COD, TSS dan turbiditas air limbah RPH sebesar 47,42%, 26,36%, dan 59,86%. Menurut Munfaridah dkk., (2022) *Microbubble Generator* yang digunakan untuk mengolah air limbah domestik dapat menurunkan COD dari 181 mg/l menjadi 40 mg/l, dan NH_3 dari 268 mg/l menjadi 67.80 mg/l.

Menurut Kholif (2021), penggunaan biofilter anaerob dengan media kerikil untuk air limbah tahu memiliki efisiensi *removal* BOD dan COD sebesar 58,02% dan COD 63% dengan HRT (*Hydraulic Retention Time*) 24 jam pada hari sampling kelima. Efisiensi paling tinggi diperoleh hari sampling ketiga untuk *reactor* berisi *bioball* yaitu BOD 63 % dan COD 70,45% pada hari kedua sampling. Menurut Zunidra dan Sondang (2022), pengolahan air limbah tahu dengan kombinasi biofilter anaerob dan aerob dilakukan selama sembilan hari menggunakan media filter *bioball* mampu menyisihkan BOD, COD, dan amonia (NH_3) sebesar 64%, 49,6%, dan 79,8% serta dapat menaikkan nilai pH air limbah tahu.

Berdasarkan penelitian Rahmawan (2022) *bioball* sebagai media biofilter anaerob mampu menurunkan kadar COD, TSS, dan turbiditas air limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH) sebesar 34,12%, 23,64%, dan 24,26%. Persentase penurunan COD, TSS dan turbiditas jika menggunakan *Microbubble Generator* sebesar 47,42%, 26,36%, dan 59,86%. Kombinasi keduanya menghasilkan efektifitas yang paling baik yaitu 70,46%, 69,09%, 83,16%. Perubahan nilai pH antara 7,9-8,3 pada masing-masing eksperimen. Studi awal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan secara anaerob dan *Microbubble Generator* memiliki potensi dalam mengatasi permasalahan air limbah.

Berdasarkan beberapa referensi yang berkaitan dengan biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*, penelitian dengan tema kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* belum pernah diterapkan untuk pengolahan air limbah industri tahu. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui kemampuan kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dalam mengolah air limbah industri tahu sehingga meningkatkan kualiatas air limbah industri tahu sebelum dibuang ke lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, air limbah industri tahu merupakan produk samping dengan jumlah tertinggi yang dihasilkan oleh industri tahu. Karakteristik air limbah industri tahu berpotensi mencemari lingkungan dikarenakan memiliki pH yang rendah dan serta memiliki nilai yang tinggi untuk parameter COD, BOD, TSS, dan NH_3. Akan tetapi kebanyakan industri tahu tidak melakukan upaya pengolahan terhadap air limbahnya sebelum dibuang ke lingkungan sehingga berpotensi mencemari lingkungan.

Pengolahan air limbah industri tahu harus dilakukan untuk memenuhi baku mutu air limbah bagi industri tahu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Salah satu teknik pengolahan air limbah industri tahu dapat dilakukan dengan menggunakan kombinasi biofilter anaerob dan teknologi *Microbubble Generator*. Biofilter anaerob memiliki kelebihan seperti, pengoperasian yang mudah, minim menghasilkan lumpur, tahan terhadap fluktuasi air limbah, dan fluktuasi konsentrasi polutan. Proses selanjutnya dengan *Microbubble Generator* untuk menyediakan oksigen bagi bakteri agar dekomposisi air limbah berlangsung optimal.

Berdasarkan uraian permasalahan yang telah disampaikan, maka beberapa pertanyaan dalam Tugas Akhir ini antara lain:

1. Bagaimana efektivitas biofilter anaerob serta kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dalam mengolah air limbah industri tahu?
2. Bagaimana pengaruh waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob serta kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dalam mengolah air limbah industri tahu?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui efektivitas biofilter anaerob serta kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dalam mengolah air limbah industri tahu.

2. Mengetahui pengaruh waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob serta kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dalam mengolah air limbah industri tahu.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat. Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Manfaat Teoritis

a. Menambah bahan kajian dan pembelajaran bagi penulis dan pembaca mengenai pengolahan air limbah, khususnya pengolahan air limbah industri tahu menggunakan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*.

b. Menjadi referensi bagi kalangan akademisi khususnya mahasiswa yang melakukan penelitian dan evaluasi untuk mengembangkan penelitian terkait topik yang sama.

c. Meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang pentingnya mengolah limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

2. Manfaat Praktis

a. Menjadi rujukan bagi para pelaku usaha industri tahu dalam memilih metode pengolahan air limbah industri tahu

b. Memberi solusi bagi para pelaku usaha industri tahu dalam pengolahan air limbah industri tahu khususnya untuk pengolahan yang menggunakan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator.*

c. Penelitian ini dapat menjadi masukan untuk pemerintah lokal dalam penentuan kebijakan serta pengambilan keputusan dalam hal-hal yang terkait dengan pengelolaan lingkungan, antara lain seperti menyusun peraturan daerah tentang air limbah, serta menetapkan standar baku mutu air limbah bagi industri tahu skala kecil dan menengah guna menjaga kualitas lingkungannya.

1.5 Batasan Penelitian

Penulisan proposal ini agar dapat terlaksana dengan baik dan fokus terhadap rumusan masalah dan tujuan penelitian maka penelitian ini perlu dibatasi. Batasan-batasan pada penelitian ini antara lain:

1. Penelitian berfokus pada uji efektivitas dan pengaruh waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dalam mengolah air limbah industri tahu untuk kemudian dibandingkan dengan baku mutu.
2. Penelitian tidak sampai mengkaji aspek *clogging* (penyumbatan).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Industri Tahu

Limbah merupakan sisa buangan dari suatu aktivitas pada bidang industri dan rumah tangga (domestik) yang berbentuk cair, gas, dan padat. Dapat dipahami bahwa limbah adalah suatu zat yang tersisa maupun benda lepas pakai yang telah tidak memungkinkan lagi untuk digunakan (Azteria dkk., 2021). Hal tersebut sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang mengatakan bahwa limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Limbah padat pada umumnya masih dapat diolah sedangkan air limbah sebagian besar langung dibuang tanpa pengolahan sehingga masuk ke aliran sungai atau mencemari air tanah dangkal (Harahap dkk., 2020).

Tahu merupakan salah satu makanan tradisional yang digemari oleh sebagian besar masyarakat (Pangestu dkk., 2021). Pembuatan tahu tidak memerlukan biaya yang besar dan menggunakan metode konvensional tetapi kandungan di dalamnya sangat baik bagi tubuh (Pradana dkk., 2018). Proses pembuatan tahu akan menghasilkan jumlah limbah paling tinggi berupa air limbah. Susu tahu menyisakan air limbah karena tidak mengalami penggumpalan membentuk tahu. Pada air limbah industri tahu ditemukan zat organik yaitu protein, karbohidrat, dan lemak (Putro dkk., 2021). Di dalamnya, terkandung pula padatan tersuspensi seperti serpihan tahu karena berbagai faktor yang menyebabkan proses pembuatan tahu tidak sempurna. Perubahan baik secara fisik maupun kimia dari padatan tersuspensi dan terlarut dapat membentuk senyawa yang mengontaminasi lingkungan (Mantong dkk., 2018).

Pabrik tahu berskala kecil atau rumah tangga memiliki biaya investasi yang terbatas sehingga sulit untuk menyediakan fasilitas pengolahan air limbah (Putro dkk., 2021; Shaskia & Yunita, 2021). Hal ini mengakibatkan air limbah dari proses produksi dibuang ke saluran drainase maupun badan air dengan tidak melalui proses

pengolahan yang semestinya. Kondisi ini menyebabkan kandungan oksigen pada badan air penerima berkurang drastis. Selain itu, bahan tersuspensi dari air limbah tahu membuat air terlihat kotor dan keruh (Pradana dkk., 2018).

Sekitar 20 juta m^3 air limbah tahu telah terbuang setiap tahunnya. Diketahui untuk memproses satu kilogram kedelai akan menghasilkan air limbah sebesar 43,5 liter (Kholif dkk., 2021). Air limbah tahu mengandung Total Suspended Solid (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan zat-zat organik yang tinggi, senyawa-senyawa organik tersebut adalah protein sebesar 40-60%, karbohidrat sebesar 25-50%, lemak berkisar 8-10%, dan selebihnya berupa vitamin, besi, kalsium, dan fosfor (Taha dan Mamuju, 2022).

Menurut Surachman & Kartohardjono (2020), air limbah tahu yang belum diolah memiliki kadar COD 5.600-7.230 mg/l, BOD 4.655 mg/l, TSS 380-420 mg/l, dan pH 3.8-4.0. Jika dibandingkan dengan baku mutu, konsentrasi parameter air limbah tahu telah melebihi baku mutu yang ditetapkan. Baku mutu air limbah bagi industri tahu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Pengolahan Kedelai dari Industri Tahu

Parameter	**Pengolahan Kedelai**	
	Tahu	
	Kadar (mg/l)	**Beban (kg/ton)**
BOD	150	3
COD	300	6
TSS	200	4
pH	6-9	

(Sumber: Permen LH No.5 Tahun 2014 Lampiran XVIII)

2.1.1 Karakteristik Air Limbah Industri Tahu

Menurut Yuliyani dan Widayatno (2020), air limbah industri tahu memiliki beberapa karakteristik penting, karakterisitik tersebut antara lain sebagai berikut:

1. *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah jumlah oksigen yang senyawa organik pada air limbah butuhkan untuk dapat mengalami oksidasi melalui

reaksi kimiawi (Salamah dan Rahmanto, 2021). Nilai COD menjadi ukuran pencemaran air karena senyawa organik yang secara alamiah bisa dioksidasi dengan proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya jumlah oksigen terlarut dalam air (Putro dkk., 2021) .

2. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan nilai oksigen terlarut yang mikroorganisme butuhkan agar dapat menguraikan bahan organik di perairan. Bahan tersebut misalnya dari karbohidrat (selulosa, pati, gula), minyak, protein, hidrokarbon, serta bahan lain masuk ke prairan secara alami dan dari pencemar (Putro dkk., 2021). Nilai BOD menandakan kebutuhan oksigen dari bakteri agar dapat mendekomposisi seluruh bahan organik yang terlarut, sehingga jika konsentrasi BOD tinggi berakibat pada jumlah oksigen terlarut yang tersedia di badan air akan berkurang, menimbulkan bau busuk dan kematian biota air (Saumi dan Purnomo, 2018).
3. *Total Suspended Solid* (TSS) adalah padatan berupa partikel dengan ukuran dan massa lebih kecil dibandingkan sedimen, bahan organik tertentu, dan sel-sel mikroorganisme sehingga meningkatkan kekeruhan pada air karena karakteristiknya yang tidak terlarut dan tidak dapat mengendap langsung (Salamah dan Rahmanto, 2021). Limbah industri mengandung padatan tersuspensi yang tinggi. Adanya padatan tersuspensi pada perairan mengakibatkan penurunan estetika, selain itu padatan tersuspensi menjadi tempat tumbuhnya mikroorganisme penyebab penyakit (Putro dkk., 2021).
4. Kadar pH menentukan limbah bersifat asam atau basa. Untuk memenuhi kebutuhan hidup, air harus memiliki pH sekitar 6,5 - 7,5. Jika pH < 6,5 maka air tersebut bersifat asam, sedangkan air yang memiliki pH > 7,5 adalah basa. Air limbah industri tahu cenderung bersifat asam karena adanya penambahan asam cuka dalam proses penggumpalan tahu (Sitasari dan Khoironi, 2021). Air limbah industri tahu akan membuat pH air berubah sehingga mengganggu kelangsungan biota perairan yang peka terhadap berubahnya pH (Putro dkk., 2021).

5. *Dissolved Oxygen* (DO) adalah parameter penting karena digunakan dalam penguraian atau oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik yang berlangsung pada proses secara aerob di dalam air. Oksigen yang terdapat di perairan bersumber dari udara melalui proses difusi dan aktivitas biokimia organisme pada perairan (Putro dkk., 2021).
6. Amonia *(NH_3)* merupakan hasil dekomposisi dari nitrogen organik seperti protein dan asam amino yang terdapat di air limbah tahu. Kandungan amonia dalam air limbah tahu menyebabkan timbulnya bau menyengat yang bisa dirasakan indera penciuman pada konsentrasi 0,037 mg/l (Pagoray dkk., 2021)

Seperti yang telah diuraikan diatas, karakteristik air limbah industri tahu memiliki pengaruh buruk bagi lingkungan jika dibuang tanpa melalui pengolahan. Penelitian terkait air limbah tahu telah dilakukan oleh peneliti lainnya dengan metode pengolahan yang berbeda untuk menurunkan konsentrasi polutan air limbah industri tahu. Karakteristik air limbah tahu sebelum dilakukannya pengolahan menurut beberapa penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Air limbah Tahu di Indonesia

Parameter	**Unit**	**Baku Mutu**	**Karakteristik Air limbah Tahu**
pH	-	6-9	2,65-6,4
COD	mg/l	300	752-39961
BOD	mg/l	150	250-18124
TSS	mg/l	200	64-2210
NH_3	mg/l	-	7,5 - 43,8

(Sumber : Faisal dkk., 2014; Astuti dan Ayu, 2019; Rahadi dkk., 2018; Mujiharjo dan Sari, 2019; Irawan dkk., 2020; Surachman dan Kartohardjono, 2020; Fathia dan Kartohardjono, 2020; Pambudi dkk., 2021; DLHK3 Kota Banda Aceh., 2021; Trihidayanti dkk., 2021; Sirait dkk., 2023).

Karakteristik air limbah tidak konsisten pada nilai tertentu pada setiap penelitian yang memperlihatkan bahwa beban polutan yang terdapat di dalam air limbah industri tahu dapat berbeda pula (Rusdiana dkk., 2020).

2.1.2 Dampak Pencemaran Air Limbah Industri Tahu

Proses produksi industri tahu mengeluarkan produk samping (limbah) baik dalam bentuk padat maupun cair. Limbah padat yang terbentuk selama proses pembuatan tahu berlangsung merupakan sisa dari proses penyaringan dan penggumpalan. Sementara air limbahnya merupakan air yang terbuang karena proses pencucian, perebusan, pencetakan atau pengepresan tahu (Aurora dkk., 2021). Penanggulangan limbah padat dari industri tahu lebih mudah dibandingkan air limbahnya. Hal ini dikarenakan pada umumnya limbah padat industri tahu masih bisa dimanfaatkan untuk keperluan lain misalnya menjadi bahan baku gembus, oncom, dan pakan bagi ternak. Sementara air limbah industri tahu hingga sekarang masih menjadi masalah bagi berbagai pihak termasuk pemerintah setempat (Putro dkk., 2021)

Kebanyakan industri tahu belum mengupayakan sistem pengolahan untuk air limbah yang dihasilkan selama proses produksi pembuatan tahu. Efek negatif yang dapat timbul dari abainya pelaku industri tahu adalah pencemaran badan air seperti sungai. Akibat sanitasi yang buruk dapat menurunkan kualitas lingkungan sehingga menyebabkan gangguan bagi kesehatan seperti penyakit kulit, disentri, kolera, bahkan peradangan usus (Ibrahim dkk., 2020)

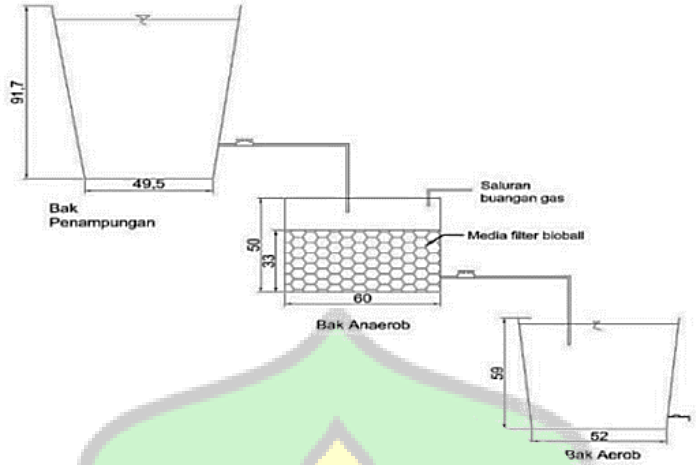
Senyawa-senyawa yang terkandung di dalam air limbah industri tahu diantaranya adalah karbohidrat, protein, dan lemak. Senyawa tersebut memiliki konsentrasi yang cukup tinggi terutama protein. Protein akan mengalami penguraian dengan bantuan mikroba yang menggunakan oksigen terlarut pada perairan. Dikarenakan dalam proses penguraian membutuhkan oksigen maka kadar oksigen terlarut di perairan akan berkurang, yang mana hal ini menyebabkan berubahnya kondisi perairan menjadi anaerobik. Kondisi ini menyebabkan terjadinya peningkatan kadar asam pada perairan karena dihasilkannya NH_3 (amonia) sebagai hasil dari dekomposisi sehingga akumulasi NH_3 pada perairan menjadi tinggi. Selain itu, konsentrasi amonia juga meningkat karena dekomposisi

mikroorganisme yang mati dan tidak mampu untuk meregenerasi mikroorganisme baru. Hal ini berdampak pada estetika perairan, dimana perairan menjadi rusak yang terlihat dari peningkatan kekeruhan, timbulnya bau, serta terganggunya keseimbangan ekologi (Simanjuntak dkk., 2021; Suryawan dkk., 2021).

Selain dari proses dekomposisi, penurunan pH pada sistem perairan juga disebabkan oleh air limbah tahu muncul akibat dari proses tahap pemadatan tahu. Dengan kondisi badan air yang telah tercemar, penetrasi cahaya matahari untuk masuk ke badan air menjadi terhambat dan memicu terganggunya aktivitas fotosintesis tumbuhan air sehingga kadar oksigen terlarut menurun drastis karena tidak ada suplai oksigen pada perairan itu sendiri (Sitasari dan Khoironi, 2021).

2.2 Pengolahan Air Limbah Industri Tahu

Pengolahan air limbah merupakan upaya untuk menurunkan atau menstabilkan senyawa-senyawa yang dianggap sebagai polutan sehingga saat dilepaskan ke lingkungan karakteristiknya tidak lagi berbahaya baik bagi lingkungan dan kesehatan. Pengolahan air limbah memiliki tujuan utama untuk menekan konsentrasi bahan pencemar khususnya senyawa organik, padatan tersuspensi, dan mikroba patogen yang masuk ke lingkungan. Lebih lanjut, pengolahan air limbah dilakukan agar dampak buruknya bagi lingkungan dan manusia dapat dikurangi serta untuk meningkatkan kualitas lingkungan hidup dengan adanya pengolahan, dan atau pemanfaatan air limbah untuk kepentingan atau peruntukan lainnya (Marhayuni & Faizi, 2022). Pengolahan air industri tahu dapat dilakukan dengan proses biologis sistem anaerob, aerob dan kombinasi anaerob-aerob (Pambudi dkk., 2021).



Gambar 2.1 Proses Pengolahan dengan Kombinasi Anaerob dan Aerob

(Sumber : Rahmawan, 2022)

2.2.1 Bak Pengendapan

Bak sedimentasi (pengendapan) merupakan proses pengolahan limbah tahap awal yang bertujuan untuk menurunkan TSS (padatan tersuspensi). Dengan adanya pengolahan tahap awal maka akan meringankan beban pengolahan tahap selanjutnya. Air limbah didiamkan pada bak pengendapan sebelum memasuki proses pengolahan dengan biofilter anaerob untuk meringankan beban pengolahan biofilter (Taha & Mamuju, 2022).

2.2.2 Biofilter Anaerob

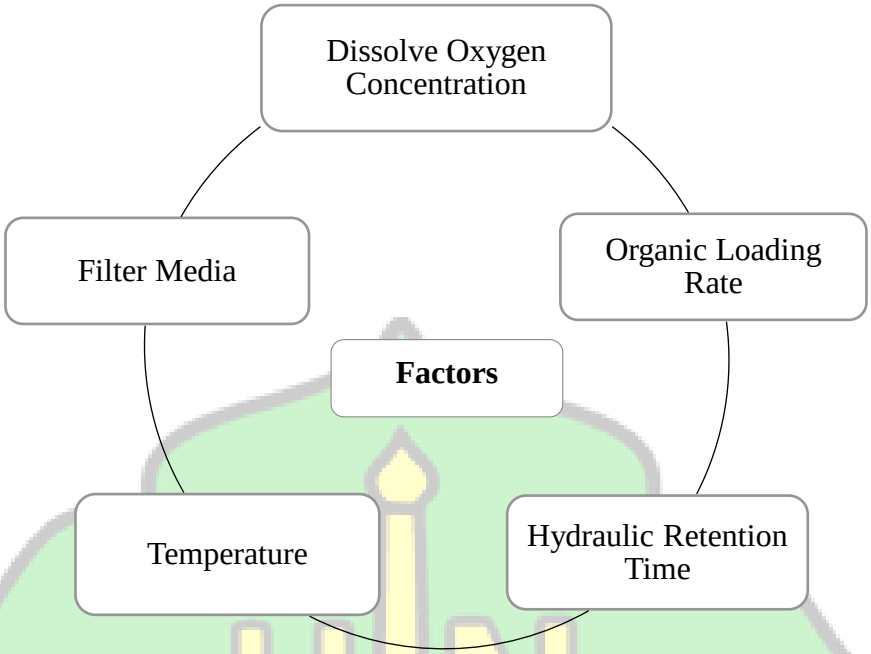
Dalam filter biologis, mikroorganisme tumbuh dan berkembang di media. Media terbuat dari plastik, kerikil, dan dapat terendam seluruhnya atau sebagian selama pengolahan, atau hanya membiarkan air melewatinya (tidak terendam seluruhnya), dan membentuk lapisan lendir. Pelekatan terjadi pada permukaan media kultur dan pembentukan biofilm terjadi pada media. Air limbah dengan proses pengolahan filter biologis dapat terjadi dalam kondisi anaerob, aerob atau kombinasi antara anaerob dan aerob. Proses aerob berlangsung di dalam reaktor dengan keberadaan oksigen. Kombinasi proses anaerobik dan aerobik dilakukan dengan proses anaerob diikuti aerob. Air limbah dengan kandungan organik tinggi menghasilkan gas metana dalam pengolahan biofilter anaerob (Hadiwidodo dkk., 2012).

Pengolahan secara anaerob merupakan sistem pengolahan yang berlangsung di lingkungan bebas oksigen. Variasi pada pengolahan anaerob tidak sebanyak proses aerob. Proses anaerob dianggap efektif dalam mengolah air limbah yang pekat sehingga biasanya menjadi tahapan awal dalam pengurangan bahan-bahan organik (Timpua dan Pianaung, 2019). Proses anaerob memanfaatkan mikrorganisme aktif dalam kondisi tanpa oksigen, yang mana proses tersebut menunjukkan fermentasi metana. Akibat fermentasi metana oleh mikroba anaerob, bahan organik kompleks seperti karbohidrat, lemak, dan protein akan terurai menjadi metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Pengolahan anaerob diterapkan untuk pengolahan air limbah dan lumpur dengan konsentrasi tinggi. Sering ditemukan pengolahan anaerobik dikombinasikan dengan pengolahan aerob (Ojha dkk., 2021 ; Timpua dan Pianaung, 2019).

Kelebihan dari pengolahan limbah dengan biofilter anaerob adalah potensi untuk mengolah limbah dengan beban organik yang tinggi, ketahanan terhadap fluktuasi debit limbah, pemeliharaan dan pengoperasian yang mudah dan hemat energi, kapasitas penyisihan COD dan padatan yang tinggi. Selain itu biofilter anaerob memiliki biaya operasi dan pemeliharaan yang lebih rendah, membutuhkan lebih sedikit energi, menghasilkan lebih sedikit lumpur dari proses pengolahan dan dapat digunakan sebagai energi terbarukan. Kelemahannya adalah kemungkinan terjadinya penyumbatan, sehingga diperlukan ketelitian dalam desain, reduksi nutrien dan patogen relatif rendah, memerlukan waktu start-up agar terbentuknya lapisan biofilm juga untuk mengurangi efek dari amoniak dan sulfida (Sirajuddin dan Saleh, 2020).

2.2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Biofilter Anaerob

Biofiltrasi adalah proses pengolahan biologis yang melibatkan serangkaian mekanisme untuk menyisihkan polutan tertentu dalam pengoperasiannya. Kinerja biofiltrasi sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti konsentrasi oksigen terlarut, *Organic Loading Rate* (OLR) , *Hydraulic Retention Time* (HRT), suhu, dan media filter (Loh dkk., 2021).



Gambar 2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Biofilter Anaerob *(Sumber: Loh dkk., 2021)*

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam pengembangan biofilter yang efisien antara lain:

1. Konsentrasi DO, jumlah oksigen terlarut sangat mempengaruhi pertumbuhan komunitas mikroba dalam biofilm dan efisiensi proses biologis secara keseluruhan (Loh dkk., 2021). Hal ini dikarenakan proses denitrifikasi pada biofilter dilakukan oleh denitrifikasi heterotrof, dimana sumber karbon organik yang tinggi dan konsentrasi oksigen yang rendah mendukung pertumbuhan bakteri ini (Bhattacharya dan Mazumder, 2021).
2. *Hydraulic Retention Time* (HRT), faktor ini juga merupakan salah satu faktor penting dalam mempertahankan kinerja biofilter jangka panjang. HRT mempengaruhi proses anaerobik, yang mengindikasikan tersedianya waktu untuk bahan organik terdegradasi (Loh dkk., 2021).
3. *Organic Loading Rate* (OLR), peningkatan OLR dapat meningkatkan pertumbuhan biofilm dan daya ikat air. Akibat beban organik yang sangat tinggi yang membatasi pergerakan substrat ke bagian dalam biofilm karena terbentuknya biofilm yang padat, struktur komunitas mikroba di dalam

biofilm terganggu. Selain itu, bahan organik terlarut tinggi cenderung bersaing untuk penyerapan dengan bakteri dalam biofilm, sehingga mengurangi jumlah adsorpsi biofilm yang tersedia (Loh dkk., 2021).

4. Suhu, suhu yang rendah menyebabkan periode aklimatisasi yang lebih lama untuk biofilter, sehingga diperlukan waktu kontak tambahan untuk senyawa yang kurang dapat terurai secara alami untuk memenuhi target pengolahan limbah (Loh dkk., 2021).
5. Pemilihan media filter, biofilter dengan dual media atau multi-media biasanya sistem yang efisien untuk pengolahan secara kombinasi, jenis bahan yang digunakan sangat berpengaruh dalam menurunkan parameter air limbah (Rahmadyanti, 2020).

2.2.4 Pemilihan Media Biofilter Anaerob

Terdapat beberapa media yang digunakan dalam proses biofilter. Media ini media tersebut seperti kerikil, pasir, arang, tempurung kelapa, batu apung, karang dan lainnya. Pemilihan media filter dapat digunakan untuk menentukan kinerja biofilter dengan pertimbangan luas area kontak dengan air limbah dan porosistas yang tinggi. Apabila suatu media memiliki luas permukaan spesisfik yang tinggi maka semakin banyak mikroorganisme yang dapat melekat (Sirajuddin dan Saleh, 2020).

Media kerikil dapat digunakan sebagai penyaring material-material kasar yang terdapat pada air limbah. Sifatnya yang inert tidak mudah berekasi dengan zat yang reaktif, kemampuan kerikil dari segi mekanikal tergolong baik, dan sifat kebasahan dari kerikil mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Namun media kerikil memeiliki kelemahan karena fraksi rongganya rendah sehingga penyumbatan rentan terjadi dalam proses pengolahan. Sehingga digunakan kerikil dengan ukuran besar untuk memperbesar celah bebas. Tetapi luas permukaan kerikil menjadi kecil (Loh dkk., 2021).

Untuk mengatasi kelemahan kerikil sebagai media biofilter maka digunakan media lain yang memeiliki luas permukaan besar sehingga memungkinkan area kontak yang tinggi dengan air limbah tanpa merubah ukuran volume media. Alternatif media yang bisa dipilih seperti media filter bioball. Beberapa kelebihan

yang didapatkan seperti memiliki luas permukaan terbilang besar dan pemasangan lebih mudah sehingga sangat sesuai diaplikasikan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berskala kecil. Disamping itu, media filter bioball memiliki bobot yang ringan, pencucian ulang mudah, dan luas permukaan spesifik terbesar dibanding dengan jenis media lain yaitu antara 200-240 m^2/m^3. Filter media bioball memiliki desain spherical, sehingga mudah untuk mengisi ruang filtrasi secara optimal meskipun penempatannya acak, bobotnya rendah, memiliki fraksi rongga yang baik, menghilangkan masalah yang berkaitan dengan penyumbatan. dan tahan lama untuk digunakan (Herlina dkk., 2019).

Gambar 2.3 Media Filter *Bioball*

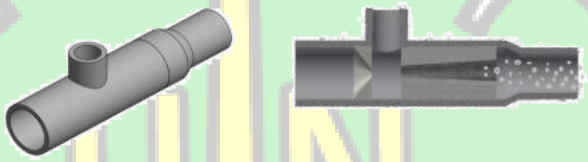
(Sumber : dokumentasi pribadi)

2.2.5 Bak Aerob

Proses degradasi dalam bak aerob dilakukan dalam kondisi lingkungan yang kaya oksigen. Proses pada bak aerob meningkatkan kadar oksigen setelah proses biofilter anaerob yang kekurangan oksigen. Semakin lama durasi proses aerasi maka semakin banyak oksigen terlarut dalam air limbah (Baihaqi dkk., 2022). Air limbah industri tahu mengandung bahan-bahan organik, parameter limbah seperti nilai BOD yang tinggi menandakan banyaknya senyawa organik yang ada, maka dibutuhkan oksigen dalam jumlah yang tinggi oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik. Bakteri aerob bekerja untuk mencerna air limbah, selama proses aerasi dilakukan pemberian oksigen secara terus menerus agar proses oksidasi biologi oleh mikroba dapat berjalan dengan baik (Aurora dkk., 2021).

2.2.6 *Microbubble Generator*

Pengolahan air limbah secara aerob didefinisikan sebagai pengolahan air limbah menggunakan mikroorganisme aerob untuk mendekomposisi bahan organik yang terdapat dalam limbah, dimana pada kondisi ini aerasi memiliki peran penting dengan memasok oksigen untuk mikroorganisme. Laju suplai oksigen untuk mikroorganisme harus cepat karena keterbatasan pada konsumsi energi yang membutuhkan jumlah besar untuk suplai oksigen. Oleh karena itu, *Microbubble Generator* memberikan suplai oksigen yang sangat efisisen sehingga kondusif untuk menghemat energi dan mengurangi biaya (Nair dkk., 2022).



Gambar 2.4 *Microbubble Generator*

(Sumber: Rofik dkk., 2020)

Microbubble Generator merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menghasilkan gelembung udara di dalam air dengan ukuran diameter gelembung 200 µm. Gelembung berukuran mikro yang dilepaskan bermanfaat bagi mikroorganisme dan bakteri untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Dengan tersedianya oksigen maka bakteri aerob akan terus berkembang dan melakukan penguraian terhadap air limbah sehingga air limbah berubah lebih jernih. Kelebihan dari *Microbubble Generator* adalah gelembung yang dihasilkan berukuran lebih kecil dibanding dengan ukuran dari aerator biasa sehingga memperlambat kecepatan naik gelembung. Karakteristik ini membuat durasi gelembung untuk dapat tinggal dalam air limbah akan lebih lama sehingga memungkinkan proses transfer massa lebih cepat.oleh karena itu, *Microbubble Generator* dapat menjadi metode potensial untuk meningkatkan perpindahan massa dan meningkatkan efisiensi proses pengolahan air limbah (Afisna dan Juwana, 2020).

2.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan merupakan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lain. Penelitian terdahulu dapat dijadikan acuan dan sebagai pembanding antara penelitian yang dilakukan dan penelitian yang pada bidang yang sama lainnya. Penelitian terdahulu terkait pengolahan air limbah industri tahu menggunakan biofilter anaerob telah dilakukan dengan berbagai variasi perlakuan dalam pengujiannya. Sedangkan pengolahan limbah tahu dengan kombinasi biofilter anaerob dan teknologi *Microbubble Generator* belum banyak diteliti. Adapun beberapa penelitian sejenis yang pernah dilakukan diantaranya, Abdel-shafy dkk (2019), Surachman dan Kartohardjono (2020), Budhijanto dkk (2020), Kholif dkk (2021), Zunidra dan Sondang (2022), dan Rahmawan (2022).

Penelitian Abdel-shafy dkk (2019) mengangkat tema tentang pengolahan air limbah greywater dengan mengintegrasikan proses anaerob-aerob menggunakan metode UASB dan aerasi. Pada penelitian ini air limbah grey water akan diolah terlebih dahulu di UASB selama 6 jam kemudian dilanjutkan ke bak aerasi. Pada bak aerasi waktu tinggal divariasikan selama 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit dan dilakukan penambahan EM4. Diperoleh hasil removal 92.6%, 98.4%, 98.3%, 99.2%, 90.5%, 95.3%, dan 94.0% untuk TSS, COD, BOD, minyak dan lemak, TP,ammonia dan Total Nitrogen .

Penelitian Surachman dan Kartohardjono (2020) mengolah air limbah industri tahu dengan kombinasi koagulasi-flokulasi dan proses membran dari ultrafiltrasi dan reverse osmosis (RO). Metode ini dapat menurunkan TSS, turbiditas, TDS, COD, dan BOD dari 420 mg/l, 530 FAU, 880 mg/l, 7230 mg/l, dan 4655 mg/l menjadi 0 mg/l, 0 FAU, 3 mg/l, 9,8 mg/l, dan 16 mg/l dengan dosis dosis koagulan 300 ppm. Kombinasi koagulasi-flokulasi dan proses membran memiliki efektivitas yang tinggi tetapi proses membran memiliki kelemahan rentannya terjadi penyumbatan, pemasangan instalasi yang rumit, berukuran besar, dan biaya investasi mahal.

Penelitian Budhijanto dkk (2020) membahas tentang pengolahan air lindi secara anaerob yang diikuti proses aerob. Pengolahan secara anaerob dilakukan dengan metode AFBR dan proses aerob menggunakan teknologi Microbubble

Aerator. Waktu tinggal (HRT) yang diberikan selama 24 jam baik pada proses pengolahan dengan AFBR maupun dengan *Microbubble Generator*. Diperoleh efisiensi pengolahan dengan AFBR sebesar 30% dalam penyisihan kandungan senyawa organik sedangkan dengan kombinasi keduanya diperoleh efektivitas 60%.

Penelitian Kholif dkk (2021) mengangkat topik tentang kinerja biofilter anaerob untuk menurunkan kadar pencemar organik pada air limbah industri tahu. Pada penelitian ini terdapat dua reaktor biofilter anaerob yang digunakan dengan perbedaan pada media filter. Reaktor I diisi dengan media kerikil dan reaktor II dengan media bioball. Masing-masing reaktor mengolah air limbah industri dengan waktu tinggal (HRT) 24 jam dan waktu pengamatan selama lima hari. Biofilter anaerob dengan media kerikil memiliki efisiensi removal BOD dan COD sebesar 58,02% dan COD 63% hari sampling kelima sedangkan dengan media bioball BOD 63 % dan COD 70,45% pada hari sampling kedua.

Penelitian Zunidra dan Sondang (2022) membahas tentang kinerja biofilter anaerob dan aerob dalam menurunkan kadar pencemar dalam air limbah industri tahu. Media filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah bioball. Waktu seeding untuk penumbuhan biofilm dilakukan selama 14 hari sedangkan waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan aerob pada eksperimen yaitu selama sembilan hari. Hasil penelitian menunjukkan efisisensi penyisihan COD 49,6%, BOD 64,4%, amonia 79,8% serta menaikkan kadar pH antara 6-8.

Penelitian Rahmawan (2022) membahas tentang efektivitas bioball sebagai media filter, *Microbubble Generator*, dan kombinasi keduanya dalam mengolah air limbah rumah pemotongan hewan (RPH). Sebagai tahap awal, air limbah RPH diendapkan dalam bak pengendapan selama 1,5 jam. Waktu tinggal (HRT) pada bak *Microbubble Generator* yaitu 6 jam, bak filter bioball selama 24 jam. Dari penelitian ini, efektivitas paling baik diperoleh saat kedua metode dikombinasikan yaitu COD 70,46%, TSS 69,09%, dan turbiditas 83,16%.

.

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

Hal	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Penelitian 4	Penelitian 5	Penelitian 6	Penelitian ini
Judul	*Anaerobic /aerobic integration via UASB/enhanced aeration for greywater*	*Application of combination of coagulation-flocculation and membrane separation processes for tofu industrial wastewater treatment*	Evaluasi Rangkaian Anaerobic Fluidized Bed Reactor (AFBR) dan *Microbubble Generator* (MBG) untuk Pengolahan Air Lindi Sampah	Penggunaan Biofilter Anaerob Untuk Menurunkan Kadar Pencemar Organik Pada Air limbah Industri Tahu	*Treatment of tofu liquid waste using anaerobic-aerobic biofilm aeration system to reduce pollution*	Pengolahan Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan (RPH) Menggunakan Kombinasi Teknologi *Microbubble Generator* dan Filter *Bioball*	Pengolahan Air limbah Industri Tahu Menggunakan Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob Dan *Microbubble Generator*
Tahun	2019	2020	2020	2021	2022	2022	2023
Nama Peneliti	Hussein I. Abdel-Shafya,	Rachman Surachman	Wiratni Budhijanto, Sholahuddin	Muhammad Al Kholif, Frisvi Alfiah,	Zunidra, Sondang, dan Supriatna	Iman Rahmawan	Tiara Sekar M

Hal	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Penelitian 4	Penelitian 5	Penelitian 6	Penelitian ini
	Mona S dan M. Mansourb	dan Sutrasno Kartohardjono	dan Khalid Abdul Latif	Sugito, Pungut, dan Joko Sutrisno			
Limbah yang diolah	Air limbah *greywater*	Air limbah industri tahu	Air lindi sampah	Air limbah industri tahu	Air limbah industri tahu	Air limbah RPH	Air limbah industri tahu
Metode pengolahan yang digunakan	UASB dan aerasi	Kombinsi koagulasi-flokulasi dan proses membran (ultrafiltrasi dan *reverse* osmosis)	*Anaerobic Fluidized Bed Reactor* (AFBR) dengan media zeolit dan Micro Bubble Generator (MBG)	Biofilter Anaerob dengan media kerikil dan *bioball*	Biofilter anaerob dan aerob dengan media *bioball*	*Microbubble Generator*, biofilter anaerob, dan kombinasi keduanya	Biofilter anaerob dan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*
Waktu tinggal (HRT)	UASB 6 jam dan variasi waktu aerasi 15	Koagulasi 2 menit kecepatan 120	24 jam	24 jam	9 hari	Bak pengendapan 1,5 jam,	Bak pengendapan 1,5 jam,

Hal	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Penelitian 4	Penelitian 5	Penelitian 6	Penelitian ini
	menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit	rpm dan flokulasi 10 menit kecepatan 40 rpm.				*Microbubble Generator* 6 jam, dan biofilter anaerob 24 jam.	Variasi waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan variasi waktu tinggal (HRT) bak *Microbubble Generator* 60 menit, 120 menit, dan 180 menit
Hasil	Efisiensi *removal* untuk TSS, COD,	Efisiensi removal TSS, turbiditas,	Efisiensi pengolahan dengan AFBR	Efisiensi *removal* BOD dan COD	Efisisensi penyisihan COD 49,6%,	Efisiensi penyisihan kombinasi	

Hal	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Penelitian 4	Penelitian 5	Penelitian 6	Penelitian ini
	BOD, minyak dan lemak, TP,ammonia dan *Total Nitrogen* adalah 92.6%, 98.4%, 98.3%, 99.2%, 90.5%, 95.3%, dan 94.0%	TDS, COD, dan BOD menjadi 0 mg/l, 0 FAU, 3 mg/l, 9,8 mg/l, dan 16 mg/l.	sebesar 30% untuk kadar organik, kombinasi MBG diperoleh efektivitas 60%	58,02% dan COD 63% hari sampling kelima (media kerikil) dan 63 % dan 70,45% pada hari sampling kedua (media *bioball*)	BOD 64,4%, amonia 79,8% serta menaikkan kadar pH antara 6-8.	biofilter dan *Microbubble Generator* COD 70,46%, TSS 69,09%, dan kekeruhan 83,16% serta merubah nilai pH dari 7,9 menjadi 8,3.	

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan selama pada bulan Maret 2023 sampai Oktober 2023. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh untuk uji parameter pH, TSS, dan DO. Pengujian parameter COD, BOD, dan NH_3 dilakukan di Laboratorium Kesehatan Daerah Dinas Kesehatan, Provinsi Aceh. Waktu pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.1.

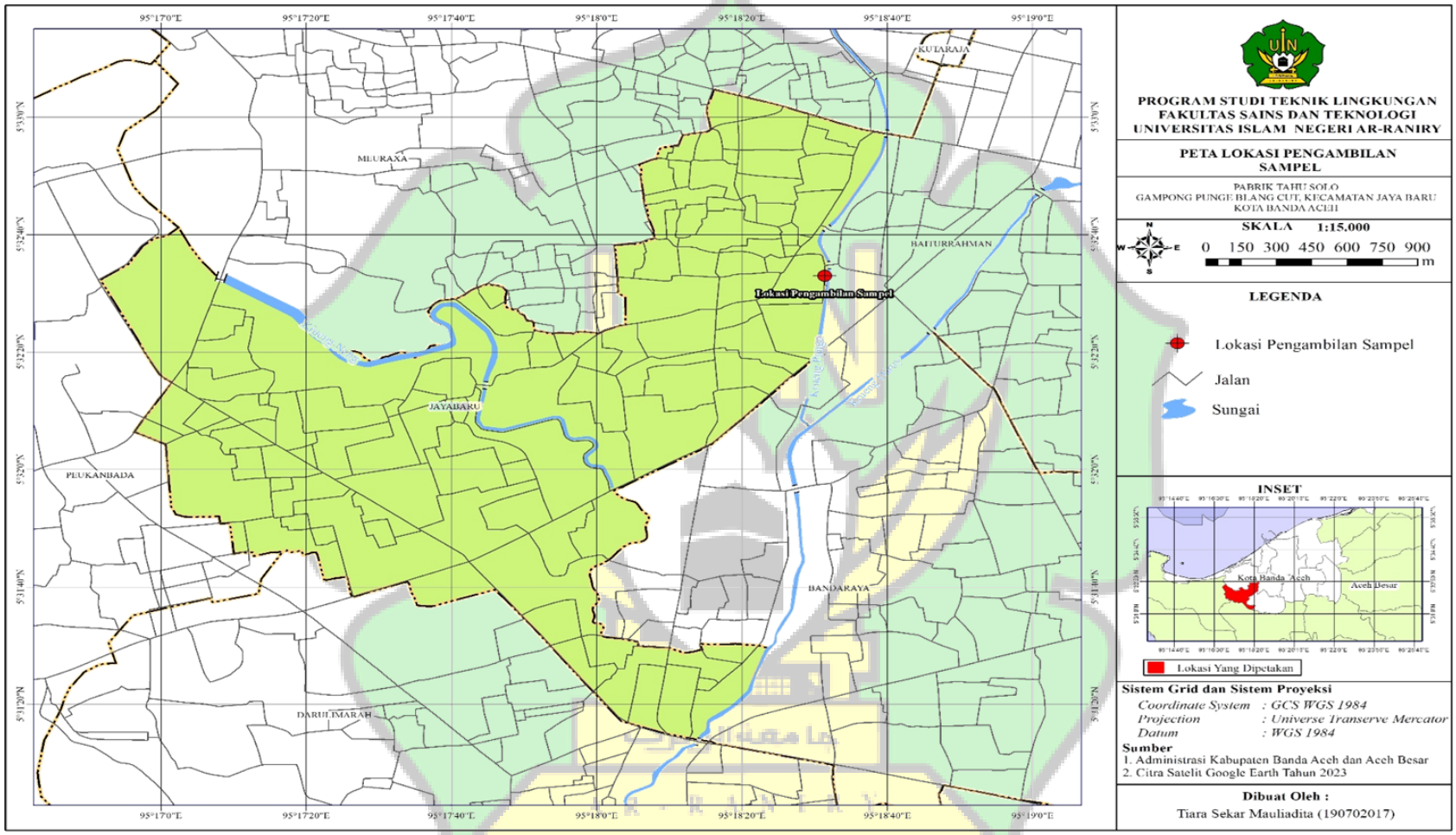
Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan Penelitian (tentatif)

Kegiatan	Waktu Pelaksanaan Penelitian																													
	Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus				September				oktober			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul																																
Penyusunan Proposal																																
Revisi Proposal																																
ACC Proposal																																
Seminar Proposal																																
Revisi Proposal																																
Penelitian																																
Analisis Data																																
Penyusunan Tugas Akhir																																
Bimbingan Dan Perbaikan																																
Sidang																																

3.2 Pengambilan Sampel

3.2.1 Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air limbah industri tahu berlokasi di Pabrik Tahu Solo, Punge Blang Cut, Kecamatan Jaya Baru, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh. Berdasarkan observasi lapangan, Pabrik Tahu Solo Punge Blang Cut tidak memiliki IPAL sehingga air limbah industri tahu langsung dibuang menuju badan air melalui saluran drainase tanpa dilakukannya proses pengolahan terlebih dahulu. Lokasi pengambilan sampel air limbah industri tahu ditunjukkan pada Gambar 3.1, sedangkan kondisi pabrik industri tahu solo dan tempat penampungan air limbah industri tahu pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3



Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Gambar 3.2 Pabrik Tahu Solo, Banda Aceh

Gambar 3.3 Tempat Penampungan Air Limbah Pabrik Tahu Solo, Banda Aceh

3.2.2 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air limbah industri tahu menggunakan teknik *grab sampling* atau pengambilan sampel sesaat. Sampel diambil langsung dari saluran air limbah di Pabrik Tahu Solo Punge Blang Cut, Kecamatan Jaya Baru, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh. Sampel diambil menggunakan gayung bertangkai dan dimasukkan ke dalam dua jerigen berukuran 35 liter dengan ketentuan sesuai SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur, pipet ukur, pipet tetes, pH meter, COD Meter, tabung reaksi, vakum filtrasi, oven, timbangan analitik, pompa air, aerator, gergaji, bor listrik, dan lain-lain.

3.3.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 3.2.

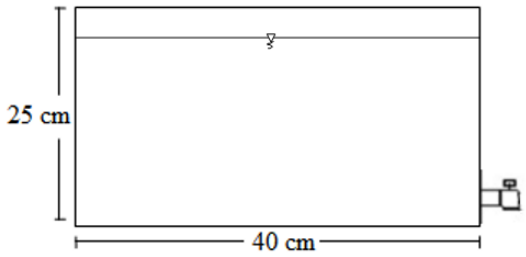
Tabel 3.2 Bahan Penelitian

Bahan	Spesifikasi	Satuan	Kegunaan
Air limbah industri tahu	-	35 liter	Sampel
bioball	Diameter 3 cm	2 kg	Media biofilter anaerob
Kerikil	Diameter 6-12 mm	2 kg	Media biofilter anaerob
Fitting pipa PVC	¾ inch drat dalam	1 buah	Rumah nozzle
Fitting pipa PVC	¾ inch x ½ inch drat luar	1 buah	Rangka *Microbubble Generator*
Selang	5 mm	1 buah	Saluran udara
Aksesoris pipa (L)	1 inch	1	Sambungan pipa
Pipa pvc	½ inch	1 buah	Sambungan saluran air

3.4 Desain Reaktor

3.4.1 Bak Pengendapan

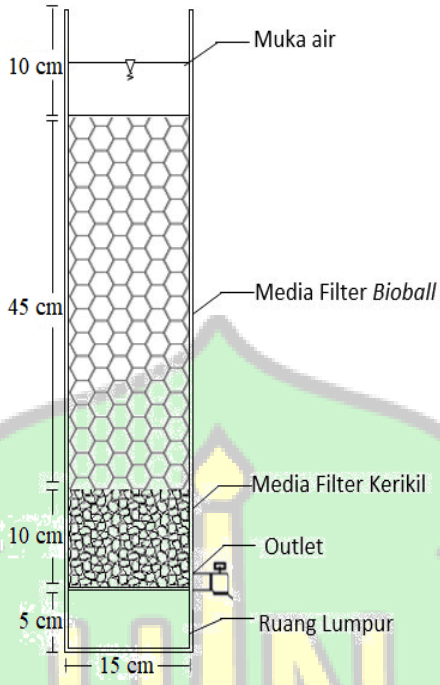
Bak pengendapan yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan plastik dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 25 cm. Bak ini dapat menampung 20 liter air limbah industri tahu sebelum diolah dengan biofilter anaerob. Bak dilengkapi dengan kran yang berjarak 2 cm dari dasar bak. Desain bak pengendapan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Bak Pengendapan

3.4.2 Reaktor Biofilter Anaerob

Reaktor biofilter anaerob yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan kaca dengan ketebalan 6 mm, panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 70 cm. Volume pengolahan reaktor sebesar 5 liter. Pemasangan kran sebagai outlet berjarak 5 cm dari dasar reaktor. Desain reaktor biofilter anaerob merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh (Kholif dkk., 2021) tetapi dalam volume yang berbeda sehingga perlu modifikasi dari ukuran aslinya. Untuk media biofilter anaerob tersusun dari bawah ke atas yaitu kerikil berdiameter 6-12 mm setinggi 10 cm dan *bioball* dengan diameter 3 cm setinggi 45 cm, pada bagian atas media diberikan ruang kosong 10 cm dimana ketinggian air tetap dijaga 5 cm diatas media filter (Utomo dan Pramadita, 2018; Kholif dkk., 2021). Desain reaktor biofilter ditunjukkan pada Gambar 3.5.



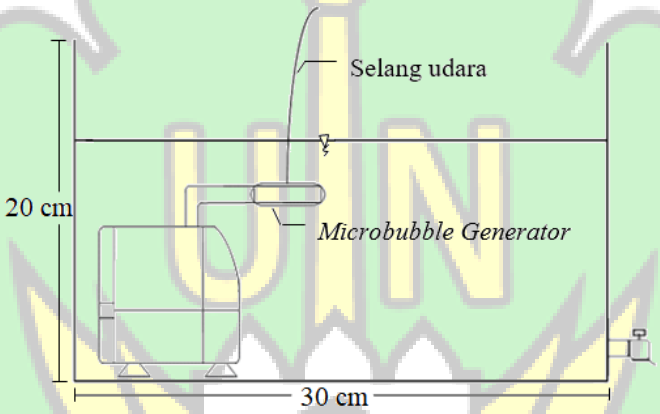
Gambar 3.5 Desain Reaktor Biofilter Anaerob

(Sumber: Utomo dan Pramadita, 2018; Kholif dkk., 2021 dengan modifikasi)

Gambar 3.6 Reaktor Biofilter Anaerob

3.4.3 Reaktor *Microbubble Generator*

Reaktor *Microbubble Generator* terbuat dari bahan kaca dengan ketebalan 5 mm, panjang 30 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 20 cm. Reaktor digunakan untuk mengolah 5 liter sampel. Pemasangan kran sebagai outlet terletak 2 cm dari dasar reaktor. Desain reaktor merujuk pada hasil desain (Afisna dan Juwana, 2020) tetapi dengan perbedaan volume pengolahan sehingga perlu modifikasi dari ukuran aslinya dan desain *Microbubble Generator* merujuk pada desain (Pratiwi dkk., 2022). Desain reaktor *Microbubble Generator* ditunjukkan pada Gambar 3.7. dan Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Reaktor *Microbubble Generator*
(Sumber : Afisna dan Juwana, 2020 dengan modifikasi)

Gambar 3.8 Desain *Microbubble Generator*
(Sumber : Pratiwi dkk., 2022)

3.5 Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas (Independen)

Variabel bebas merupakan variabel yang memberikan pengaruh atau yang menyebabkan perubahan variabel dependen (Kamaruddin dkk., 2023). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob yang digunakan yaitu 32 jam, 24 jam, 16 jam, dan 8 jam dan waktu tinggal (HRT) reaktor *Microbubble Generator* yaitu 60 menit, 120 menit, dan 180 menit.

b. Variabel Terikat (Dependen)

Variabel terikat merupakan variabel yang mendapat pengaruh atau yang menjadi akibat karena adanya variabel independen (Kamaruddin dkk., 2023). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konsentrasi pH, COD, BOD, dan TSS pada sampel air limbah.

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dijaga tetap sama dalam penelitian yang dilakukan untuk menguji hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat (Kamaruddin dkk., 2023). Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu ketinggian media filter *bioball* dan kerikil dan air limbah dari industri tahu.

3.6 Proses *Seeding*

Pembiakan atau *seeding* mikroorganisme dilakukan dengan mengalirkan air limbah yang menjadi sampel dalam pengolahan ke reaktor yang telah dilengkapi media filtrasi dimana dalam penelitian ini yaitu kerikil dan *bioball*. Proses *seeding* berlangsung sampai lapisan biofilm pada media filter terbentuk yaitu selama 14 hari. Pemberian nutrisi secara terus menerus dengan air limbah industri tahu akan membantu aklimatisasi dan mencapai kondisi *steady state*. *Seeding* bertujuan agar mikroorganisme beradaptasi dan dapat tumbuh dan berkembang biak dengan kondisi lingkungan yang baru di dalam reaktor biofilter. Dilakukan penambahan EM4 5% sebagai nutrisi dan mempercepat pertumbuhan biofilm. (Kholif dkk., 2021; Badrah dkk., 2021). Dosis EM4 yang digunakan sebagai berikut.

Total larutan = 6000 ml x 5%

= 300 ml

Aquades = 5700 ml x 5%

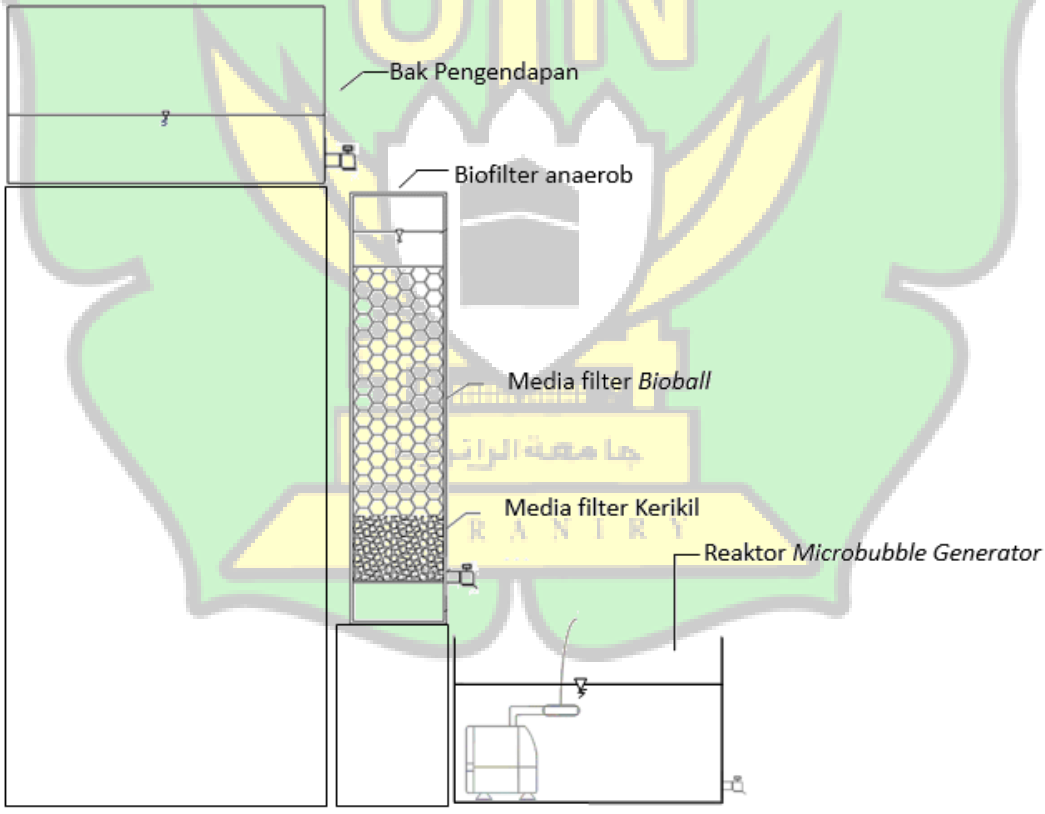
= 285 ml

Larutan EM4 = 300 ml x 5%

= 15 ml

3.7 Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Penelitian kuantitatif merupakan penelitian berdasarkan kaidah ilmiah, penelitian ini untuk mengetahui kandungan pH, COD, BOD, TSS, NH_3, dan DO. yang terdapat dalam air limbah industri tahu sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan dengan biofilter anaerob dan kombinasi biofilter anaerob dengan *Microbubble Generator*. Pengerjaan penelitian dengan metode eksperimen menggunakan skala laboratorium untuk menguji variabel yang telah direkayasa serta mengamati pengaruh antara dua variabel dengan menggunakan variabel kontrol. Rangkaian proses pengolahan ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Diagram Skema Peralatan Penelitian

3.7.1 Biofilter Anaerob

a. Unit biofilter anaerob terbuat dari bahan kaca dengan ketebalan 6 mm, panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 70 cm. Di atas media filter dibiarkan ruang kosong setinggi 10 cm.
b. Media yang digunakan pada biofilter anaerob tersusun dari 10 cm kerikil dan 45 cm *bioball*. Pada bagian permukaan diberikan ruang kosong untuk menjaga pertumbuhan biofilm dan ketinggian air dijaga 5 cm di atas media filter *bioball*.
c. Sampel air limbah awal diuji. Sampel air limbah industri tahu yang telah didiamkan selama 1,5 jam di bak pengendapan dimasukkan ke dalam reaktor biofilter anaerob sebanyak 6 liter.
d. Perlakuan dilakukan dengan cara dialirkan air limbah ke dalam reaktor biofilter anaerob.
e. Sampel didiamkan dalam reaktor biofilter anaerob selama 12 jam.
f. Prosedur d sampai g diulangi untuk variasi vaktu 24 jam, dan 48 jam.
g. Diambil sampel sebanyak 500 ml untuk pengujian pH, COD, BOD, TSS, NH_3, dan DO.

3.7.2 Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

a. Unit biofilter anaerob terbuat dari bahan kaca dengan ketebalan 6 mm, panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 70 cm. Di atas media filter dibiarkan ruang kosong setinggi 10 cm.
b. Media yang digunakan pada biofilter anaerob tersusun dari 10 cm kerikil dan 45 cm *bioball*. Pada bagian permukaan diberikan ruang kosong untuk menjaga pertumbuhan biofilm dan ketinggian air dijaga 5 cm di atas media filter *bioball*.
c. Sampel air limbah awal diuji. Sampel air limbah industri tahu yang telah didiamkan selama 1,5 jam di bak pengendapan dimasukkan ke dalam reaktor biofilter anaerob sebanyak 6 liter.
d. Perlakuan dilakukan dengan cara dialirkan air limbah ke dalam reaktor biofilter anaerob.
e. Sampel didiamkan dalam reaktor biofilter anaerob selama 12 jam.

f. Prosedur d sampai g diulangi untuk variasi waktu 24 jam, dan 48 jam.
g. Setelah itu dilanjutkan dengan proses *Microbubble Generator*.
h. Reaktor *Microbubble Generator* terbuat dari bahan kaca dengan ketebalan 5 mm, panjang 30 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 20 cm.
i. *Microbubble Generator* diletakkan 5 cm dari dasar bak.
j. Sampel air limbah industri tahu hasil perlakuan biofilter dimasukkan ke reaktor *Microbubble Generator* sebanyak 5 liter.
k. Perlakuan dilakukan dengan mengalirkan air limbah industri tahu hasil perlakuan biofilter anaerob ke reaktor *Microbubble Generator*.
l. Dinyalakan mesin pompa selama 60 menit.
m. Prosedur i sampai m diulangi untuk variasi waktu 120 menit dan 180 menit.
n. Diambil sampel sebanyak 500 ml untuk pengujian pH, COD, BOD, TSS, NH_3, dan DO.

Tabel 3. 3 Desain Eksperimen Penelitian

Bak Pengendapan	Rangkaian pengujian	Waktu tinggal (HRT) Biofilter anaerob (jam)	Waktu tinggal (HRT) *Microbubble Generator* (menit)
1,5 jam	Biofilter Anaerob	12	
		24	
		48	
	Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*	12	60
			120
			180
		24	60
			120
			180
		48	60
			120
			180

3.8 Pengukuran Parameter Air Limbah Industri Tahu

Adapun bahan-bahan yang digunakan sebagai bahan pengukuran dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Bahan-bahan Pengukuran

Bahan	Jumlah	Satuan	Kegunaan
Aquades	5	liter	Untuk membersihkan alat-alat laboratorium
$K_2Cr_2O_7$	50	ml	Reagen COD
H_2SO_4	100	ml	Reagen COD
Kertas saring whatman 42 μm	20	lembar	Pengujian TSS

3.8.1 Pengukuran pH

Pengukuran pH mengacu pada SNI 06-6989.11-2004 dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Dilakukan pengkalibrasian pH-meter menggunakan larutan penyangga seperti arahan kerja peralatan saat ada pengukuran.
b. pH-meter dikeringkan dengsn tisu lalu dibilas dengan aquades.
c. Sampel dibilaskan pada pH-meter.
d. Sampel air limbah diletakkan di suatu wadah untuk selanjutnya dilakukan pencelupan pH-meter sampai angka yang terbaca konstan
e. Dilakukan pencatatan angka yang muncul di pH-meter.

3.8.2 Pengukuran COD

Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) mengacu pada SNI 6989.2-2019 dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Dituangkan sampel ke tabung COD 2,5 ml, lalu dilarutkan dengan 1,5 ml $K_2Cr_2O_7$ dan 3,5 ml H_2SO_4 kemudian tutup sampel.
b. COD Reaktor dihidupkan dengan menekan start, tunggu temperaturnya naik hingga 150°C.

c. Dimasukkan tabung COD dalam COD reaktor yang diatur suhu 150°C sampai 2 jam.
d. Setelah tabung COD dingin, dilanjutkan mengukur nilai COD sampel dengan COD Meter.

3.8.3 Pengukuran BOD

Pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD) mengacu pada SNI 6989.72-2009 dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Disiapkan 2 buah botol DO dan ditandai masing-masing botol dengan notasi A1 dan A2.
b. Kemudian sampel air limbah dimasukkan ke dalam botol hingga meluap, dan botol ditutup dengan hati-hati agar tidak menimbulkan gelembung udara
c. Botol dihomogenkan dan ditambahkan air bebas mineral di sekitar mulut botol DO yang telah ditutup
d. Botol A2 disimpan di lemari inkubator dengan suhu 20ºC ± 1ºC selama 5 hari.
e. Kemudian dilakukan pengukuran oksigen terlarut pada botol A1 dan hasil pengukurannya adalah nilai oksigen terlarut nol hari
f. Selanjutnya dilakukan pengukuran oksigen terlarut terhadap botol A2 yang telah di inkubator selama 5 hari dan hasil pengukuran adalah nilai oksigen terlarut pada hari ke 5 dari botol A2.
g. Bagian a sampai f dilakukan penetapan blanko dengan larutan pengencer tanpa menggunakan contoh uji. Hasil yang didapat adalah nilai oksigen terlarut nol hari (B1) dan nilai oksigen terlarut 55 hari (B2).
h. Dilakukan bagian a sampai f untuk menetapkan ketetapan kontrol standar dengan digunakan larutan glukosa-asam glutamat. Perolehan hasilnya ialah nilai oksigen terlarut nol hari (C1) dan nilai oksigen terlarut 5 hari (C2).
i. Diulagi bagian a sampai f terhadap beberapa macam contoh uji.

3.8.4 Pengukuran TSS

Pengukuran *Total Suspended Solid* (TSS) mengacu pada SNI 06-6989.3-2004) dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Disiapkan kertas saring berdiameter 42 μm untuk ditimbang

b. Kertas saring dimasukkan ke dalam vakum dan dilakukan pembilasan pada kertas saring menggunakan 20 ml aquades dalam waktu 2 menit
c. Kertas saring dipanaskan dalam oven dengan temperatur 103-105°C dalam waktu 1 jam
d. Untuk mendinginkan kertas saring digunakan desikator dengan waktu 15 menit
e. Dilakukan penimbangan dan dicatat massa kertas saring yang telah dikeluarkan dari desikator.
f. Digunakan aquades 3x10 ml untuk mencuci kertas saring, ditunggu hingga benar-benar kering, selanjutnya digunakan vakum untuk menyaring dengan waktu 3 menit.
g. Dituangkan 100 ml sampel ke dalam kertas saring, selajutnya dimasukkan dalam vakum.
h. Kertas saring dipindahkan dari alat penyaringan ke suatu tempat, pindahkan gooch ataupun cawan porselein dari alat penyaring apabila menggunakannya.
i. Diatur temperatur oven 103-105°C untuk pengeringan dalam waktu 1 jam.
j. Untuk pendinginan digunakan desikator lalu dilakukan penimbangan sampai didapatkan berat yang tetap.
k. Penghitungan kadar TSS (mg/L), digunakan rumus :

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B)\times 1000}{Volume\ sampel\ (ml)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.1)$$

Dengan:

A = massa kertas saring + residu setelah pengeringan (mg)

B = massa kertas saring (mg)

3.8.5 Pengukuran DO

Pengukuran DO mengacu pada SNI 06-6898.14-2004 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Sampel limbah cair dikocok hingga homogen.
b. Sebuah beaker glass pyrex digunakan untuk menampung hingga 100 mL sampel limbah cair.

c. DO meter diaktifkan dan ujung elektroda DO meter dicelupkan ke dalam sampel limbah cair.
d. Pembacaan nilai DO pada DO meter ditunggu hingga stabil.
e. Nilai DO yang terbaca dicatat.

3.8.6 Pengukuran Amonia

Pengukuran amonia mengacu pada SNI 06-6989.30-2005 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Sebanyak 25 ml sampel dimasukkan ke erlenmeyer 50 ml.
b. Ditambahan 1 ml larutan fenol dan dihomogenkan.
c. Ditambahakan 1 ml natrium nitroprusid dan dihomogenkan
d. Ditambahan 2,5 ml larutan pengoksidasi dan dihomogenkan
e. Ditutup erlenmeyer dengan plastik atau parafin film
f. Dibiarkan selama 1 jam unuk membentuk warna
g. Dimasukkan ke kuvet pada spektofotometer, lalu dibaca serta dicatat serapannya pada panjang gelombang 640 nm.

3.9 Analisis Data

3.9.1 Efektivitas

Tahapan Analisis dan pengolahan data dilakukan berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari proses pengujian parameter pH, COD, BOD, TSS, DO, dan NH_3 pada air limbah industri tahu sebelum dan setelah dilakukannya pengolahan. Hasil efluen pengolahan air limbah industri tahu di bawa ke laboratorium untuk diuji. Hasil pengujian laboratorium kemudian ditabulasi untuk ditentukan efektivitas metode biofilter anaerob dan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* untuk masing-masing variasi waktu tinggal (HRT) menggunakan rumus efektivitas air limbah kemudian dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan pengolahan kedelai. Efektivitas diperoleh dengan Persamaan 3.2.

$$Efektivitas = \frac{kadar\ awal - kadar\ akhir}{Kadar\ awal} \times 100\% \quad \text{.....(3.2)}$$

3.9.2 Analisis Statistik

Analisis Statistik pada penelitian ini menggunakan software yang dapat untuk melakukan pengolahan data dan menganalisis data yaitu SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). SPSS yaitu software khusus untuk pengolahan data statistik yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. SPSS dipakai dalam berbagai riset pasar, pengendalian dan perbaikan mutu, serta riset-riset sains. Data akan diolah dengan analisis regresi linear berganda yang terdapat pada software SPSS. Regresi linear berganda dapat melihat efek dua atau lebih variabel independen terhadap satu variabel dependen. Jika nilai signifikan < 0,05 maka terdapat pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat (Zein dkk., 2019). Analisis ini digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variabel bebas yaitu waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* terhadap variabel terikat yaitu kadar pH, COD, BOD, TSS, dan DO..

3.10 Penyajian Data

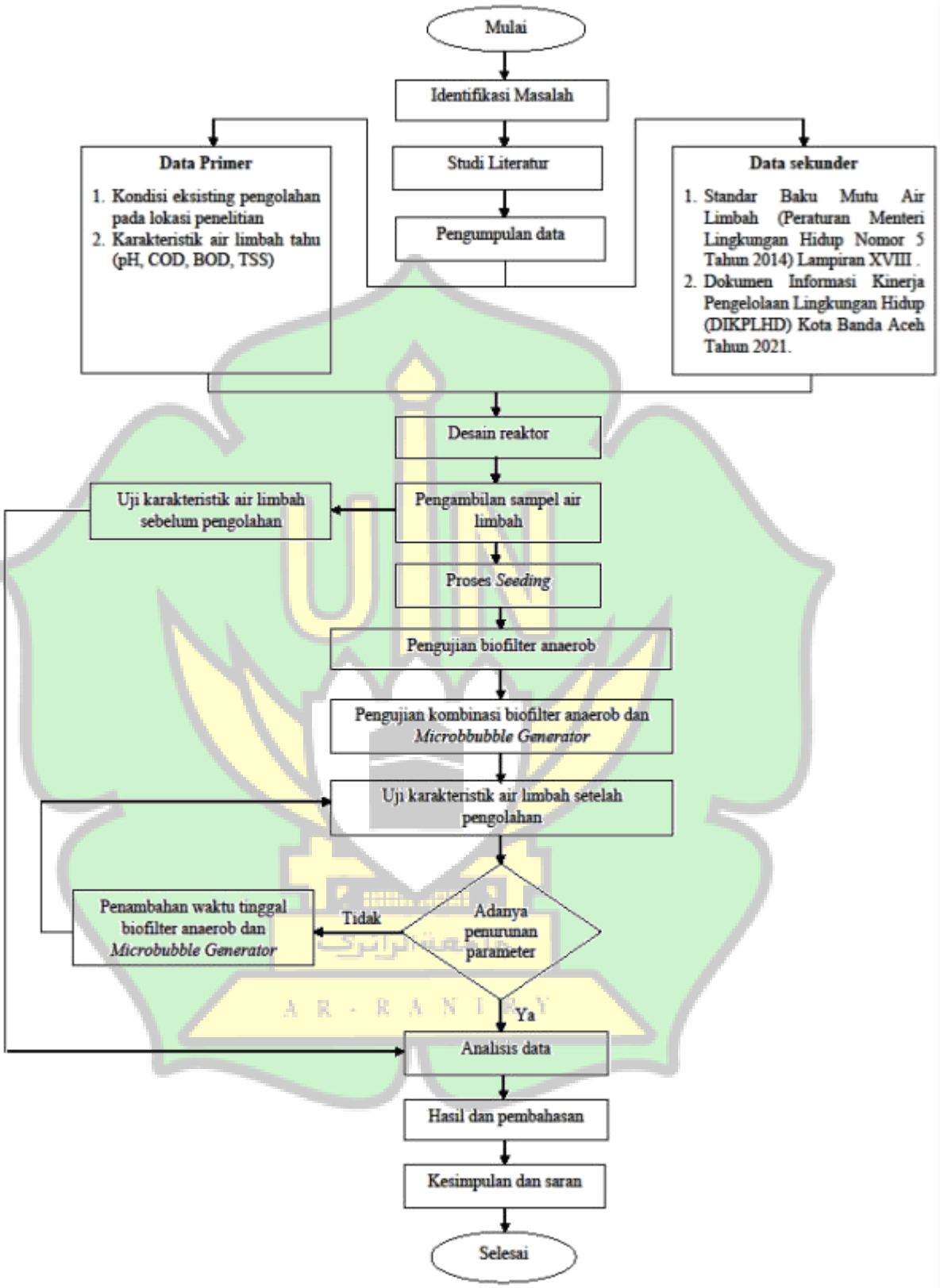
Penelitian dengan tema kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* ini terdiri atas beberapa output berupa data yang disajikan dalam bentuk sebagai berikut:

1. Efektivitas biofilter anaerob dan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* disajikan dalam bentuk tabel, dimana efektivitas masing-masing rangkaian pengolahan terhadap parameter pH, COD, BOD dan TSS merupakan nilai yang diperoleh menggunakan rumus efektivitas dari tabulasi data hasil pengujian.
2. Pengaruh waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* disajikan dalam bentuk grafik, dimana grafik menggambarkan perubahan yang terjadi pada parameter pH, COD, BOD dan TSS terhadap variasi waktu tinggal (HRT) masing-masing rangkaian pengolahan.

3.11 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian menjelaskan mengenai urutan kerja yang dilakukan dalam penelitian. Tujuannya adalah mempermudah pemahaman dan menjelaskan metode

penelitian yang akan digunakan. Tahapan penelitian ini mencakup identifikasi masalah, studi literatur untuk menambah pemahaman proses penelitian, pengumpulan data primer dan sekunder yang diperlukan, desain reaktor, hal-hal yang perlu dilakukan sebelum penelitian utama, analisis data, pembahasan, hingga penarikan kesimpulan dan saran. Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini ditunjukkan oleh Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tahapan Alur Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Efektivitas Pengolahan

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Pabrik Tahu Solo, Punge, Banda Aceh. Pabrik ini mengolah 300 kg kedelai setiap hari untuk pembuatan tahu. Dalam proses pembuatan tahu tersebut menghasilkan air limbah. Dari pengamatan air limbah yang dihasilkan langsung dibuang ke badan air tanpa pengolahan sebagaimana mestinya.

Karakteristik awal air limbah industri tahu sebelum proses pengolahan yang diuji di Laboratorium UPTD Balai Laboratorium Kesehatan dan Pengujian Alat Kesehatan dan Laboratorium Teknik Pengujian Kualitas Lingkungan Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Awal Air Limbah Industri Tahu

Parameter	Unit	Baku Mutu	Hasil Uji	Keterangan
pH	-	6-9*	5	Tidak sesuai baku mutu
COD	mg/l	300*	3773	Tidak sesuai baku mutu
BOD	mg/l	150*	1020	Tidak sesuai baku mutu
TSS	mg/l	100*	400	Tidak sesuai baku mutu
NH_3	mg/l	0,5**	11,465	Sesuai baku mutu
DO	mg/l	-	3,7	-

(Sumber: Hasil Uji Laboratorium, 2023)

Keterangan :* Permen LH No.5 Tahun 2014 Lampiran XVIII Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Kedelai

** PP No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI

Berdasarkan tabel 4.1 dapat dilihat bahwa konsentrasi pH, COD, BOD, dan TSS tidak sesuai baku mutu jika dibandingkan dengan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, terutama pada Lampiran XVII mengenai usaha atau kegiatan pengolahan kedelai, sehingga pengolahan air limbahnya harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Berdasarkan hal tersebut maka pengolahan air limbah industri tahu menggunakan kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* diperlukan untuk menurunkan konsentrasi parameter air limbah agar sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan.

Hasil pengujian sampel air limbah industri tahu untuk parameter pH, COD, BOD, TSS, DO dan NH_3 sebelum dan sesudah dilakukannya pengolahan menggunakan biofilter Anaerob serta tingkat efektivitas pengolahannya dapat dilihat pada Tabel 4.2. Hasil pengujian sampel air limbah industri tahu dan efektivitas pengolahan untuk parameter pH, COD, BOD, TSS, DO dan NH_3 sebelum dan sesudah dilakukannya pengolahan menggunakan kombinasi teknologi biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Berdasarkan Tabel 4.2 air limbah industri tahu sebelum proses pengolahan memiliki konsentrasi pH sebesar 5, COD sebesar 3773 mg/l, BOD sebesar 1020 mg/l, TSS sebesar 400 mg/l, DO sebesar 3,7 mg/l dan amonia sebesar 11,465 mg/l. Konsentrasi awal melebihi baku mutu kemudian terlihat adanya perubahan penurunan konsentrasi pada parameter setelah dilakukannya pengolahan biofilter anaerob menurut variasi waktu yang diberikan. Efektivitas pengolahan paling tinggi untuk parameter COD, TSS, dan amonia diperoleh pada waktu tinggal (HRT) 48 jam yaitu mencapai 80,78 %, 89,25%, 88,05%. Pada HRT 48 jam juga diperoleh nilai pH 6,2. Sedangkan untuk BOD memiliki efektivitas paling baik pada HRT 24 jam.

Berdasarkan Tabel 4.3 hal yang sama juga terjadi pada pengolahan dengan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*, dimana terdapat perubahan dari konsentrasi awal pada parameter setelah melalui proses pengolahan menurut variasi waktu tinggal. Efektivitas pengolahan paling tinggi untuk parameter COD, BOD, TSS, dan amonia diperoleh pada kombinasi biofilter

anaerob 48 jam dan MBG 180 menit yaitu sebesar 93,82%, 93,11%, 97,5%, dan 97,82%. Pada waktu kombinasi ini juga diperoleh pH 6,8 dan DO 6,5 mg/l.

Tabel 4. 2 Hasil dan Efektivitas Pengolahan Biofilter Anaerob

	Biofilter Anaerob	Parameter Uji						Efektivitas (%)			
		pH	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)	DO (mg/L)	Amonia (mg/l)	COD	BOD	TSS	Amonia
Sebelum Pengolahan		5	3773	1020	400	3,7	11,465	-	-	-	-
Sesudah Pengolahan Dengan Waktu Tinggal (Jam)	12	**5,1**	**1532**	**421**	**214**	4,5	-	59,40	58,79	46,5	-
	24	6	**1219**	**198**	75	4,1	-	67,69	80,59	81,25	-
	48	6,2	**725**	**219**	43	4	1,37	80,78	78,53	89,25	88,05
Baku Mutu		*6-9*	*300*	*150*	*200*	-	*0,5*	-	-	-	-

Tabel 4. 3 Hasil dan Efektivitas Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

	Biofilter Anaerob (jam)	*Microbubble Generator* (menit)	Parameter Uji						Efektifitas (%)			
			pH	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	DO (mg/l)	Amonia (mg/l)	COD	BOD	TSS	Amonia
Sebelum Pengolahan			**5**	3773	1020	400	3,7	11,465	-	-	-	-
Sesudah Pengolahan Dengan Waktu Tinggal	12	60	**5,1**	**767**	**231,6**	191	5	-	79,67	77,29	52,25	-
		120	**5,2**	**564**	**170,3**	176	5,5	-	85,05	83,30	56	-
		180	**5,4**	**417**	125	152	5,9	-	88,95	87,75	62	-
	24	60	6	**697**	**168**	59	5,1	-	81,53	83,53	83,25	-
		120	6,1	**513**	135	38	5,7	-	86,4	86,76	90,5	-
		180	6,2	254	76,7	26	6,3	-	93,27	92,48	93,5	-
	48	60	6,4	**634**	**171**	37	5,1	-	83,2	83,24	90,75	-
		120	6,5	**314**	94,6	21	5,9	-	91,68	90,73	94,75	-
		180	6,8	233	70,3	10	6,5	0,25	93,82	93,11	97,5	97,82
Baku Mutu			*6-9*	*300*	*150*	*200*	-	*0,5*	-	-	-	-

4.1.1 Pengolahan Biofilter Anaerob

Pengolahan menggunakan biofilter anaerob dilakukan setelah proses *seeding* selesai. Dalam penelitian ini proses *seeding* dilakukan selama 14 hari. Pada hari ke-1, dapat dilihat pada Gambar 4.1 biofilm belum tumbuh dan air limbah terlihat keruh. Pada hari ke-4, dapat dilihat pada Gambar 4.2 terlihat adanya selaput tipis berwarna krem di ruas-ruas permukaan *bioball*. Pada hari ke-8, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3 lapisan biofilm pada sebagian *bioball* terlihat lebih tebal. Pada hari ke-14, dapat dilihat pada Gambar 4.4 biofilm berwarna krem kecoklatan melapisi *bioball*.

Gambar 4.1 Proses *Seeding* Hari ke-1

Gambar 4.2 Proses *Seeding* Hari Ke-4

Gambar 4.3 Proses *Seeding* Hari ke-8

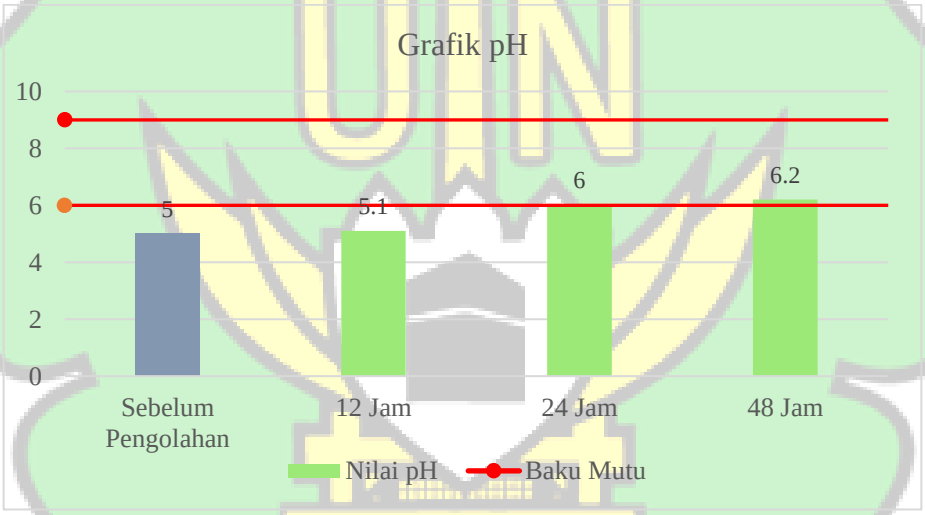
Gambar 4.4 Proses *Seeding* Hari ke-14

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 lapisan biofilm yang berwarna krem kecoklatan pada ruas-ruas permukaan *bioball* telah menebal. Setelah *seeding* selesai, air limbah hasil *seeding* dibuang. Air limbah dari bak pengendapan

dialirkan ke biofilter anaerob. Adapun hasil pengujian masing-masing parameter air limbah diuraikan sebagai berikut.

1. Parameter pH

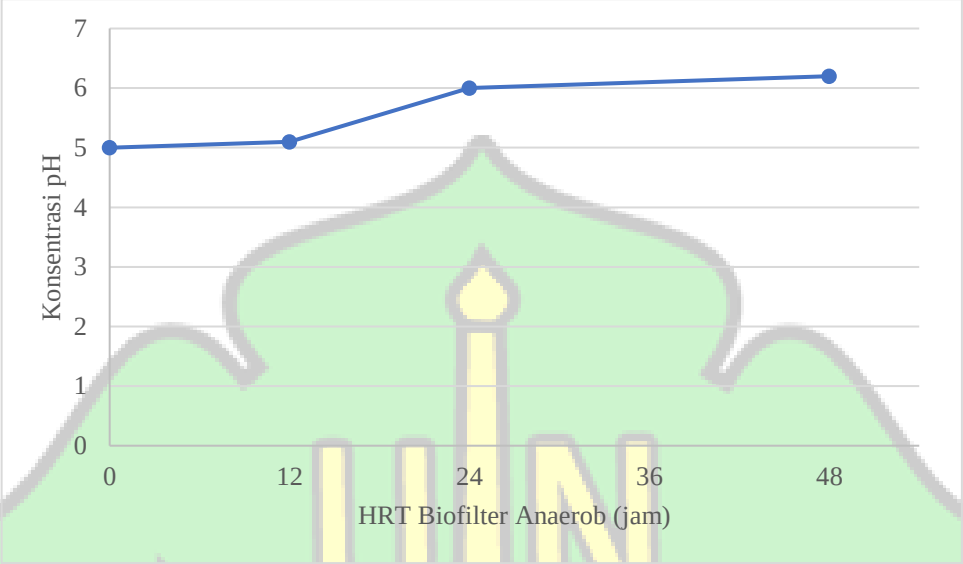
pH digunakan untuk menyatakan nilai tingkat keasaman dan kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Nilai pH dapat berbeda-beda yang dimulai dari skala 1 hingga skala 14. Apabila suatu larutan memiliki nilai pH sebesar 7 maka disebut netral. Nilai pH yang kurang dari 7 disebut asam dan jika nilai pH melebihi 7 maka disebut basa. Berdasarkan Gambar 4.5. air limbah industri tahu sebelum diolah mempunyai pH sebesar 5 yang berarti bersifat asam. Hal ini karena adanya penambahan asam cuka dalam proses penggumpalan tahu (Sitasari dan Khoironi, 2021).



Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian pH Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob

Berdasarkan Gambar 4.5 Pada HRT 12 jam pH air limbah industri tahu mengalami kenaikan menjadi 5,1 dari pH sebelum dilakukannya pengolahan namun nilai ini belum sesuai dengan baku mutu air limbah industri tahu sesuai Permen LH Nomor 5 Tahun 2014. Hal ini diduga karena pada variasi waktu tinggal (HRT) yang lebih singkat maka waktu kontak biofilm dengan air limbah tidak optimal sehingga proses penguraian secara anaerob belum dapat menetralkan pH. Hal ini sejalan dengan penelitian Anggarini dkk. (2015) yang menyatakan bahwa pengolahan dengan sistem anaerob belum dapat secara signifikan menetralkan pH karena pada

waktu tinggal 10 sampai 24 jam proses degradasi masih dalam fase hidrolitik. Pada proses hidrolitik terjadi penguraian senyawa organik kompleks menjadi monomer-monomer.



Gambar 4.6 Kurva Peningkatan pH Terhadap Waktu Tinggal Biofilter Anaerob

Pada Gambar 4.6 pengolahan selama 24 jam menaikkan konsentrasi pH menjadi 6 dimana nilai pH sudah sesuai dengan baku mutu menurut Permen LH Nomor 5 Tahun 2014. Pada HRT 48 jam diperoleh pH air limbah industri tahu sebesar 6,2 yang mana nilai pH pada HRT ini merupakan nilai paling tinggi dari HRT sebelumnya. Peningkatan pH diduga terjadi karena adanya proses hidrolis selama pengolahan dengan biofilm secara anaerob dimana senyawa amonia air limbah industri tahu membentuk ion ammonium dan ion hidroksida sehingga menyebabkan pH air limbah meningkat. Hal ini diperkuat oleh Anisa (2017) kenaikan nilai pH ini dapat disebabkan dari perubahan bentuk ammonia-nitrogen menjadi bentuk ion yang berupa ammonium jika terlarut di dalam air. Sehingga ion OH^- di dalam limbah akan menjadi naik yang berdampak pada naiknya nilai pH sebagaimana reaksi berikut:

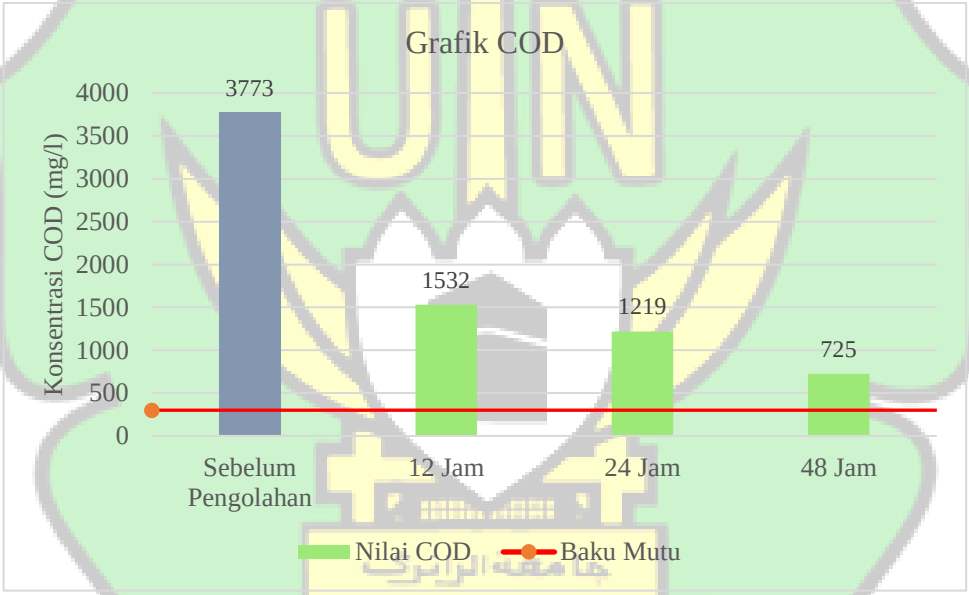
$$NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

Peningkatan nilai pH pada biofilter anaerob juga dapat terjadi karena adanya proses glikolisis yaitu pemecahan karbohidrat menjadi glukosa lalu diubah menjadi asam laktat dengan bantuan enzim sebelumnya. Hal inilah yang menyebabkan pH

terus meningkat menuju kisaran pH pertumbuhan bakteri anaerob (Widyaningrum dkk., 2020). Dari data yang dihasilkan dapat diketahui bahwa pH pada setiap waktu tinggal hidrolik (HRT) memiliki kecenderungan yang sama, dimana semakin lama air limbah melewati tahapan proses pengolahan, maka nilai pH akan semakin naik sehingga menjadikan nilai pH influen lebih rendah dibandingkan dengan pH efluen biofilter anaerob.

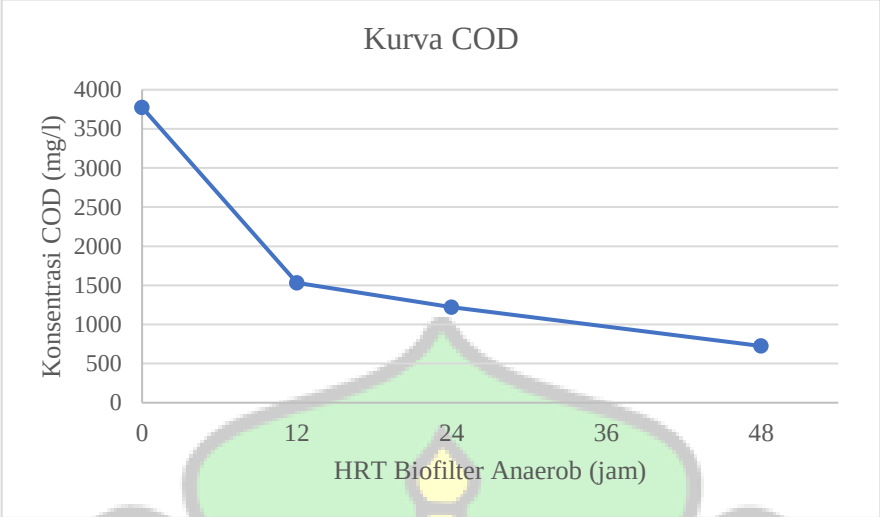
2. Parameter COD

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan senyawa organik pada air limbah untuk dapat mengalami oksidasi melalui reaksi kimiawi (Salamah dan Rahmanto, 2021). Berdasarkan Gambar 4.7 konsentrasi COD mengalami perubahan terhadap waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob.



Gambar 4.7 Hasil Pengujian COD Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob

Pada HRT 12 jam, konsentrasi COD menurun dari semula 3773 mg/l menjadi 1532 mg/l dengan efektivitas pengolahan 59,40%. Pada HRT 24 jam penurunan kembali terjadi sebesar 1219 mg/l dengan efektivitas 67,69%. Pada HRT 48 jam merupakan penurunan paling tinggi yaitu sebesar 725 mg/l dengan efektivitas 80,78%.



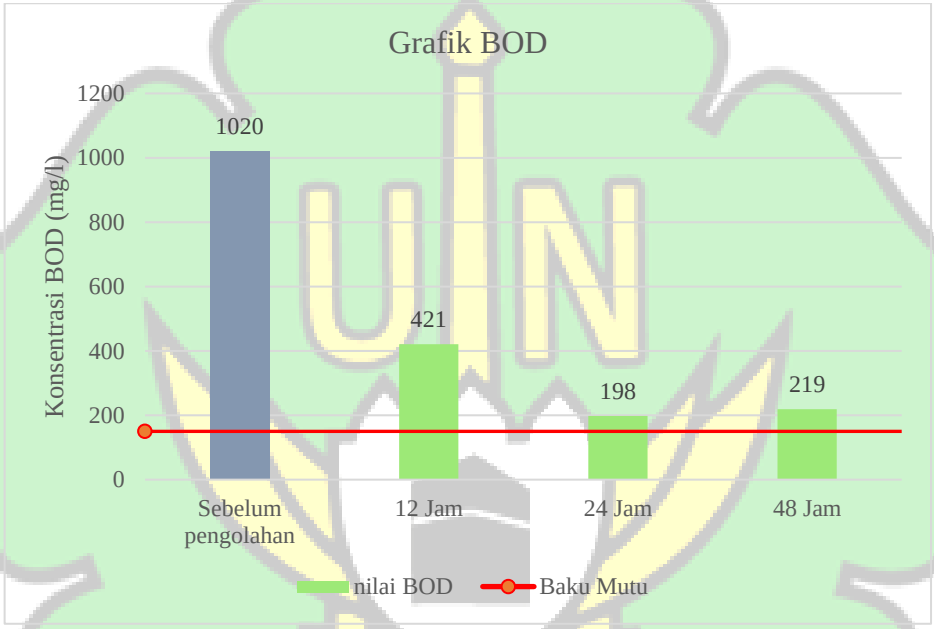
Gambar 4.8 Kurva Penurunan COD Terhadap Waktu Tinggal Biofilter Anaerob

Dapat dilihat berdasarkan Gambar 4.8 kurva menunjukkan waktu tinggal yang lebih lama menghasilkan penurunan yang lebih besar. Penurunan COD pada pengolahan biofilter anaerob diduga karena adanya mikroorganisme pada biofilm yang melekat di *bioball* sehingga zat-zat organik pada air limbah industri tahu digunakan sebagai nutrisi yang kemudian dapat terurai menjadi zat organik sederhana. Hal ini sejalan dengan penelitian Widyaningrum dkk. (2020) efektivitas degradasi COD pada pengolahan *Anaerobic Horizontal Roughing Filter* dengan HRT 16 jam sebesar 40%, HRT 24 jam sebesar 55%, dan HRT 40 jam sebesar 80%. Proses penurunan COD terjadi melalui oksidasi substrat, kemudian kandungan bahan organik akan diubah menjadi kabondioksida, metana, dan massa bakteri sebagai sumber energi sehingga konsentrasi COD dapat diturunkan

Herlina dkk. (2020) mengungkapkan bahwa penurunan konsentrasi COD juga dapat terjadi karena waktu tinggal air limbah di dalam biofilter yang lebih lama, sehingga lebih banyak zat-zat organik yang diuraikan oleh mikroorganisme. Namun, dari ketiga hasil pengolahan tersebut belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Hal ini bisa saja terjadi karena konsentrasi awal COD sangat tinggi. Menurut Anggarini dkk. (2015) hal ini diduga sebab mikroorganisme biofilm tidak tumbuh secara bersamaan sehingga kemampuan degradasi COD air limbah tidak dapat memenuhi baku mutu. Selain itu, ketersediaan nutrisi bagi mikroorganisme juga dapat mempengaruhi kinerjanya.

3. Parameter BOD

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan nilai oksigen terlarut yang mikroorganisme butuhkan agar dapat menguraikan bahan organik di perairan. Bahan tersebut misalnya dari karbohidrat (selulosa, pati, gula), minyak, protein, hidrokarbon, serta bahan lain masuk ke perairan secara alami dan dari pencemar (Putro dkk., 2021). Berdasarkan Gambar 4.9 konsentrasi BOD mengalami perubahan terhadap waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob.

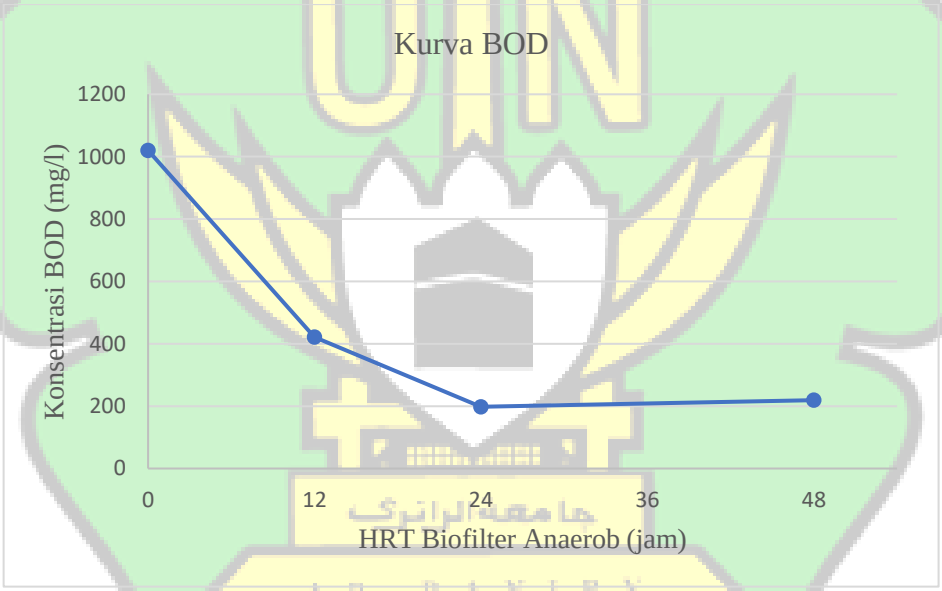


Gambar 4.9 Hasil Pengujian BOD Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob

Pada HRT 12 jam, konsentrasi BOD air limbah industri tahu diperoleh sebesar 421 mg/l dari konsentrasi awal 1020 mg/l dengan efektivitas pengolahan 58,73%. Pada HRT 24 jam penurunan konsentrasi BOD kembali terjadi sebesar 198 mg/l dengan efektivitas 80,59%. Pada HRT 48 jam konsentrasi BOD diperoleh sebesar 219 mg/l dengan efektivitas 78,53%. Penyisihan kadar BOD diduga disebabkan karena banyaknya mikroorganisme pengurai yang hidup dan berkembangbiak pada media *bioball* yang mereduksi kadar BOD. Influen melewati *bioball* yang dilapisi oleh biofilm yang merupakan koloni mikroorganisme anaerob sehingga terjadi kontak antara air limbah dan biofilm maka bahan-bahan organik

didegradasi oleh mikroorganisme tersebut. Selain itu ketersediaan bahan organik sebagai sumber energi mikroorganisme masih tinggi sehingga efektivitas pengolahan meningkat.

Menurut Kholif dkk. (2021) penurunan konsentrasi BOD ini menunjukkan bahwa mikroorganisme bekerja pada kondisi yang optimum dalam menguraikan bahan organik yang ada pada air limbah industri tahu. Hal yang sama juga disimpulkan oleh Ratnawati dan Kholif (2018) dimana penurunan kadar BOD di awal penelitian berada pada fase aktif, yaitu pertumbuhan mikroorganisme dan ketersediaan bahan organik tinggi sehingga aktifitas mikroorganisme untuk menurunkan bahan organik turut meningkat. Dari data yang diperoleh, hasil pengolahan belum memenuhi baku mutu air limbah industri tahu sesuai Permen LH Nomor 5 Tahun 2014.



Gambar 4.10 Kurva Penurunan BOD Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob

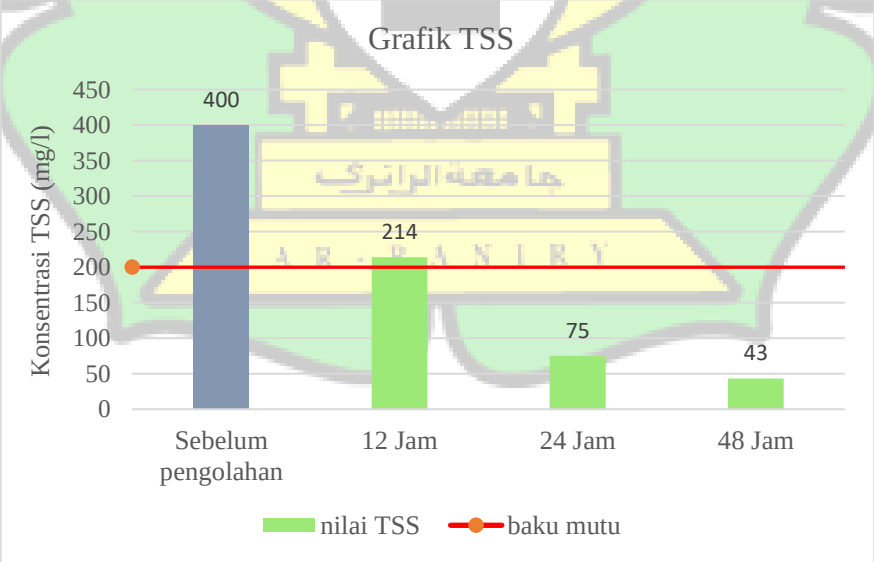
Berdasarkan Gambar 4.10 pada HRT 48 jam konsentrasi BOD air limbah mengalami fluktuasi menjadi lebih tinggi dari waktu tinggal sebelumnya, peningkatan mencapai 219 mg/l dan efektivitasnya menurun sebesar 78,53%. Hal ini juga terjadi pada penelitian Diny dkk. (2015) dimana efektivitas penyisihan BOD air limbah industri tahu menurun dari 77,31% pada HRT 12 jam, menjadi 27,15% pada HRT 18 jam. Menurut Ratnawati dan Kholif (2018), pada hari

sampling keenam, efektivitas penurunan BOD menggunakan biofilter anaerob menurun dibawah 80%.

Penurunan efektivitas penyisihan BOD diduga sebab ketika biofilm telah stabil maka lapisan biofilm yang menutupi permukaan media menjadi tebal. Umumnya, hanya mikroorganisme yang hidup di lapisan terluar yang bekerja secara maksimal. Sedangkan mikroorganisme yang ada di lapisan dalam hanya mendapat makanan secara difusi sehingga semakin lama mikroorganisme memperoleh makanan semakin sedikit. Akibatnya terjadi kematian pada mikroorganisme di lapisan dalam, oleh karena menempati celah kecil maka tidak dapat terlepas dan tetap berada di lapisan biofilm, hal tersebut akan menyebabkan BOD meningkat (Diny dkk., 2015).

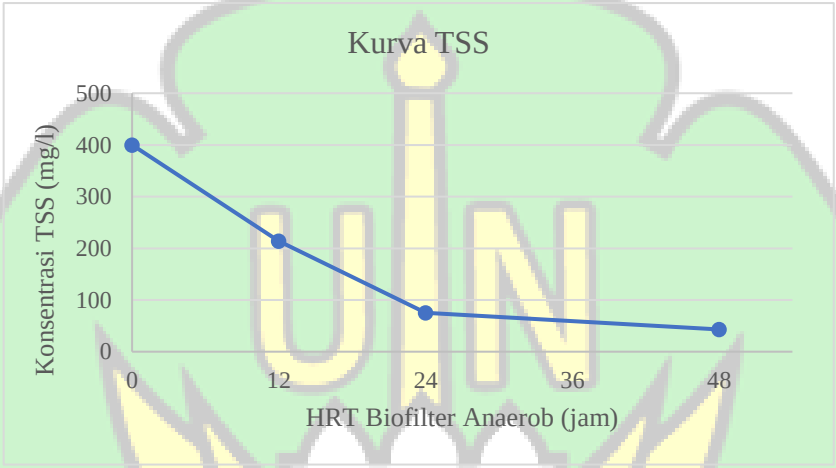
4. Parameter TSS

Total Suspended Solid (TSS) adalah padatan berupa partikel dengan ukuran dan massa lebih kecil dibandingkan sedimen, bahan organik tertentu, dan sel-sel mikroorganisme sehingga meningkatkan kekeruhan pada air karena karakteristiknya yang tidak terlarut dan tidak dapat mengendap langsung (Salamah dan Rahmanto, 2021). Berdasarkan Gambar 4.11 konsentrasi TSS air limbah industri tahu mengalami penurunan terhadap waktu tinggal (HRT).



Gambar 4.11 Hasil Pengujian TSS Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob

Kadar TSS influen sebesar 400 mg/l, kemudian pada pengolahan biofilter anaerob dengan HRT 12 jam dapat menyisihkan TSS sebesar 214 mg/l dengan efektivitas sebesar 46,5%. Nilai ini masih belum sesuai dengan baku mutu TSS yaitu sebesar 200 mg/l. Menurut Anggarini dkk. (2015) pada jangka waktu tertentu, mikroorganisme yang bekerja selama pengolahan masih berada dalam fase hidrolitik. Pada fase ini proses degradasi belum berjalan sempurna dan belum mampu menurunkan kadar TSS pada air limbah.



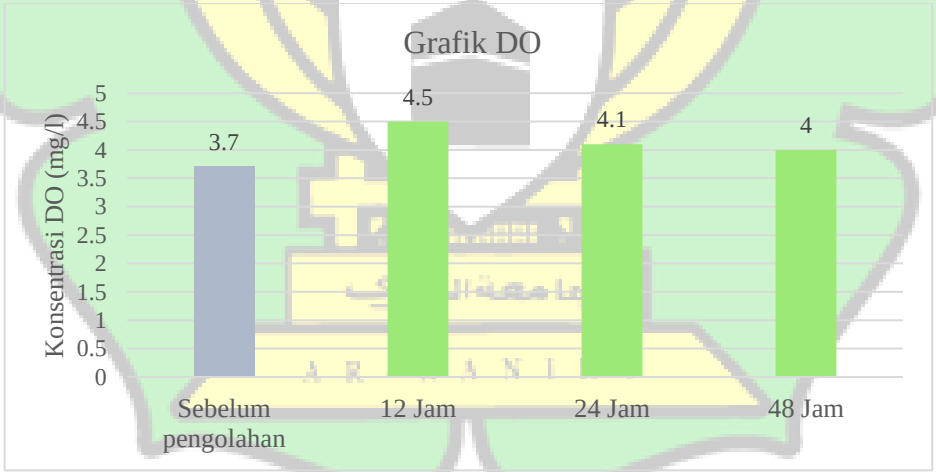
Gambar 4.12 Kurva Penurunan TSS Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob

Berdasarkan **Gambar 4.12** pada HRT 24 jam konsentrasi TSS air limbah industri tahu menurun sebesar 75 mg/l dengan efektivitas 81,25%. Pada perlakuan berikutnya dengan HRT 48 jam, penurunan konsentrasi TSS diperoleh 43 mg/l dengan efektivitas 89,25%. Dari data tersebut semakin lama proses pengolahannya, maka nilai penurunan yang diperoleh semakin besar. Pada biofilter anaerob, penurunan TSS diduga karena bahan-bahan organik didegradasi oleh mikroorganisme yang menempel pada permukaan *bioball*. Pada bagian bawah biofilter terdapat kerikil yang dapat menahan partikel-partikel yang tersisa setelah melewati *bioball*. Hasil penelitian ini memiliki efektivitas yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya oleh Pramita dan Puspita, (2019) dimana efektivitas penyisihan TSS air limbah industri tahu yang paling tinggi diperoleh sebesar 81,39% pada waktu tinggal 48 jam.

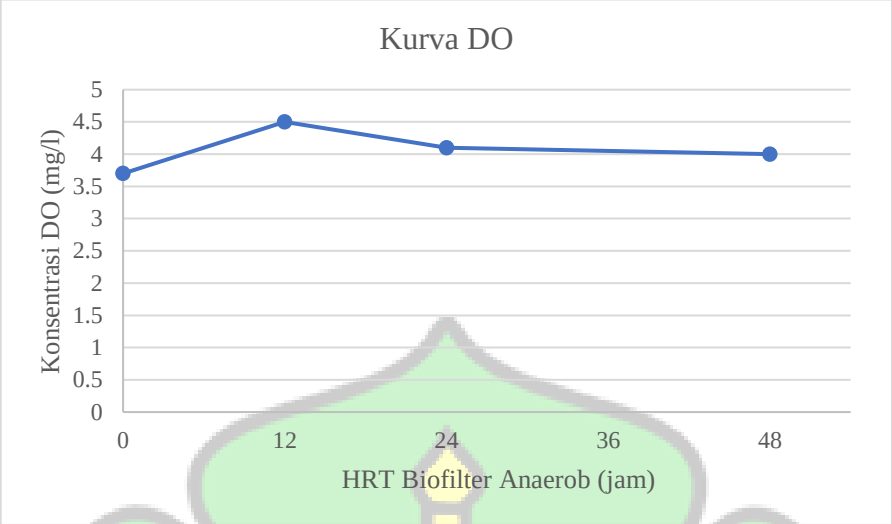
Dari data diatas, pengolahan biofilter anaerob dengan HRT 24 jam dan 48 jam mampu menyisihkan kadar TSS dengan baik dan telah memenuhi baku mutu sesuai Permen LH Nomor 5 Tahun 2014. Menurut Said (2005) penurunan kadar TSS dipengaruhi waktu tinggal maka akan terjadi kontak dengan mikroorganisme dalam biofilter menjadi lebih optimal. Aliran air limbah yang melewati celah-celah media menyebabkan kontak dengan media yang diatasnya telah terlapisi biofilm dan tidak dapat lepas ke dalam efluen. Adanya batu kerikil pada dasar biofilter mampu menyaring material yang terlarut dalam air limbah. Sifatnya yang *inert* tidak mudah bereaksi dengan zat yang reaktif dan sifat kebasahan dari kerikil mendukung pertumbuhan mikroorganisme.

5. Parameter DO

Dissolved oxygen (DO) merupakan jumlah oksigen yang terkandung dalam air. Konsentrasi DO sangat mempengaruhi pertumbuhan komunitas mikroba dalam biofilm dan efisiensi proses biologis secara keseluruhan (Loh dkk., 2021). Berdasarkan Gambar 4.13 konsentrasi DO air limbah industri tahu mengalami perubahan terhadap waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob.



Gambar 4.13 Hasil Pengujian DO Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob



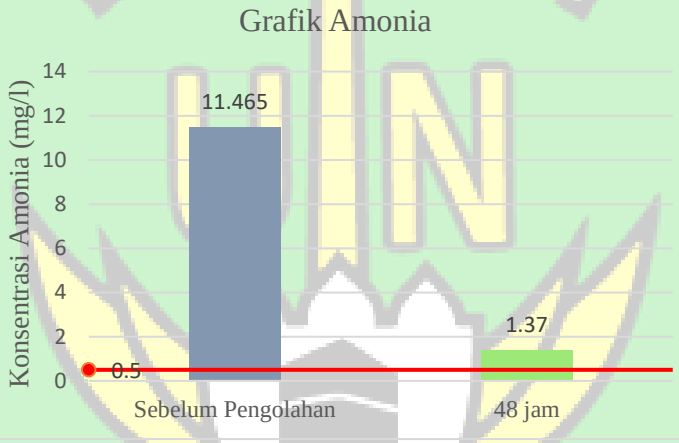
Gambar 4.14 Kurva Peningkatan DO Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob

Berdasarkan data pada Gambar 4.14 konsentrasi DO influen diperoleh sebesar 3,7 mg/l kemudian pada HRT 12 jam konsentrasi DO mengalami peningkatan sebesar 4,5 mg/l. Pada HRT 24 jam konsentrasi DO menurun dari perlakuan sebelumya sebesar 4,1 mg/l. Hal yang sama juga terjadi pada HRT 48 jam dimana nilai DO menurun sebesar 4 mg/l. Pada waktu pengolahan yang lebih singkat, konsentrasi DO meningkat dari nilai awal. Hal ini diduga karena suhu berpengaruh pada kinerja reaktor biofilter dimana pada suhu yang lebih rendah akan menyebabkan DO meningkat. Pada waktu variasi waktu pengolahan yang lebih lama, nilai DO akan mengalami penurunan sehingga didapatkan konsentrasi DO yang sesuai untuk mikroorganisme anaerob.

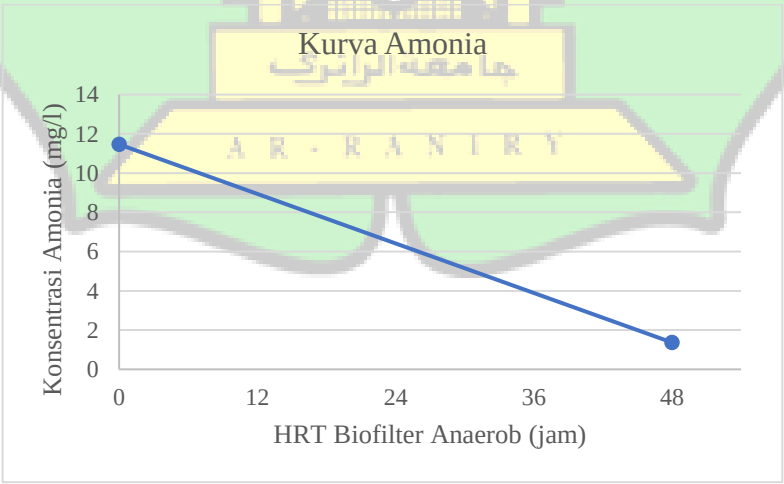
Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Wardhana (2019) meningkatnya nilai DO dari konsentrasi awal 0,2 mg/l menjadi 0,8 mg/l pada saat pengolahan anaerob diduga karena menurunnya suhu ambien yang akan mempengaruhi reaktor. Dengan menurunnya suhu maka kelarutan oksigen dalam reaktor juga akan meningkat dan akan berakibat naiknya oksigen terlarut. Pada pengolahan hari berikutnya konsentrasi DO turun sebab oksigen dapat berkurang ketika memasuki kondisi anaerob dalam jangka waktu yang lebih lama dan substrat tersedia dalam jumlah besar. DO menurun menuju kisaran DO yang mendukung kehidupan mikroorganisme sebesar 2 mg/l (Fisma dan Bhernama, 2020).

6. Parameter Amonia

Amonia (NH_3) merupakan hasil dekomposisi dari nitrogen organik seperti protein dan asam amino yang terdapat di air limbah industri tahu. Berdasarkan Gambar 4.15 terdapat perubahan konsentrasi amonia sebelum dan setelah pengolahan. Air limbah industri tahu memiliki kadar awal amonia sebesar 11,465 mg/l lalu setelah dilakukannya pengolahan selama 48 jam dengan biofilter anaerob, kadar amonia berkurang menjadi 1,37 mg/l dengan efektitas 88,05%. Hasil yang diperoleh belum memenuhi PP No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI



Gambar 4.15 Hasil Pengujian Amonia Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob



Gambar 4.16 Kurva Penurunan Amonia Terhadap Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob

Dapat dilihat pada Gambar 4.16 penggunaan biofilter anaerob dengan HRT 48 jam mampu menurunkan konsentrasi amonia secara siginifikan. Penurunan konsentrasi amonia menggunakan biofilter anaerob diduga terjadi karena pada lapisan biofilm yang tumbuh pada media, semakin lama akan semakin menebal sehingga menyebabkan oksigen tidak dapat masuk ke dalam lapisan biofilm yang mengakibatkan terbentuknya zona anaerob. Menurut Rahayu dan Ratni (2019) pada zona anaerob tersebut, terjadi proses perubahan senyawa nitrat menjadi senyawa nitrit yang kemudian dilepaskan menjadi gas nitrogen, proses ini disebut sebagai proses denitrifikasi. Adanya waktu tinggal air limbah dengan media yang lebih lama juga mempengaruhi penurunan konsentrasi amonia, karena mikroba anaerob dapat melakukan proses degradasi lebih lama.

Berdasarkan penelitian Al Kholif dkk. (2022) kadar amonia pada air limbah dapat diturunkan sebesar 70.05% pada waktu 48 jam menggunakan biofilter anaerob bermedia bioring. Lamanya waktu kontak dapat menyebabkan terjadinya penyerapan kadar amonia oleh biofilm pada media biofilter ketika kontak antara air limbah dan media dan terbentuknya proses denitrifikasi bagi penguraian organik air limbah.

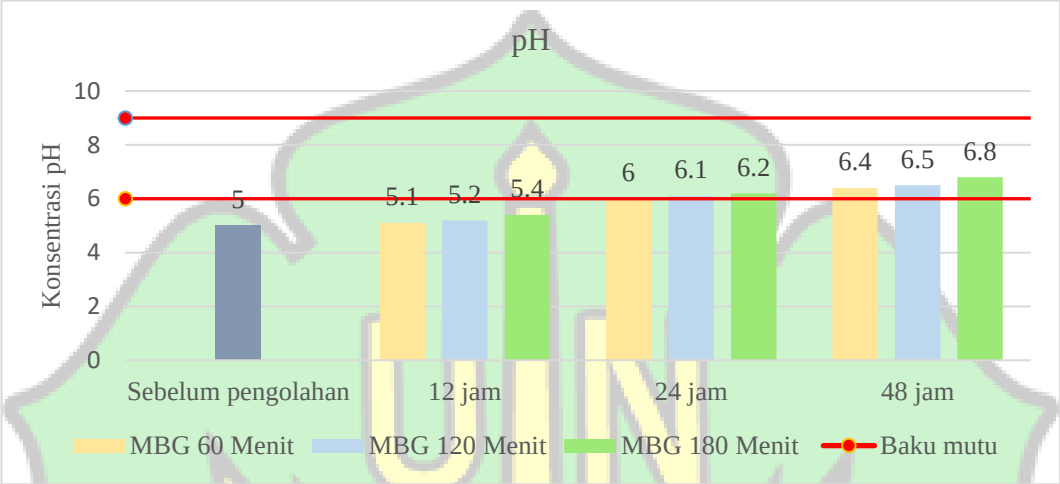
4.1.2 Pengolahan Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dilakukan dengan mengolah kembali air limbah yang telah melalui proses biofilter anaerob lalu dialirkan ke bak *Microbubble Generator*. Proses pengolahan kontinyu menggunakan *Microbubble Generator* selama 3 jam bertujuan untuk mendegradasi air limbah yang tersisa. Selain itu diharapkan juga meningkatkan dan meratakan suplai oksigen sehingga kemampuan penyerapan oksigen menjadi lebih besar. Adapun hasil pengujian masing-masing parameter air limbah dapat dilihat pada uraian berikut.

1. Parameter pH

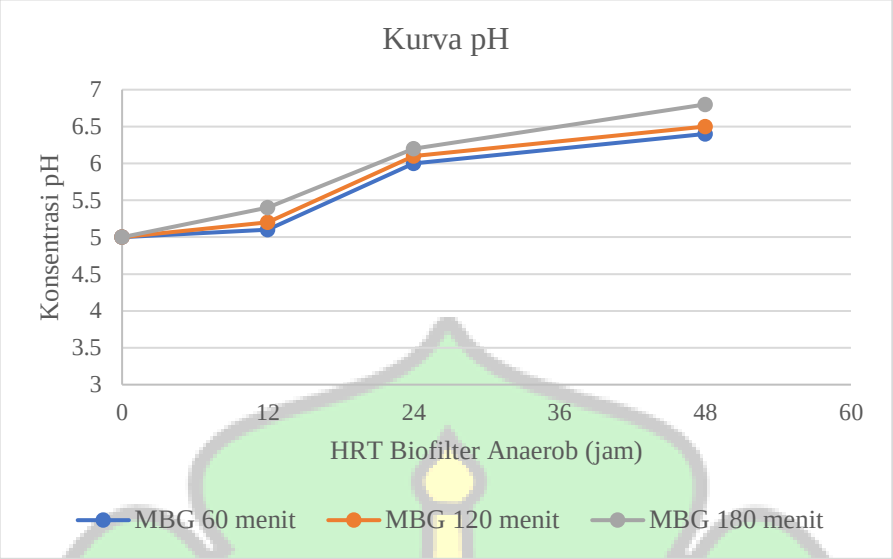
Berdasarkan hasil pengujian yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.17 nilai pH air limbah industri tahu mengalami perubahan terhadap waktu tinggal (HRT). Seperti pada kombinasi biofilter anaerob HRT 12 jam dan *Microbubble Generator*

60 menit pH naik menjadi 5,1. Pada waktu 120 menit kembali meningkat sebesar 5,1 dan pada waktu 180 menit naik sebesar 5,4. Nilai pH pada waktu kombinasi ini tidak memenuhi baku mutu. Hal ini diduga karena pada pengolahan sebelumnya yaitu biofilter anaerob nilai pH masih rendah sementara suplai oksigen dari *Microbubble Generator* konstan sehingga kenaikan pH berlangsung lambat.



Gambar 4.17 Hasil Pengujian pH Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Pada kombinasi biofilter anaerob HRT 24 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit diperoleh pH 6. Pada waktu 120 menit pH kembali naik sebesar 6,1 dan pada waktu 180 menit pH meningkat sebesar 6,2. Kombinasi selanjutnya yaitu pengolahan biofilter anaerob HRT 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit diperoleh pH sebesar 6,4, kemudian di waktu 120 menit pH terus naik sebesar 6,5 dan pada waktu 180 menit pH telah mencapai 6,8. Pada waktu kombinasi ini pH efluen telah memenuhi baku mutu sesuai Permen LH Nomor 5 Tahun 2014.



Gambar 4.18 Kurva Peningkatan pH Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Dari data yang ditunjukkan oleh Gambar 4.18 dapat diketahui bahwa pH pada setiap waktu tinggal (HRT) memiliki kecenderungan yang sama, di mana semakin limbah melewati tahapan proses pengolahan limbah, maka pH akan semakin naik. pH influen lebih rendah dibandingkan dengan pH efluen biofilter anaerob dan mengalami peningkatan setelah diolah dengan *Microbubble Generator*. Pada pengolahan biofilter, peningkatan pH diduga terjadi karena adanya proses hidrolis dan glikolis, kemudian adanya tambahan pengolahan dengan *Microbubble* dapat meningkatkan DO bagi mikroba aerob untuk proses nitrifikasi.

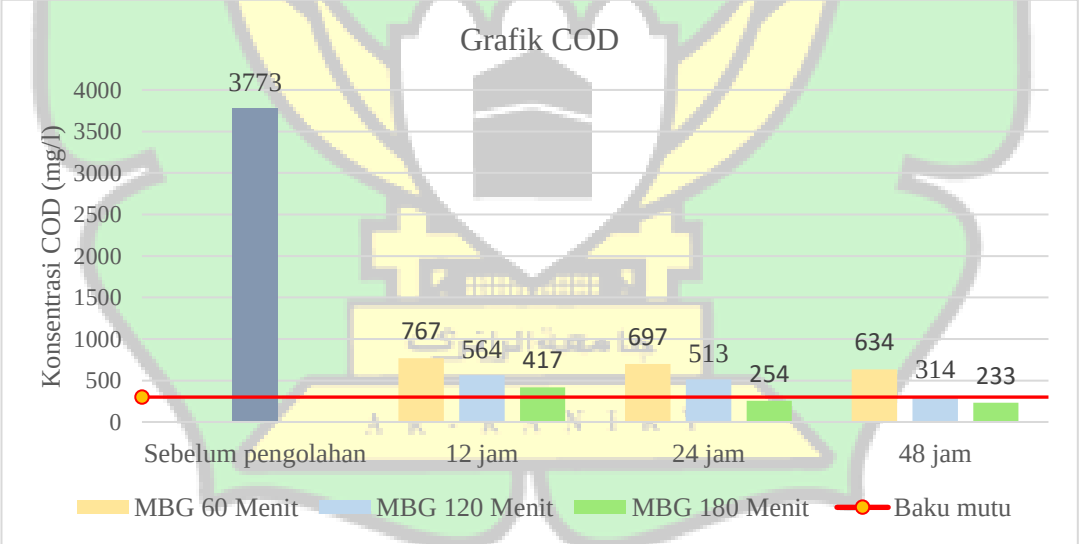
Hal ini didukung oleh pernyataan Said (2005) adanya peningkatan pH efluen aerobik dapat dijelaskan bahwa pada proses aerobik juga terjadi proses degradasi senyawa-senyawa organik yang belum terdegradasi pada proses anaerobik, termasuk adanya proses nitrifikasi yang keseluruhannya berlangsung secara mikrobiologis. Terdapatnya senyawa amonia dengan kondisi pH dan temperatur yang memadai, serta suplai udara yang cukup baik untuk meningkatkan nilai DO, sangat memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi pada zona aerobik.

Hasil analisis linear berganda dengan menggunakan variasi waktu tinggal biofilter anaerob dan MBG terhadap penurunan konsentrasi pH dapat dilihat pada Lampiran 8. Hasil analisis linear berganda menunjukkan bahwa output nilai

signifikan yang diperoleh dari variasi waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* yaitu 0,002<0,05 yang berarti terdapat pengaruh waktu tinggal terhadap pH. Berdasarkan hasil analisis statistik tersebut, dapat disimpulkan bahwa kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* adalah cara yang efektif dalam pengolahan air limbah industri tahu.

2. Parameter COD

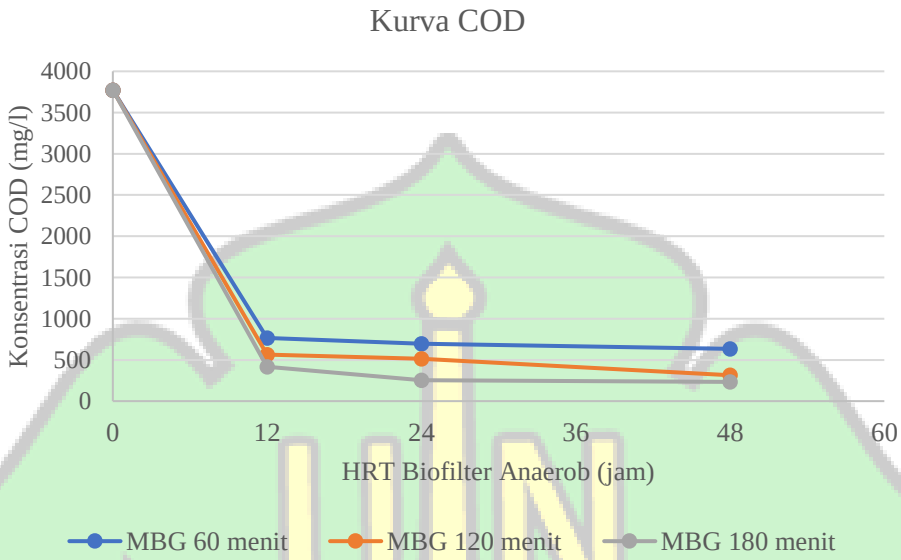
Berdasarkan hasil pengujian yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.19 konsentrasi COD air limbah industri tahu mengalami perubahan terhadap waktu tinggal (HRT). Pada kombinasi biofilter anaerob HRT 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit kadar COD turun sebesar 634 mg/l dengan efektivitas 83,20%. Pada waktu 120 menit kembali mengalami penurunan sebesar 314 mg/l dengan efektivitas 91,68%. Pada waktu 180 menit konsentrasi COD dapat diturunkan menjadi 233 mg/l dengan efektivitas 93,82%, yang mana pada waktu kombinasi ini nilai COD telah memenuhi baku mutu sesuai Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 dan memiliki efektivitas paling tinggi dibanding variasi waktu sebelumnya.



Gambar 4.19 Hasil Pengujian COD Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Berdasarkan penelitian Budhijanto dkk. (2020), performa lebih baik terjadi ketika pengolahan air limbah menggunakan kombinasi AFBR dan MBG.

efektivitas penurunan COD dapat bertambah menjadi 60% dari semula 30% jika hanya menggunakan pengolahan anaerob saja.



Gambar 4.20 Kurva Penurunan COD Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Gambar 4.20 menunjukkan konsentrasi COD semakin menurun seiring dengan lamanya waktu tinggal biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*. Penurunan parameter COD terjadi akibat penguraian mikroorganisme biofilm terhadap zat organik pada limbah dalam kondisi anaerob melalui tahap-tahap dimana zat organik dirubah dari bentuk zat organik sederhana menjadi senyawa asam asetat dan menghasilkan gas metana. Proses *Microbubble Generator* untuk menyuplai oksigen yang diperlukan bakteri aerob untuk proses penguraian air limbah sehingga penguraian senyawa organik oleh bakteri meningkat (Kholif dkk., 2021; Afisna dan Juwana, 2020). Pada bak MBG penurunan disebabkan oleh bakteri yang memanfaatkan oksigen dalam mendegradasi polutan organik yang masih tersisa dari pengolahan biofilter anaerob.

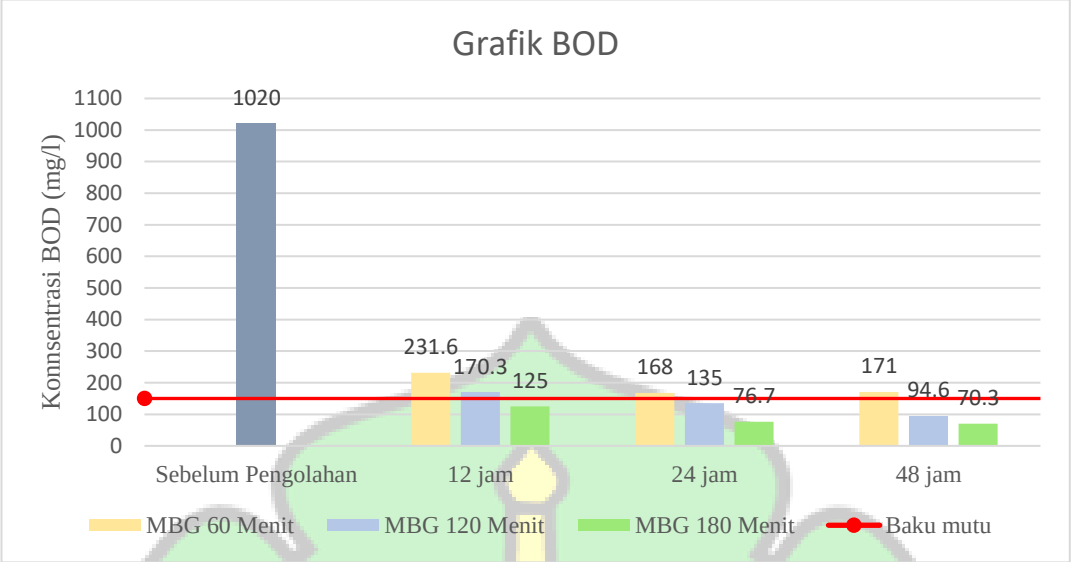
Hal ini diperkuat oleh pernyataan Sato dkk. (2015), proses dekomposisi yang dilakukan mikroorganisme anaerob terhadap zat organik pada limbah melalui beberapa tahapan-tahapan dimana zat organik dirubah dari bentuk zat organik

sederhana menjadi senyawa asam asetat dan menghasilkan gas metana. Proses selanjutnya secara aerob terjadi penambahan suplai oksigen terhadap aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan zat organik yang tersisa dari proses sebelumnya. Lamanya waktu tinggal dapat berpengaruh karena semakin panjang waktu kontak antara air limbah dengan biofilm serta pemberian aerasi maka semakin banyak polutan yang dapat disisihkan.

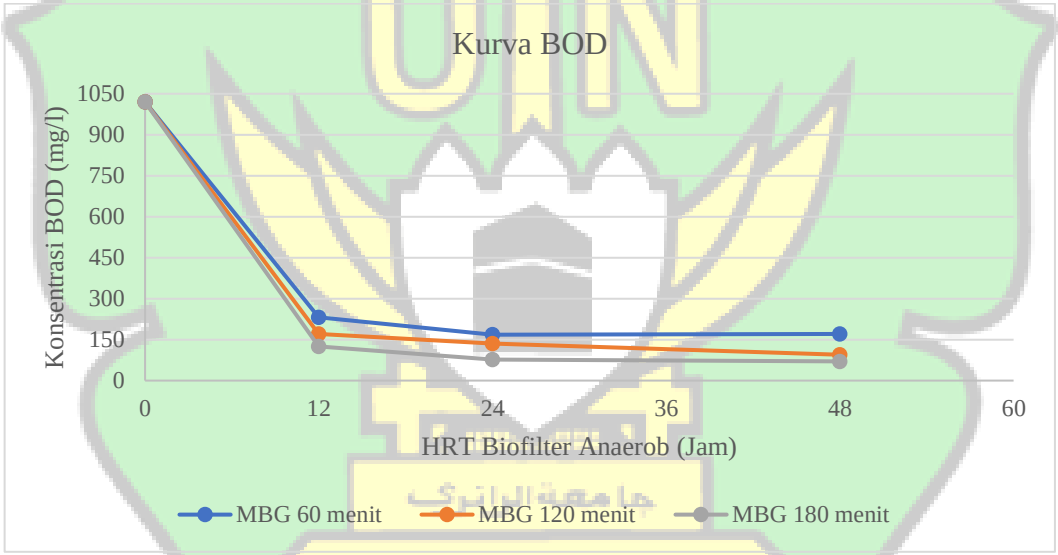
Hasil analisis linear berganda dengan menggunakan variasi waktu tinggal biofilter anaerob dan MBG terhadap penurunan konsentrasi BOD dapat dilihat pada Lampiran 8. Hasil analisis linear berganda menunjukkan bahwa output nilai siginifikan yang diperoleh dari variasi waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generato*r yaitu 0,000<0,05 yang berarti waktu tinggal berpengaruh signifikan terhadap COD. Berdasarkan hasil analisis statistik tersebut, dapat disimpulkan bahwa kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* adalah cara yang efektif dalam pengolahan air limbah industri tahu.

3. Parameter BOD

Berdasarkan Gambar 4.21 konsentrasi BOD air limbah industri tahu mengalami perubahan terhadap waktu tinggal (HRT). Pada kombinasi biofilter anaerob HRT 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit kadar BOD turun sebesar 171 mg/l dengan efektivitas 83,24%. Pada waktu 120 menit kembali mengalami penurunan sebesar 94,6 mg/l dengan efektivitas 90,73%. Pada waktu 180 menit konsentrasi COD dapat diturunkan menjadi 70,3 mg/l dengan efektivitas 93,11%. Pada waktu kombinasi ini nilai COD telah memenuhi baku mutu sesuai Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 dan memiliki efektivitas paling tinggi dibanding variasi waktu sebelumnya.



Gambar 4.21 Hasil Pengujian BOD Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*



Gambar 4.22 Kurva Penurunan BOD Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Berdasarkan Gambar 4.22 menunjukkan bahwa pada waktu perlakuan MBG 60 menit pertumbuhan mikroorganisme pengurai cukup besar tetapi belum mampu mendekomposisi bahan-bahan organik dengan kadar oksigen yang tersedia. Pada waktu 120 menit suplai oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme terpenuhi, sehingga pada waktu 180 menit penurunan berlangsung lambat atau lebih kecil saat menyisihkan kadar polutan yang tersisa pada air limbah (Arsawan dkk., 2007).

Dari percobaan yang telah dilakukan, nilai BOD telah sesuai dengan baku mutu dan efektivitas paling tinggi adalah kombinasi biofilter anaerob HRT 48 jam dan *Microbubble Generator* 180 menit sebesar 93,11%. Penurunan BOD pada kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* diduga karena biofilm pada media *bioball* mendegradasi bahan organik lalu kombinasi dengan *Microbubble Generator* dimana udara akan digunakan oleh mikroba aerob untuk memfermentasi bahan organik menjadi senyawa-senyawa organik yang lebih sederhana sehingga proses dekomposisi akan lebih cepat terjadi.

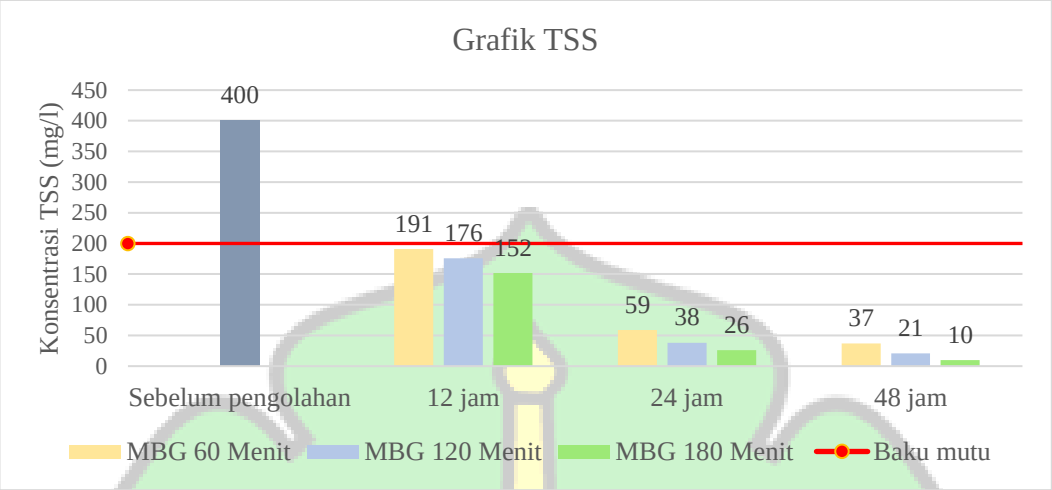
Pramita dan Puspita (2019) dan Afisna dan Juwana (2020) mengungkapkan bahwa penurunan BOD pada biofilter anaerob dikarenakan kemampuan media filter untuk menyerap bahan organik pada air limbah sehingga senyawa-senyawa kompleks akan terurai menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Proses tersebut seperti hidrolisis dan glikolisis, kemudian pada tahap akhir senyawa membentuk metana. Pengolahan dengan *Microbubble Generator* meningkatkan konsentrasi DO dari pengolahan sebelumnya sehingga DO yang cukup dapat mendukung aktifitas mikroorganisme aerob dalam menyisihkan air limbah yang tersisa.

Hasil analisis linear berganda dengan menggunakan variasi waktu tinggal biofilter anaerob dan MBG terhadap penurunan konsentrasi COD dapat dilihat pada Lampiran 8. Hasil analisis linear berganda menunjukkan bahwa output nilai signifikan yang diperoleh dari variasi waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* yaitu 0,00<0,05 yang berarti variasi waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan MBG berpengaruh secara signifikan terhadap parameter BOD. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* adalah cara yang efektif dalam pengolahan air limbah industri tahu.

4. Parameter TSS

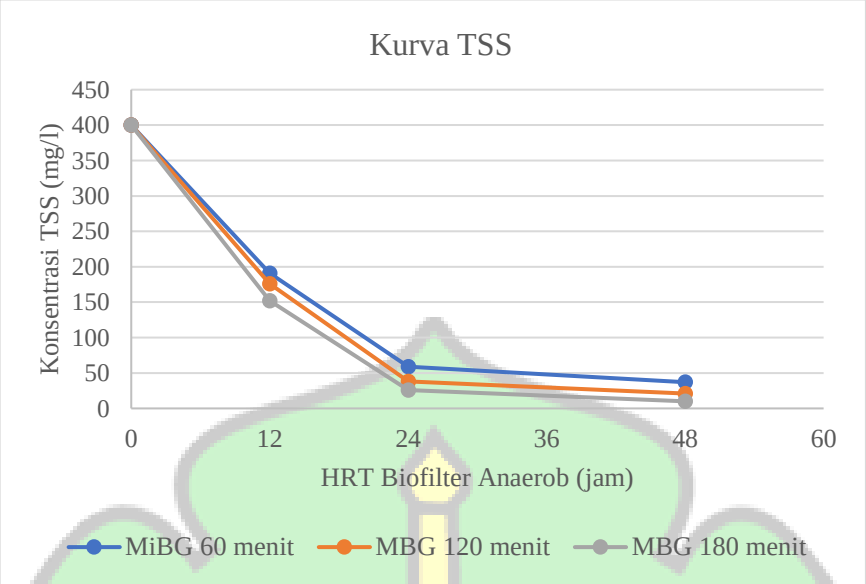
Proses penurunan konsentrasi TSS dengan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* menghasilkan penurunan yang sangat baik. Adanya penambahan proses secara aerob, menambah peningkatan nilai efektivitas

penurunan TSS. Hasil analisa penurunan konsentrasi TSS selama percobaan dapat dilihat seperti pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Hasil Pengujian TSS Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Pada Kombinasi biofilter anaerob HRT 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit, diperoleh konsentrasi TSS sebesar 37 mg/l dengan efektivitas 90,75%. Pada waktu 120 menit konsentrasi TSS mengalami penurunan menjadi 21 mg/l dengan efektivtas 94,75%. Pada waktu 180 menit konsentrasi TSS dapat diturunkan sebesar 10 mg/l dengan efektivitas 97,5% yang mana pada waktu kombinasi ini merupakan efektivitas pengolahan yang paling tinggi dari variasi waktu tinggal (HRT) sebelumnya. Pengolahan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* mampu menurunkan konsentrasi TSS sehingga memenuhi baku mutu sesuai Permen LH Nomor 5 Tahun 2014.



Gambar 4.24 Kurva Penurunan TSS Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Kurva pada Gambar 4.24 menunjukkan semakin lamanya waktu kombinasi maka penurunan TSS semakin tinggi. Penurunan TSS pada biofilter anaerob diduga terjadi karena biofilm yang tumbuh pada media *bioball* dan kerikil berperan sebagai pengurai zat organik tersuspensi di dalam air limbah industri tahu saat melewati filter tersebut. Adanya *microbubble* pada pengolahan berikutnya memberikan oksigen kedalam air limbah industri tahu maka dapat menghancurkan endapan-endapan yang tergumpal sehingga akan mempermudah penyerapan oksigen dan bakteri-bakteri aerob yang berfungsi sebagai pengurai dapat tumbuh dengan baik Proses tersebut menyebabkan turunnya kadar TSS.

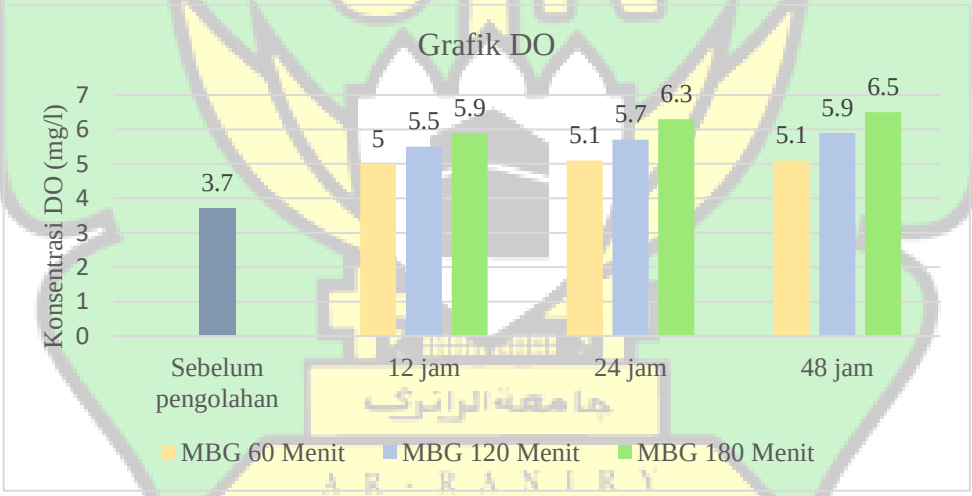
Menurut Timpua dan Pianaung (2019) dan Sisnayati dkk. (2021) lamanya waktu tinggal dapat berpengaruh karena semakin panjang waktu kontak antara air limbah dengan biofilm serta pemberian suplai udara pada proses aerob maka semakin tinggi konsentrasi TSS yang dapat disisihkan. Pada pengolahan biofilter anaerob air limbah akan melewati celah-celah biofilm sehingga partikel-partikel air limbah tidak dapat terlepas. Proses diikuti *microbuubble* yang menyuplai udara sehingga dapat memisahkan gumpalan endapan yang terdapat pada air limbah.

Hasil analisis linear berganda dengan menggunakan variasi waktu tinggal biofilter anaerob dan MBG terhadap penurunan konsentrasi TSS dapat dilihat pada

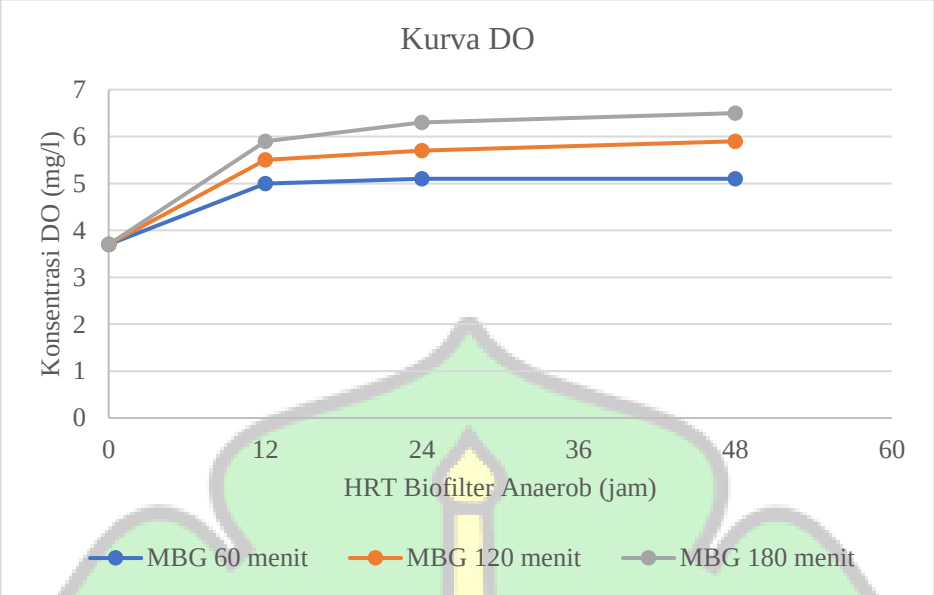
Lampiran 8. Hasil analisis linear berganda menunjukkan bahwa output nilai siginifikan yang diperoleh dari variasi waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* yaitu 0,03<0,05 yang berarti waktu tinggal berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi TSS. Berdasarkan hasil analisis statistik tersebut, dapat disimpulkan bahwa kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* adalah cara yang efektif dalam pengolahan air limbah industri tahu.

5. Parameter DO

Berdasarkan hasil percobaan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*, konsentrasi DO air limbah industri tahu mengalami perubahan terhadap waktu. Hasil analisa selama percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.25. Kombinasi biofilter anaerob 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit mampu menaikkan nilai DO menjadi 5,1 mg/l kemudian pada waktu 120 menit konsentrasi DO kembali naik sebesar 5,9 mg/l dan pada waktu 180 menit nilai DO mencapai 6,5 mg/l. Hasil ini lebih tinggi dibanding variasi waktu sebelumnya.



Gambar 4.25 Hasil Pengujian DO Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*



Gambar 4.26 Kurva Peningkatan DO Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Berdasarkan kurva pada Gambar 4.26 konsentrasi DO terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu tinggal biofilter dan *Microbubble Generator*. Konsentrasi DO efluen biofilter anaerob lebih rendah kemudian meningkat setelah melalui pengolahan dengan *Microbubble Generator*. Peningkatan konsentrasi DO diduga karena kadar oksigen terus bertambah ketika *Microbubble Generator* tetap dihidupkan selama 3 jam. Peningkatan nilai DO menyebabkan bertambahnya jumlah bakteri untuk melakukan aktivitas penguraian air limbah. Suplai oksigen yang semakin bertambah akan mempercepat proses bakteri aerob untuk melakukan dekomposisi air limbah.

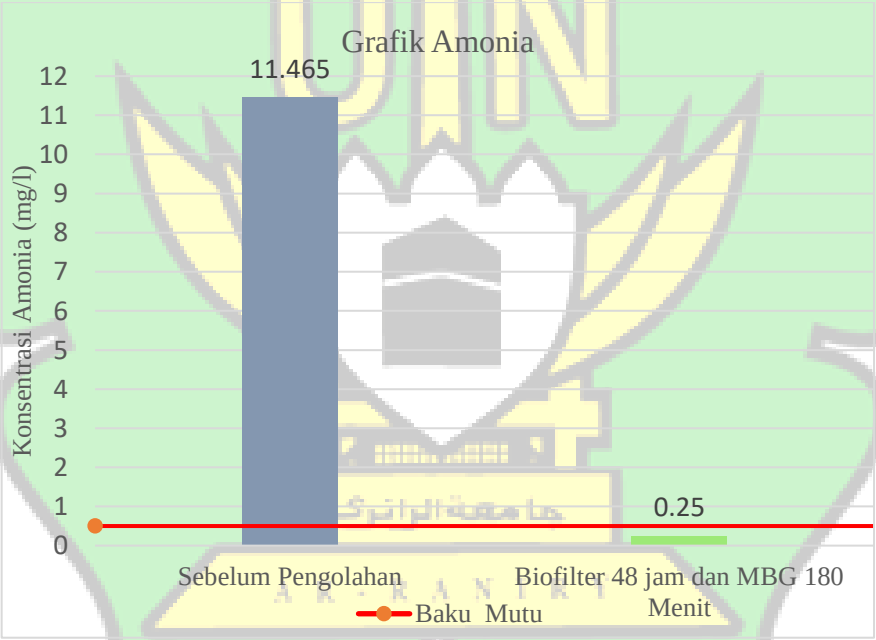
Afisna dan Juwana (2020) menyatakan bahwa *Microbubble Generator* dapat memberikan suplai udara yang cukup bagi mikroorganisme aerob melakukan aktifitasnya. Ukuran gelembung yang dihasilkan berdiameter 200 µm sehingga dapat memperlambat kecepatan naik gelembung. Pada proses ini udara akan tinggal lebih lama dalam air limbah menyebabkan peningkatan DO dan bertambahnya mikroorganisme aerob untuk mendekomposisi senyawa-senyawa organik.

Hasil analisis linear berganda dengan menggunakan variasi waktu tinggal biofilter anaerob dan MBG terhadap konsentrasi DO dapat dilihat pada Lampiran

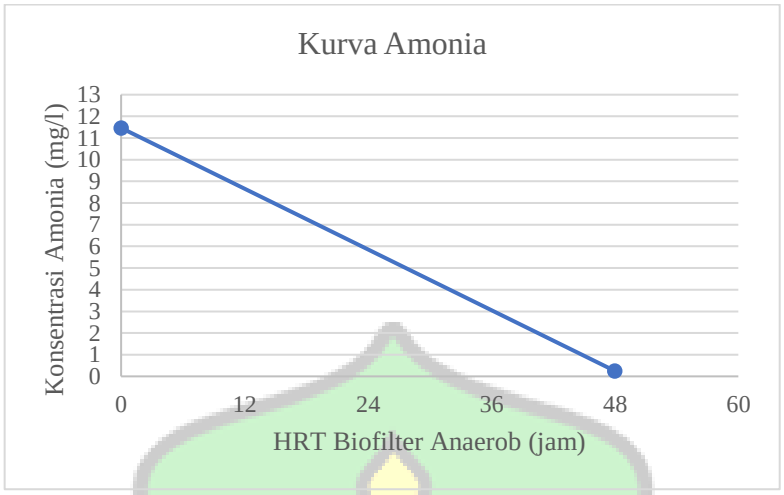
8. Hasil analisis linear berganda menunjukkan bahwa output nilai siginifikan yang diperoleh dari variasi waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* yaitu 0,000<0,05 yang berarti adanya pengarih variasi waktu tinggal terhadap konsentrasi DO. Berdasarkan hasil analisis statistik tersebut, dapat disimpulkan bahwa kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* adalah cara yang efektif dalam pengolahan air limbah industri tahu.

6. Parameter Amonia

Proses penurunan konsentrasi amonia dengan kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* menghasilkan penurunan yang sangat baik. Adanya penambahan proses secara aerob, menambah peningkatan nilai efektivitas penurunan amonia. Hasil analisa penurunan konsentrasi amonia selama percobaan dapat dilihat seperti pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Hasil Pengujian Amonia Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*



Gambar 4.28 Kurva Penurunan Amonia Pada Kombinasi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Berdasarkan Gambar 4.28 pengolahan biofilter anaerob selama 48 jam dan *Microbubble Generator* 180 menit mampu menurunkan konsentrasi amonia dari awalnya 11,465 mg/l menjadi 0,25 mg/l dengan efektivitas 97,82%. Hasil yang diperoleh telah sesuai dengan PP No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI. Penurunan konsentrasi amonia air limbah industri tahu menggunakan biofilter anaerob diduga terjadi karena pada lapisan biofilm pada *bioball* semakin lama akan semakin tebal sehingga menghalangi oksigen masuk ke dalam lapisan biofilm yang mengakibatkan terbentuknya zona anaerob. Adanya waktu tinggal lebih lama mempengaruhi penurunan konsentrasi amonia karena lebih lama waktu bagi biofilm untuk mendegradasi amonia pada air limbah. Menurut Al Kholif dkk. (2022) pada zona anaerob tersebut, terjadi proses perubahan senyawa nitrat menjadi senyawa nitrit yang kemudian dilepaskan sebagai gas nitrogen, proses ini disebut proses denitrifikasi. Waktu tinggal lebih lama dapat menghasilkan kinerja yang lebih optimal sehingga dapat menyisihkan amonia.

Air limbah dari biofilter anaerob selanjutnya diolah dengan *Microbubble Generator* selama 180 menit. Pada proses ini terjadi nitrifikasi dimana senyawa amonia akan berubah menjadi senyawa nitrit. Selanjutnya nitrit yang terbentuk dioksidasi menjadi nitrat. Penambahan waktu aerasi yang semakin lama pada air limbah industri tahu didapatkan hasil semakin berkurang kadar amonia dalam air

limbah industri tahu, hal ini dikarenakan semakin lama waktu kontak antara udara dengan air limbah industri tahu, maka kebutuhan oksigen semakin tercukupi dan proses nitrifikasi dapat berlangsung secara optimal, yang mengakibatkan semakin banyak gas NO_3 yang menguap, sehingga kadar amonia berkurang. Menurut Suriasni dkk. (2023) proses nitrifikasi yang efektif bergantung pada ketersediaan oksigen terlarut yang cukup yang diperoleh dari aerator dengan ukuran gelembung kecil. Gelembung dengan ukuran lebih kecil mempunyai perpindahan massa oksigen yang lebih tinggi. Semakin lama waktu tinggal air limbah dengan udara maka akan membantu proses nitrifikasi sehingga dapat mengurangi konsentrasi amonia.

4.2 Pengaruh Waktu Tinggal (HRT) Terhadap Pengolahan

4.2.1 Pengolahan Biofilter Anaerob

Kualitas air limbah industri tahu mengalami perubahan setelah diolah dengan teknologi biofilter anaerob. Hasil pengujian efluen biofilter anaerob dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berdasarkan data tersebut, konsentrasi pH sebelum dilakukannya pengolahan diperoleh sebesar 5, kemudian pada HRT 12 jam meningkat menjadi 5,1. Peningkatan pH kembali terjadi pada HRT 24 jam sebesar 6, lalu pada HRT 48 jam diperoleh konsentrasi pH sebesar 6,1. Hasil ini menunjukkan variasi waktu tinggal (HRT) memberikan pengaruh pada pH, dimana waktu tinggal lebih lama menyebabkan pH semakin meningkat. Menurut Widyaningrum dkk. (2020) peningkatan nilai pH pada biofilter anaerob juga dapat terjadi karena adanya proses glikolisis yaitu pemecahan karbohidrat menjadi glukosa lalu diubah menjadi asam laktat dengan bantuan enzim sebelumnya. Hal inilah yang menyebabkan pH terus meningkat menuju kisaran pH pertumbuhan bakteri anaerob.

Hasil pengujian COD efluen biofilter anaerob dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi awal COD sebesar 3773 mg/l dapat menurun menjadi 1532 mg/l pada HRT 12 jam. Pada HRT 24 jam penurunan mencapai 1219 mg/l dan pada HRT 48 jam diperoleh hasil yang paling kecil yaitu sebesar 725 mg/l. Menurut data tersebut, waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob berpengaruh terhadap konsentrasi COD, dimana semakin lama waktu tinggal (HRT) maka semakin besar penurunan konsentrasi COD yang diperoleh. Herlina

dkk. (2020) menyatakan bahwa penurunan konsentrasi COD dapat terjadi karena waktu tinggal air limbah di dalam biofilter yang lebih lama, sehingga lebih banyak zat-zat organik yang diuraikan oleh mikroorganisme.

Hasil pengujian BOD efluen biofilter anaerob dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi BOD sebelum dilakukannya pengolahan diperoleh sebesar 1020 mg/l kemudian pada HRT 12 jam turun mencapai 421 mg/l. Penurunan pada HRT 24 jam diperoleh sebesar 198 mg/l dan pada HRT 48 jam diperoleh 219 mg/l. Hasil ini menunjukkan variasi waktu tinggal (HRT) berpengaruh terhadap BOD, dimana waktu tinggal lebih lama didapatkan penurunan konsentrasi BOD yang lebih besar. Ratnawati dan Kholif (2018) mengungkapkan bahwa penurunan kadar BOD di awal penelitian berada pada fase aktif, yaitu pertumbuhan mikroorganisme dan ketersediaan bahan organik tinggi sehingga aktifitas mikroorganisme untuk menurunkan bahan organik turut meningkat.

Hasil pengujian TSS efluen biofilter anaerob dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi TSS influen sebesar 400 mg/l kemudian pada HRT 12 jam dapat turun mencapai 214 mg/l. Pada HRT 24 jam konsentrasi TSS kembali menurun mencapai 75 mg/l. Lalu pada HRT 48 jam diperoleh penurunan paling tinggi sebesar 43 mg/l. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu tinggal (HRT) berpengaruh terhadap TSS, dimana semakin lama waktu tinggal maka semakin besar konsentrasi TSS yang dapat disisihkan. Menurut Said (2005) penurunan kadar TSS dipengaruhi waktu tinggal maka akan terjadi kontak dengan mikroorganisme dalam biofilter menjadi lebih optimal. Aliran air limbah yang melewati celah-celah media menyebabkan kontak dengan media yang diatasnya telah terlapisi biofilm dan tidak dapat lepas ke dalam efluen.

Hasil pengujian DO dan amonia efluen biofilter anaerob dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi DO influen diperoleh sebsar 3,7 mg/l. kemudian pada HRT 12 jam terjadi peningkatan mencapai 4,5 mg/l. Pada HRT 24 jam terjadi peningkatan sebesar 4,1 mg/l nilai ini lebih rendah dari hasil pengujian HRT sebelumnya. Pada HRT 48 jam diperoleh konsentrasi DO sebesar 4 mg/l, nilai ini lebih tinggi dari hasil pengujian DO influen. Selanjutnya

hasil pengujian influen amonia diperoleh sebesar 11,465 mg/l, pada HRT 48 jam yang dipilih sebagai HRT paling efektif diperoleh konsentrasi amonia turun mencapai 1,37 mg/l.

4.2.2 Pengolahan Kombinasi Teknologi Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator*

Kualitas air limbah industri tahu mengalami perubahan setelah diolah dengan kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*. Hasil pengujian efluen biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi awal pH sebelum dilakukannya pengolahan sebesar 5. Lalu pada HRT 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit terjadi kenaikan sebesar 6,4, kemudian pada waktu 120 menit kembali meningkat sebesar 6,5. Pada waktu 180 menit konsentrasi pH meningkat mencapai 6,8 yang mana nilai ini merupakan paling tinggi dari variasi waktu lainnya. Hasil pengujian ini menunjukkan waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* berpengaruh terhadap nilai pH, dimana semakin lama waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* maka menyebabkan nilai pH semakin meningkat.

Menurut Said (2005) adanya peningkatan pH efluen aerobik dapat dijelaskan bahwa pada proses aerobik juga terjadi proses degradasi senyawa-senyawa organik yang belum terdegradasi pada proses anaerobik, termasuk adanya proses nitrifikasi yang keseluruhannya berlangsung secara mikrobiologis. Terdapatnya senyawa amonia dengan kondisi pH dan temperatur yang memadai, serta suplai udara yang cukup baik untuk meningkatkan nilai DO, sangat memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi pada zona aerobik.

Hasil pengujian COD efluen kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi awal COD sebelum dilakukannya pengolahan sebesar 3773 mg/l. Lalu pada kombinasi biofilter anaerob HRT 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit kadar COD turun sebesar 634 mg/l. Pada waktu 120 menit kembali mengalami penurunan sebesar 314 mg/l. Pada waktu 180 menit konsentrasi COD dapat diturunkan menjadi 233 mg/l. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu tinggal

(HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* berpengaruh terhadap nilai COD, dimana semakin lama waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* maka semakin tinggi penurunan konsentrasi COD yang didapatkan. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Sato dkk. (2015), lamanya waktu tinggal dapat berpengaruh karena semakin panjang waktu kontak antara air limbah dengan biofilm serta pemberian aerasi maka semakin banyak polutan yang dapat disisihkan.

Hasil pengujian BOD efluen kombinasi teknologi biofilter *dan Microbubble Generator* dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi awal BOD sebelum dilakukannya pengolahan sebesar 1020 mg/l. Pada kombinasi biofilter anaerob HRT 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit kadar BOD turun sebesar 171 mg/l. Pada waktu 120 menit kembali mengalami penurunan sebesar 94,6 mg/l. Pada waktu 180 menit konsentrasi BOD dapat diturunkan mencapai 70,3 mg/l. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* berpengaruh terhadap konsentrasi BOD, dimana semakin lama waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* maka semakin tinggi penurunan BOD yang didapatkan. Pramita dan Puspita (2019) dan Afisna dan Juwana (2020) mengungkapkan bahwa penurunan BOD pada biofilter anaerob dikarenakan proses hidrolisis dan glikolisis yang merubah bahan-bahan organik menjadi lebih sederhana, kemudian pada tahap akhir senyawa membentuk metana. Pengolahan dengan *Microbubble Generator* meningkatkan konsentrasi DO sehingga dapat mendukung aktifitas mikroorganisme aerob dalam menyisihkan air limbah yang tersisa.

Hasil pengujian TSS efluen kombinasi teknologi biofilter dan *Microbubble Generator* dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi awal TSS sebelum dilakukannya pengolahan sebesar 400 mg/l. setelah diolah dengan kombinasi biofilter anaerob HRT 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit, diperoleh konsentrasi TSS sebesar 37 mg/l. Pada waktu 120 menit konsentrasi TSS mengalami penurunan menjadi 21 mg/l, kemudian kembali menurun mencapai 10 mg/l pada waktu 180 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*

berpengaruh terhadap konsentrasi TSS, dimana semakin lama waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* maka semakin tinggi penurunan TSS yang didapatkan. Menurut Timpua dan Pianaung (2019) dan Sisnayati dkk. (2021) lamanya waktu tinggal dapat berpengaruh karena semakin panjang waktu kontak antara air limbah dengan biofilm serta pemberian suplai udara pada proses aerob maka semakin tinggi konsentrasi TSS yang dapat disisihkan.

Hasil pengujian DO efluen kombinasi teknologi biofilter dan *Microbubble Generator* dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi awal DO sebelum dilakukannya pengolahan sebesar 3,7 mg/l. Setelah dilakukannya pengolahan dengan kombinasi biofilter anaerob 48 jam dan *Microbubble Generator* 60 menit mampu menaikkan nilai DO menjadi 5,1 mg/l. Lalu pada waktu 120 menit konsentrasi DO kembali naik sebesar 5,9 mg/l dan pada waktu 180 menit nilai DO mencapai 6,5 mg/l. Hasil pengujian ini menunjukkan waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* berpengaruh terhadap nilai DO, dimana semakin lama waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* maka menyebabkan nilai DO semakin meningkat.

Hasil pengujian amonia efluen kombinasi teknologi biofilter dan *Microbubble Generator* dapat dilihat pada Tabel 4.3. Pengolahan biofilter anaerob selama 48 jam dan *Microbubble Generator* 180 menit mampu menurunkan konsentrasi amonia dari awalnya 11,465 mg/l menjadi 0,25 mg/l. Menurut Afisna dan Juwana (2020) menyatakan bahwa *Microbubble Generator* dapat memberikan suplai udara yang cukup bagi mikroorganisme aerob melakukan aktifitasnya. Menurut Suriasni dkk. (2023) *microbubble* mempunyai perpindahan massa oksigen yang lebih tinggi. Semakin lama waktu tinggal air limbah dengan udara maka akan membantu proses nitrifikasi sehingga dapat mengurangi konsentrasi amonia. Dapat disimpulkan bahwa kombinasi teknologi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* adalah cara yang efektif dalam pengolahan air limbah industri tahu.

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka didapatkan beberapa kesimpulan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Efektivitas tertinggi biofilter anaerob diperoleh pada HRT 48 jam. Penurunan COD mencapai 80,78%, BOD mencapai 78,53%, TSS mencapai 89,25%, amonia mencapai 88,05%, dan meningkatkan pH dari 5,0 menjadi 6,2. Penggunaan kombinasi efektif dalam pengolahan air limbah industri tahu pada HRT biofilter anaerob 48 jam dan *Microbubble Generator* 180 menit. Penurunan COD mencapai 93,82%, BOD mencapai 93,11%, TSS mencapai 97,5%, amonia mencapai 97,82%, meningkatkan pH dari 5,0 menjadi 6,8, dan meningkatkan DO dari 3,7 mg/l menjadi 6,5 mg/l.
2. Waktu tinggal (HRT) biofilter anaerob dan kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator* mempengaruhi pengolahan air limbah industri tahu. Semakin lama waktu tinggal (HRT) maka semakin tinggi efektivitas pengolahan untuk parameter pH, COD, BOD, TSS, dan amonia.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh, penulis mengajukan saran-saran sebagai berikut:

1. Perlu penelitian lebih lanjut terkait biofilter anaerob dengan variasi waktu tinggal (HRT) dan media lain untuk melihat perbandingan efektivitas pengolahannya.
2. Proses *seeding* biofilter anaerob perlu dilakukan lebih lama dan perlunya tambahan nutrisi untuk mendukung pertumbuhan mikoorganisme sehingga semakin banyak biofilm dapat tumbuh di media. Dengan demikian diperoleh hasil pengolahan yang optimal.

3. Penelitian selanjutnya disarankan memvariasikan berbagai faktor yang meningkatkan efektivitas *Microbubble Generator* dalam pengolahan air limbah industri tahu, misalnya menambah jumlah *Microbubble Generator* pada reaktor dan modifikasi reaktor sehingga pengolahan lebih optimal.
4. Perlu dilakukan penelitian dengan waktu pengamatan lebih lama agar didapatkan sampel yang lebih banyak sehingga bisa dilihat adanya peningkatan maupun penurunan efektivitas kombinasi biofilter anaerob dan *Microbubble Generator*.

DAFTAR PUSTAKA

Abdel-shafy, H. I., Mansour, M. S. M., & Al-sulaiman, A. M. (2019). Anaerobic/aerobic integration via UASB/enhanced aeration for greywater. *Journal Water Practice and Technology*, *00*(0), 1–14. https://doi.org/10.2166/wpt.2019.065

Afisna, L. P., & Juwana, W. E. (2020). Aplikasi Microbubble Generator Porous-Venturi Pada Pengolahan Air Limbah Buatan. *Kurvatek*, *5*(1), 11–18. https://doi.org/10.33579/krvtk.v5i1.1818

Al Kholif, M., Rohmah, M., Nurhayati, I., Adi Walujo, D., & Dian Majid, D. (2022). Penurunan Beban Pencemar Rumah Potong Hewan (RPH) Menggunakan Sistem Biofilter Anaerob. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, *14*(2), 100–113. https://journal.uii.ac.id/JSTL/article/view/23979

Anggarini, S., Hidayat, N., Sunyoto, N. M. S., & Wulandari, P. S. (2015). Optimization of Hydraulic Retention Time (HRT) and Inoculums Addition in Wastewater Treatment Using Anaerobic Digestion System. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *3*, 95–101. https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.020

Anisa, A. (2017). Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Proses Aerobik-Anoksik untuk Menurunkan Nitrogen. *Jurnal Teknik ITS*, *6*(2), 361–366.

Arsawan, M., Suyasa, I. W., & Suarna, W. (2007). Pemanfaatan Metode Aerasi Dalam Pengolahan Limbah Berminyak. *Journal Ecotrophic*, *2*(2), 1–9.

Astuti, A. D., & Ayu, D. I. (2019). *Treatment of Tofu Industry Wastewater using Bioreactor Anaerobic-Aerobic and Bioball as Media with Variation of Hidraulic Retention Time*. *19*(1), 18–25.

Aurora, N., Br, M., Najwa, A., Hisyam, M., Ulhaq, D., Octaviani, M., Adnan, D., Suryawan, I. W. K., & Zahra, N. L. (2021). *Identification Soybean Processed Waste Environmental Impact and Management Alternatives*. *5*(2).

Azteria, V., Kusumaningtiar, D. A., Irfandi, A., Veronika, E., & Nitami, M. (2021). Aktualisasi Diet Limbah (Sampah) Padat Veza. *Jurnal Abdidas*, *2*(4), 783–

789.

Badan Pusat Statistik Kota Banda Aceh.(2021). *Kota Banda Aceh Dalam Angka 2021*. Banda Aceh: BPS Kota Banda Aceh

Badrah, S., Aidina, R. P., & Anwar, A. (2021). Pemanfaatan Effective Microorganisms 4 (EM4) Menggunakan Media Biofilm untuk Menurunkan Amonia dan Fosfat pada Limbah Cair Rumah Sakit The Utilization of Effective Microorganisms 4 (EM4) Using Biofilm Media to Reduce Amonia and Phosphate in Waste Wate. *Faletehan Health Journal*, *8*(2), 102–108.

Baihaqi, R. A., Prabahandari, A. K., Hariyono, Y., & Pratiwi, N. I. (2022). Application of anaerobic and aerobic bioreactors in detergent wastewater treatment : A review. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1098/1/012034

Bhattacharya, R., & Mazumder, D. (2021). Simultaneous nitrification and denitrification in moving bed bioreactor and other biological systems. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, *44*(4), 635–652. https://doi.org/10.1007/s00449-020-02475-6

Budhijanto, W., Al Ayyubi, S., & Abdul Latif, K. (2020). Evaluasi Rangkaian Anaerobic Fluidized Bed Reactor (AFBR) dan Micro Bubble Generator (MBG) untuk Pengolahan Air Lindi Sampah. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, *18*(1), 1. https://doi.org/10.5614/jtki.2019.18.1.1

Butler, J. B., Budiarsa Suyasa, I. W., & Negara, I. M. S. (2022). Penurunan Cod, Bod, Tss, Amonia Dan Koliform Air Limbah Rumah Potong Hewan Dengan Biofilter Aerobic Fixed-Bed Reactor Dan Klorinasi. *Jurnal Kimia*, *16*(2), 174. https://doi.org/10.24843/jchem.2022.v16.i02.p07

Diny, D., Widiatmono, B., & Wirosudarmo, R. (2015). *Pengaruh Penggunaan Media Penyangga Yang Berbeda dan Waktu Tinggal Terhadap Penurunan Kadar BOD5 dan COD Limbah Cair Tahu dengan Metode Biofilm* (pp. 1–7).

Faisal, M., Machdar, I., Mulana, F., & Daimon, H. (2014). Potential Renewable Energy from Tofu Processing Waste in Banda Aceh City, Indonesia. *Asian Journal Of Chemistry*, *26*(19), 6601–6604.

Fathia, N., & Kartohardjono, S. (2020). Effects of trans-membrane-pressure on tofu

industry wastewater treatment through ultrafiltration and reverse osmosis processes. *AIP Conference Proceedings*, *2230*, 030009-1-030009–6.

Fisma, I., & Bhernama, B. (2020). Analisis Air Limbah Yang Masuk Pada Waste Water Treatment Plant. *Jurnal Amina*, *2*(2), 50–58.

Hadiwidodo, M., Oktiawan, W., Primadani, A. R., Parasmita, N., & Gunawan, I. (2012). Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Kombinasi Biofilter Anaerob-Aerob Dan Wetland. *Jurnal Presipitasi*, *9*(2), 84–95.

Harahap, J., Gunawan, T., Suprayogi, S., & Widyaastuti, M. (2020). A review : Domestic wastewater management system in Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, *739*(012031). https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012031

Herlina, N., Khairani, A., & Shiddiq, S. (2020). Study of anaerobic biofilter tofu wastewater treatment with bioball media and phytoremediation by kiambang (salviniamolesta). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *801*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012050

Herlina, N., Turmuzi Lubis, M., Husin, A., & Putri, I. (2019). Studies on decreasing Chemical Oxygen Demand (COD) on artificial laundry wastewater using anaerobic-aerobic biofilter dipped with bio ball media. *MATEC Web of Conferences*, *276*, 06015. https://doi.org/10.1051/matecconf/201927606015

Ibrahim, E., Wahyu, A., Hasan, A. A., Daud, A., Syam, A., & Bintara, A. (2020). BOD Decreasing of Liquid Waste Tofu Using a Constructed Wetland System. *International Journal of Science and Healthcare Research (Www.Ijshr.Com)*, *5*(March), 165. www.ijshr.com

Irawan, C., Khotimah, H., Nata, I. F., & D, P. M. (2020). High Adsorption Capacity of Activated Carbon from Rubber Seed Shells on Tofu (Soybean Whey) Wastewater High Adsorption Capacity of Activated Carbon from Rubber Seed Shells on Tofu (Soybean Whey) Wastewater. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, *499*, 1–7. https://doi.org/10.1088/1755-1315/499/1/012009

Kamaruddin, I., Florensia, W., Palilingan, R. A., & Salomon, G. S. (2023). *Metodologi Penenelitian Kualitatif dan Kuantitatif* (N. Sulung (ed.)). PT

Global Eksekutif Teknologi.

Kementerian Lingkungan Hidup. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

Kholif, M. Al, Alfiah, F., & Sutrisno, J. (2021). Penggunaan Biofilter Anaerob Untuk Menurunkan Kadar Pencemar Organik Pada Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Teknik Lingkungan*, *7*(2), 149–158.

Kurniawan, R., Asril, & Endang. (2021). Analisis Dampak Lingkungan Dan Kesehatan Pada Area Terdampak Limbah Cair Tahu Di Home Industry Tahu X Di Kelurahan Pangkalan Kerinci Barat Tahun 2020. *Journal Public Health Media*, *1*(2), 225–240.

Loh, Z. Z., Zaidi, N. S., Syafiuddin, A., Yong, E. L., Boopathy, R., Kueh, A. B. H., & Prastyo, D. D. (2021). Shifting from conventional to organic filter media in wastewater biofiltration treatment: A review. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(18). https://doi.org/10.3390/app11188650

Mantong, J. O., Argo, D., & Susilo, B. (2018). Pembuatan Arang Aktif Dari Limbah Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Pada Limbah Cair Tahu Making Active Charcoal From Corn Cob Waste As Adsorbent At Liquid Waste Tofu. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, *6*(2), 100–106.

Marhayuni, Y., & Faizi, M. N. (2022). Pembuatan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Bersistem ABR (Aerobic Baffled Reactor) untuk Mengatasi Limbah Domestik sebagai Pengamalan Q.S. Al A'Raf Ayat 56. *Prosiding Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam Dan Sains*, *4*, 34–38.

Mujiharjoa, S., & Sari, Y. N. (2019). Implementation of Fine Sand ' s Capillary Force to Filter Polluted Water : A Study on Change of Overflow Media Height to the Debit and Quality of Filtered Tofu Liquid Waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *347*, 1–7. https://doi.org/10.1088/1755-1315/347/1/012107

Munfaridah, A., Saraswati, S. P., & Mahathir, J. S. (2022). Pengaruh Sistem Aerasi Intermittent terhadap Removal Organik dan Nitrogen pada Pengolahan Air Limbah Domestik Kamar Mandi Umum. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *20*(1), 102–114. https://doi.org/10.14710/jil.20.1.102-114

Nair, S. S., Cuenca, R. P., Stuubs, T., & Davis, S. J. (2022). Contemporary application of microbubble technology in water treatment. *Journal Water Science and Technology*, *86*(9), 2138–2156. https://doi.org/10.2166/wst.2022.328

Ojha, N., Karn, R., Abbas, S., & Bhugra, S. (2021). Bioremediation of Industrial Wastewater: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *796*(1), 1–30. https://doi.org/10.1088/1755-1315/796/1/012012

Pagoray, H., Sulistyawati, S., & Fitriyani, F. (2021). Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, *9*(1), 53–65. https://doi.org/10.36084/jpt..v9i1.312

Pambudi, Y. S., Sudaryantiningsih, C., & Geraldita, G. (2021). Analisis Karakteristik Air Limbah Industri Tahu Dan Alternatif Proses Pengolahannya Berdasarkan Prinsip-Prinsip Teknologi Tepat Guna. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, *6*(8), 4180–4192.

Pangestu, W. P., Sadida, H., & Vitasari, D. (2021). Pengaruh Kadar BOD, COD, pH dan TSS Pada Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Media Filter Adsorben Alam dan Elektrokoagulasi. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, *6*(2), 74–80. https://doi.org/10.33084/mitl.v6i2.2376

Pradana, T. D., Suharno, & Apriansyah. (2018). Pengolahan limbah cair tahu untuk menurunkan kadar tss dan bod. *Jurnal VoKasi Kesehatan*, *4*(2), 1–7.

Pramita, A., Prasetyanti, D. N., & Cilacap, P. N. (2020). Penggunaan Media Bioball dan Tanaman Kayu Apu (Pistia stratiotes) Sebagai Biofilter Aerobik Pada Pengolahan Limbah Cair Rumah Tangga. *Journal of Research and Technology*, *6*(1), 131–136.

Pramita, A., & Puspita, E. D. (2019). Penurunan Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Total Suspended Solids (TSS) pada Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Proses Anaerobik Biofilter. *Journal of Research and Technology*, *5*(1), 21–29.

Pratiwi, C. Z., Mawardi, I., & Nugroho, F. (2022). *Rancang Bangun Microbubble Generator (MBG) Untuk Meningkatkan Oksigen Terlarut (DO) Pada Budidaya Perikanan*. *20*(1), 45–50.

https://doi.org/10.15578/chanos.v20i1.11160

Pungus, M., Palilingan, S., & Tumimomor, F. (2019). Penurunan kadar BOD dan COD dalam limbah cair laundry menggunakan kombinasi adsorben alam sebagai media filtrasi. *Jurnal Kimia*, *4*(2), 54–60.

Putro, P. G., Hadiyanto, H., & Amirudin. (2021). Water Quality Parameters of Tofu Wastewater: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1156*(1), 012018. https://doi.org/10.1088/1757-899x/1156/1/012018

Rahadi, B., Wirosoedarmo, R., & Harera, A. (2018). Sistem Anaerobik-Aerobik Pada Pengolahan Limbah Industri Tahu Untuk Menurunkan Kadar BOD, COD, dan TSS. *Jurnal Sumberdaya Alam*, *5*(1), 17–26.

Rahayu, D., & Ratni, N. (2019). Penurunan Kadar COD, TSS, dan NH3-N pada Air Limbah Rumah Potong Hewan dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Menggunakan Media Bioball. *Jurnal Purifikasi*, *19*(1), 25–36.

Rahmadyanti, E. (2020). Pengolahan Air Limbah Sentra Pkl Dengan Metode Rekayasa Filtrasi Untuk Keberlanjutan Sumber Daya Air. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, *2*(2), 1–9.

Rahmawan, I. (2022). *Pengolahan Limbah Cair Rumah Potong Hewan (RPH) Menggunakan Kombinasi Teknologi Microbubble Generator Dan Filter Bioball*. Universitas Islam Negeri Ar-raniry, Banda Aceh.

Ratnawati, R., & Kholif, M. Al. (2018). Aplikasi Media Batu Apung Pada Biofilter Anaerobik Untuk Pengolahan Limbah Cair Rumah Potong Ayam. *Jurnal Sains &Teknologi Lingkungan*, *10*(1), 1–14. https://doi.org/10.20885/jstl.vol10.iss1.art1

Rofik, D. A., Sumarjo, H. J., & Noubnome, V. (2020). Perancangan Dan Analisis Alat Microbubble Generator (MBG). *Journal of Infrastructure and Science Engineering*, *3*(2), 24–30.

Rusdiana, E., Fuad, M., Mutamar, F., & Hidayat, K. (2020). Analisis Faktor-Faktor Penjernihan Limbah Cair Unit Pengolahan Limbah Cair Industri Gula (Studi Kasus Pg Xyz). *Agroindustrial Technology Journal 04*, *l*(01), 1–15.

Said, N. I. (2005). Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap

Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon. *JAI*, *1*(3), 289–303.

Salamah, U. H., & Rahmanto, T. A. (2021). Pengaruh Media Biofiltrasi Anaerob Untuk Mendegradasi Cod, Tss, Dan Nh3-N Pada Limbah Cair Pencucian Ikan. *Jurnal ESEC Teknik Lingkungan*, *2*(1), 117–121.

Sari, S. A., Nurhayati, & Sunaryanto, R. (2022). Pengaruh Penambahan Effective Microorganisms (Em-4) Terhadap Kualitas Limbah Cair Tahu Dengan Teknik Aerasi. *JurnalMatrik Serial Teknologi Dan Sains*, *3*(1), 36–41.

Sato, A., Utomo, P., & Abineri, H. S. B. (2015). Pengolahan Limbah Tahu secara Anaerobik-Aerobik Kontinyu. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*, 185–192.

Saumi, A. R., & Purnomo, Y. S. (2018). Penurunan BOD5 dan Fenol Limbah Kawasan Industri dengan Ketebalan Media Trickling Filter Bervariasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, *8*(2), 118–125.

Shaskia, N., & Yunita, I. (2021). Persepsi Masyarakat terhadap Dampak Limbah Tahu di Sekitar Sungai. *Tameh: Journal of Civil Engineering*, *10*(2), 59–68. https://doi.org/10.37598/tameh.v10i2.153

Simanjuntak, Nam, B. ., Zahra, N. L., & Suryawan, I. W. K. (2021). Tofu wastewater Treatment Planning with Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and Activated Sludge Application,. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, *12*(1), 21–27.

Sirait, A. C., Apriani, I., & Pramadita, S. (2023). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pada Industri Pembuatan Tahu Skala Kecil. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, *11*(1), 155–163.

Sirajuddin, F. E., & Saleh, M. F. (2020). Efektifitas Biofiltrasi Dengan Media Arang Tempurung Kelapa Dan Batu Apung Terhadap Penurunan Kadar COD, Nitrat Dan Amoniak Dalam Air Limbah Domestik. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, *5*(1), 27–35.

Sisnayati, S., Dewi, D. S., Apriani, R., & Faizal, M. (2021). Penurunan BOD, TSS, minyak dan lemak pada limbah cair pabrik kelapa sawit menggunakan proses aerasi plat berlubang Reducing BOD, TSS, oil and greace in palm oil mill effluent by using perforated plate aeration process. *Jurnal Teknik Kimia*, *27*(2),

38–45. https://doi.org/10.36706/jtk.v27i2.559

Sitasari, A. N., & Khoironi, A. (2021). Evaluasi Efektivitas Metode dan Media Filtrasi pada Pengolahan Air Limbah Tahu. *Jurnal Ilmu Lingkungan, 19*(3), 565–575. https://doi.org/10.14710/jil.19.3.565-575

Standar Nasional Indonesia. (2004). *Air dan Air Limbah - Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid/TSS) secara gravimetri* (SNI 06-6989.3-2004). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Standar Nasional Indonesia. (2004). *Air dan Air Limbah - Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman dengan menggunakan Alat pH meter* (SNI 06-6989.11-2004). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Standar Nasional Indonesia. (2004). *Air dan Air Limbah - Bagian 14: Cara uji oksigen terlarut secara yodometri* (SNI 06-6898.14-2004). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Standar Nasional Indonesia. (2005). *Air dan Air Limbah - Bagian 30:Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometer secara fenat* (SNI 06-6989.30-2005). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Standar Nasional Indonesia. (2008). *Air dan Air Limbah - Bagian 59: metode pengambilan contoh air limbah* (SNI 6989.59: 2008). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Standar Nasional Indonesia. (2009). *Air dan Air Limbah - Bagian 72: Cara uji kebutuhan oksigen biokimia (Biological Oxygen Demand/BOD)* (SNI 6989.72-2009). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Standar Nasional Indonesia. (2019). *Air dan Air Limbah - Bagian 2: cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (chemical oxygen demand/cod) dengan refluks tertutup secara spektofotometri* (SNI 6989.2-2019). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Surachman, R., & Kartohardjono, S. (2020). Application of combination of coagulation- flocculation and membrane separation processes for tofu industrial wastewater treatment. *AIP Conference Proceedings*, *030007*(1), 1–7.

Suriasni, P. A., Faizal, F., Panatarani, C., Hermawan, W., & Joni, I. M. (2023). A

Review of Bubble Aeration in Biofilter to Reduce Total Ammonia Nitrogen of Recirculating Aquaculture System. *Water (Switzerland)*, *15*(4), 1–19. https://doi.org/10.3390/w15040808

Suryawan, I. W. K., Prajati, G., Afifah, A. S., & Apritama, M. R. (2021). NH 3 -N and COD Reduction in Endek (Balinese Textile) Wastewater by Activated Sludge under Different DO Condition with Ozone Pretreatment. *Walailak Journal*, *18*(6), 1–11.

Taha, L., & Mamuju, M. O. (2022). Penggunaan Bak Sedimentasi Untuk Menurunkan Kadar Bod Pada Limbah Cair Tahu. *Jurnal Sulolipu : Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Mayarakatt*, *22*(1), 88–94.

Timpua, T. K., & Pianaung, R. (2019). Uji Coba Desain Media Biofilter Anaerob Aerob Dalam Menurunkan Kadar Bod, Cod, Tss Dan Coliform Limbah Cair Rumah Sakit. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, *84*(10), 1511–1518. https://doi.org/10.1134/s0320972519100129

Trihidayanti, H., Ratnasningsih, R., & Iswanto, B. (2021). Study of tofu wastewater treatment using anaerobic baffled reactor : laboratory scale. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *894*, 1–6. https://doi.org/10.1088/1755-1315/894/1/012017

Utomo, K. P., & Pramadita, S. (2018). Coco Fiber Sebagai Filter Limbah Cair Rumah Makan Cepat Saji. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, *01*(2), 30–39.

Wardhana, K. A. (2019). Variasi Konsentrasi Substrat Dalam Pengolahan Air Limbah Pencucian Proses Pembuatan Pulp Dengan Microbial Fuel Cell. *Jurnal Selulosa*, *9*(2), 1–10.

Widyaningrum, H., Yayok, D., & Purnomo, S. (2020). Penurunan Bod, Cod, Dan Mlss Pada Air Limbah Tahu Menggunakan Fakultatif Anaerobic Horizontal Roughing Filter. *Seminar Nasional (Esec)*, 25–32.

Yuliyani, L., & Widayatno, T. (2020). Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Dan Kuat Arus Terhadap Penurunan Kadar COD , TSS Dan BOD Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Elektrokoagulasi Secara Kontinyu. *The 11th University Research Colloquium 2020*, 48–55.

Zein, S. Z., Yasyifa, L. Y., Ghozi, R. G., Harahap, E., Badruzzaman, F. H., & Darmawan, D. (2019). Pengolahan dan Analisis Data Kuantitatif Menggunakan Aplikasi SPSS. *Teknologi Pembelajaran*, *4*(2), 1–7.

Zunidra, Z., & Sondang, S. (2022). Treatment of tofu liquid waste using anaerobic-aerobic biofilm aeration system to reduce pollution. *Kerman University of Medical Sciences*, *9*(4), 391–397. https://doi.org/10.34172/EHEM.2022.42

LAMPIRAN

Lampiran 1. Baku Mutu Air Limbah Tahu

LAMPIRAN XVIII
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 5 TAHUN 2014
TENTANG
BAKU MUTU AIR LIMBAH

BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN
PENGOLAHAN KEDELAI

Parameter	Pengolahan Kedelai					
	Kecap		Tahu		Tempe	
	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)
BOD	150	1,5	150	3	150	1,5
COD	300	3	300	6	300	3
TSS	100	1	200	4	100	1
pH	6 – 9					
Kuantitas air limbah Paling tinggi (m_3/ton)	10		20		10	

Keterangan :
1) *)kecuali untuk pH
2) Satuan kuantitas air limbah adalah m^3 per ton bahan baku
3) Satuan beban adalah kg per ton bahan baku

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP
REPUBLIK INDONESIA,

BALTHASAR KAMBUAYA

Lampiran 2. Lembar Hasil Uji Karakteristik Awal Air Limbah Tahu

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK KIMIA
LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN
Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/Fax. (0651) 7552222
Laman: http://che.unsyiah.ac.id; e-mail: ltpkl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

Nomor: 378/JTK–USK/LTPKL/2023

Nama Pelanggan : Tiara Sekar Muliadita
Alamat Pelanggan : Darussalam–Banda Aceh
Tanggal di Terima : 21 Juli 2023
Jenis Contoh Uji : Limbah Cair Tahu
Kode Contoh Uji : Uji Pendahuluan
Tanggal di Analisa : 21 Juli 2023 s/d 27 Juli 2023
Untuk Keperluan : Penelitian Mahasiswa
Baku Mutu : Lampiran XVIII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah

No.	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
1.	Oksigen Terlarut (DO)	mg/l	–	3,70	
2.	Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD)	mg/l	150	1.020	
3.	Kebutuhan Oksigen Kimia (COD)	mg/l	300	3.773	
4.	Ammonia (NH_3)	mg/l	–	11,465	
5.	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	200	400	

Catatan: Pengambilan contoh dilakukan oleh pelanggan dan contoh diterima di laboratorium dalam kemasan botol plastik.

Darussalam, 28 Juli 2023
Ketua,

Dr. Ir. Edi Munawar, S.T., M.Eng.
NIP. 19691210 199802 1001

جامعة الرانري
AR-RANIRY

Lampiran 3. Lembar Hasil Uji Parameter BOD dan Amonia Air Limbah Tahu

PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN DAN PENGUJIAN ALAT KESEHATAN
Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureueh No. 168 Telp.(0651) 23834 Fax (0651) 23834 Banda Aceh
E-mail :labkes_aceh@yahoo.comWebsite:http://labkes-aceh.blogspot.com

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

No Order : 548 - 559
No. Sampel : 479-493 / 1-12 / VII / 2023
Nama Pengirim : Tiara Sekar Mulladita
Alamat : -
Petugas Pengambil : Tiara Sekar Mulladita
Tanggal Ambil : - Jam : -
Tanggal Terima : 31 Juli 2023 Jam : 11.15 Wib
Tanggal Analisa : 31 Juli s/d 7 Agustus 2023
Jenis sampel : Air Limbah Tahu
Pengawet : Tidak Ada
Baku Mutu : **PerMenLHK RI : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik**

No	Lokasi Sampel	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Acuan Metode
1	548	BOD_5	mg/l	30	231,6	Manual Book
2	549	BOD_5	mg/l	30	170,3	Manual Book
3	550	BOD_5	mg/l	30	125	Manual Book
4	551	BOD_5	mg/l	30	168	Manual Book
5	552	BOD_6	mg/l	30	135	Manual Book
6	553	BOD_7	mg/l	30	76,6	Manual Book
7	554	BOD_8	mg/l	30	171	Manual Book
8	555	BOD_9	mg/l	30	94,6	Manual Book
9	556	BOD_5	mg/l	30	70,3	Manual Book
		Amonia (NH_3-N)	mg/l	10	0,25	Merck 1.14752.0002
10	557	BOD_5	mg/l	30	421	Manual Book
11	558	BOD_5	mg/l	30	198	Manual Book
12	559	BOD_5	mg/l	30	219,2	Manual Book
		Amonia (NH_3-N)	mg/l	10	1,37	Merck 1.14752.0002

FR.IV/AD.38 Rev. 0

Ket :
- Lembar hasil Pengujian tidak boleh digandakan & disebarluaskan tanpa persetujuan dari UPTD BLK & PAK
- Parameter pemeriksaan ini sesuai dengan PerMenLHK RI No : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
- Pengambilan sampel yang tidak dilakukan oleh petugas UPTD BLK & PAK, apabila tidak sesuai menjadi tanggung jawab pengambil sampel

Banda Aceh, 10 Agustus 2023
Penanggung Jawab Teknis

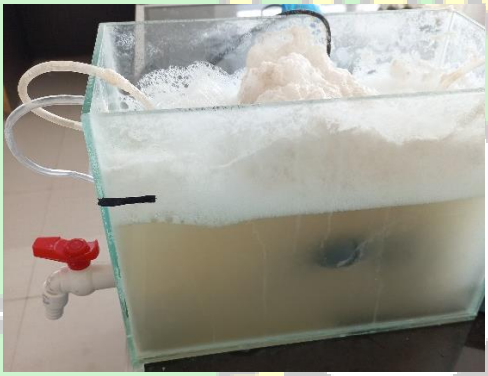
Rekha Melati, AMd.AK, SKM
Nip. 19720602 199403 2 003

جامعة الرانري
AR-RANIRY

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian

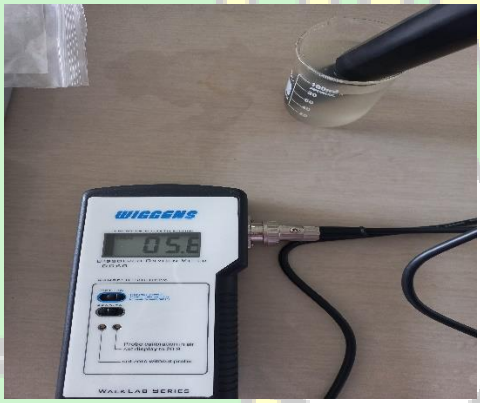
No	Dokumentasi	Keterangan
1.		Pengambilan sampel
2.		Sampel air limbah tahu.
3.		Penyusunan media bioball dan kerikil

No	Dokumentasi	Keterangan
4.		Proses *seeding*
5.		Penambahan EM4 saat proses *seeding*
6.		Pembuangan air limbah hasil proses *seeding*

No	Dokumentasi	Keterangan
7.		Pengolahan biofilter anaerob
8.		Pengolahan kombinasi biofilter anaerob dan Microbubble Generator Pengolahan kombinasi biofilter anaerob dan Microbubble Generator
9.		

No	Dokumentasi	Keterangan
		Air limbah tahu sebelum pengolahan
10.		Air limbah tahu setelah pengolahan biofilter anaerob 12 jam dan kombinasi MBG (60 menit, 120 menit, 180 menit)
11.		Air limbah tahu setelah pengolahan biofilter anaerob 24 jam dan kombinasi MBG (60 menit, 120 menit, 180 menit)
12.		

No	Dokumentasi	Keterangan
		Air limbah tahu setelah pengolahan biofilter anaerob 48 jam dan kombinasi MBG (60 menit, 120 menit, 180 menit)
13.		Pengukuran pH
14.		Pengukuran COD

No	Dokumentasi	Keterangan
15.		Pengukuran TSS
16.		Pengukuran DO

جامعة الرانري
AR-RANIRY

Lampiran 5. Perhitungan Nilai Total Suspended Solid (TSS)

Nilai TSS dapat dihitung dengan rumus:

Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0)\ x\ 1000}{V_{sampel}}$

Keterangan :

W_0= Berat awal (mg)

W_1= Berat akhir (mg)

V = volume sampel (ml)

1. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam

   Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

   $= \frac{(0{,}1734 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

   = 214 mg/l

2. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam

   Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

   $= \frac{(0{,}1595 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

   = 75 mg/l

3. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam

   Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

   $= \frac{(0{,}1563 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

   = 43 mg/l

4. Pengolahan Kombinasi Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 60 menit

   Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

   $= \frac{(0{,}1711 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

   = 191 mg/l

5. Pengolahan Kombinasi biofilter anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 120 menit

Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

$= \frac{(0{,}1696 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

= 176 mg/l

6. Pengolahan Kmbinasi biofilter anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 180 menit

Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

$= \frac{(0{,}1672 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

= 152 mg/l

7. Pengolahan Kombinasi Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 60 menit

Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

$= \frac{(0{,}1579 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

= 59 mg/l

8. Pengolahan Kombinasi Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 120 menit

Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

$= \frac{(0{,}1558 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

= 38 mg/l

9. Pengolahan Kombinasi Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 180 menit

Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

$= \frac{(0{,}1546 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

= 26 mg/l

10. Pengolahan Kombinasi Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 60 menit

Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

$= \frac{(0{,}1557 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

= 37 mg/l

11. Pengolahan Kombinasi Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 120 menit

Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

$= \frac{(0{,}1541 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

= 21 mg/l

12. Pengolahan Kombinasi Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 180 menit

Mg TSS per liter $= \frac{(W_1 - W_0) x\ 1000}{V_{sampel}}$

$= \frac{(0{,}1530 - 1520) x\ 1000}{0{,}1}$

= 10 mg/l

Lampiran 6. Perhitungan Efektivitas Pengolahan

6.1. Efektivitas TSS

Efektivitas TSS dapat dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$

1. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(400-214)}{400}\ x\ 100$$
$$= 46{,}5\ \%$$

2. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(400-75)}{400}\ x\ 100$$
$$= 81{,}25\ \%$$

3. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(400-43)}{400}\ x\ 100$$
$$= 89{,}25\%$$

4. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 60 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(400-191)}{400}\ x\ 100$$
$$= 52{,}25\%$$

5. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 120 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(400-176)}{400}\ x\ 100$$
$$= 56\%$$

6. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 180 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$

$$= \frac{(400-152)}{400}\ x\ 100$$

$$= 62\%$$

7. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 60 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$

$$= \frac{(400-59)}{400}\ x\ 100$$

$$= 85{,}25\%$$

8. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 120 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$

$$= \frac{(400-38)}{400}\ x\ 100$$

$$= 90{,}5\%$$

9. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 180 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$

$$= \frac{(400-26)}{400}\ x\ 100$$

$$= 93{,}5\%$$

10. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 60 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$

$$= \frac{(400-37)}{400}\ x\ 100$$

$$= 90{,}75\%$$

11. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 120 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$

$$= \frac{(400-21)}{400}\ x\ 100$$

$$= 94{,}75\%$$

12. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 180 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$

$$= \frac{(400-10)}{400}\ x\ 100$$

= 97,5%

6.2. Efektivitas COD

Efektivitas COD dapat dihitung dengan rumus:

% efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

1. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam

   % efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

   = $\frac{(3773 - 1500)}{3773}\ x\ 100$

   = 60,24 %

2. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam

   % efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

   = $\frac{(3773 - 1219)}{3773}\ x\ 100$

   = 60,69%

3. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam

   % efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

   = $\frac{(3773 - 725)}{3773}\ x\ 100$

   = 80,78%

4. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 60 menit

   % efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

   = $\frac{(3773 - 767)}{3773}\ x\ 100$

   = 79,67%

5. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 120 menit

   % efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

   = $\frac{(3773 - 564)}{3773}\ x\ 100$

   = 85,05%

6. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 180 menit

   % efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(3773-417)}{3773}\ x\ 100$

= 88,95%

7. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 60 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal-kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(3773-697)}{3773}\ x\ 100$

= 81,53%

8. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 120 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal-kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(3773-513)}{3773}\ x\ 100$

= 86,40%

9. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 180 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal-kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(3773-254)}{3773}\ x\ 100$

= 93,27%

10. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 60 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal-kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(3773-634)}{3773}\ x\ 100$

= 83,20%

11. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 120 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal-kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(3773-314)}{3773}\ x\ 100$

= 91,68%

12. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 180 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal-kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(3773-233)}{3773}\ x\ 100$

= 93,82%

6.3. Efektivitas BOD

Efektivitas BOD dapat dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$

1. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(1020-421)}{1020}\ x\ 100$$
$$= 58{,}73\%$$

2. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(1020-198)}{1020}\ x\ 100$$
$$= 80{,}59\%$$

3. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(1020-219)}{1020}\ x\ 100$$
$$= 78{,}53\%$$

4. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 60 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(1020-231{,}6)}{1020}\ x\ 100$$
$$= 77{,}29\%$$

5. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 120 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(1020-170{,}3)}{1020}\ x\ 100$$
$$= 83{,}30\%$$

6. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 12 jam dan MBG 180 menit

$$\% \text{ efektivitas} = \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$$
$$= \frac{(1020-125)}{1020}\ x\ 100$$

= 87,75%

7. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 60 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(1020-168)}{1020}\ x\ 100$

= 83,53%

8. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 120 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(1020-135)}{1020}\ x\ 100$

= 86,76%

9. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 24 jam dan MBG 180 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(1020-76,7)}{1020}\ x\ 100$

= 92,48%

10. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 60 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(1020-171)}{1020}\ x\ 100$

= 83,24%

11. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 120 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(1020-94,6)}{1020}\ x\ 100$

= 90,73%

12. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 180 menit

% efektivitas $= \frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

$= \frac{(1020-70,6)}{1020}\ x\ 100$

= 93,11%

6.4. Efektivitas Amonia

Efektivitas Amonia dapat dihitung dengan rumus:

% efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

1. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam

   % efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

   = $\frac{(11{,}465 - 1{,}37)}{11{,}465}\ x\ 100$

   = 88,05%

2. Pengolahan Biofilter Anaerob dengan HRT 48 jam dan MBG 180 menit

   % efektivitas = $\frac{(kadar\ awal - kadar\ akhir)}{kadar\ awal}\ x\ 100$

   = $\frac{(11{,}465 - 0{,}25)}{1020}\ x\ 100$

   = 97,82%

Lampiran 7. Hasil Analisis Linear Berganda

8.1. Regression Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* Terhadap Ph

Variables Entered/Removed[a]			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter[b]	.	Enter
a. Dependent Variable: pH			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.935[a]	.875	.833	.2457
a. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter				

ANOVA[a]						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.538	2	1.269	21.024	.002[b]
	Residual	.362	6	.060		
	Total	2.900	8			
a. Dependent Variable: pH						
b. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter						

Coefficients[a]						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4.700	.265		17.712	.000
	Waktu tinggal Biofilter	.035	.005	.910	6.310	.001
	Waktu tinggal MBG	.003	.002	.216	1.496	.185
a. Dependent Variable: pH						

8.2. Regression Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* Terhadap COD

Variables Entered/Removed[a]			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter[b]	.	Enter
a. Dependent Variable: COD			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.975[a]	.950	.934	50.139
a. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter				

ANOVA[a]						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	289253.627	2	144626.813	57.531	.000[b]
	Residual	15083.262	6	2513.877		
	Total	304336.889	8			
a. Dependent Variable: COD						
b. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter						

Coefficients[a]						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1027.833	54.156		18.979	.000
	Waktu tinggal Biofilter	-5.062	1.117	-.412	-4.533	.004
	Waktu tinggal MBG	-3.317	.341	-.884	-9.722	.000
a. Dependent Variable: COD						

8.3. Regression Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* Terhadap BOD

Variables Entered/Removed[a]			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter[b]	.	Enter
a. Dependent Variable: BOD			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.950[a]	.903	.870	18.9585
a. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter				

ANOVA[a]						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	20039.222	2	10019.611	27.877	.001[b]
	Residual	2156.540	6	359.423		
	Total	22195.762	8			
a. Dependent Variable: BOD						
b. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter						

Coefficients[a]						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	282.467	20.477		13.794	.000
	Waktu tinggal Biofilter	-1.603	.422	-.483	-3.796	.009
	Waktu tinggal MBG	-.829	.129	-.818	-6.430	.001
a. Dependent Variable: BOD						

8.4. Regression Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* Terhadap TSS

Variables Entered/Removed[a]			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal biofilter[b]	.	Enter
a. Dependent Variable: TSS			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.831[a]	.691	.588	46.547
a. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal biofilter				

ANOVA[a]						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	29061.127	2	14530.563	6.707	.030[b]
	Residual	12999.762	6	2166.627		
	Total	42060.889	8			
a. Dependent Variable: TSS						
b. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal biofilter						

Coefficients[a]						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	215.167	50.277		4.280	.005
	Waktu tinggal biofilter	-3.688	1.037	-.808	-3.558	.012
	Waktu tinggal MBG	-.275	.317	-.197	-.868	.419
a. Dependent Variable: TSS						

8.5. Regression Waktu Tinggal (HRT) Biofilter Anaerob dan *Microbubble Generator* Terhadap DO

Variables Entered/Removed[a]			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter[b]	.	Enter
a. Dependent Variable: DO			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.979[a]	.959	.945	.1261
a. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter				

ANOVA[a]						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.225	2	1.112	69.898	.000[b]
	Residual	.095	6	.016		
	Total	2.320	8			
a. Dependent Variable: DO						
b. Predictors: (Constant), Waktu tinggal MBG, Waktu tinggal Biofilter						

Coefficients[a]						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4.233	.136		31.070	.000
	Waktu tinggal Biofilter	.010	.003	.281	3.390	.015
	Waktu tinggal MBG	.010	.001	.938	11.327	.000
a. Dependent Variable: DO						