

**EFEKTIVITAS AERASI MENGGUNAKAN MICROBUBBLE
GENERATOR DALAM MENURUNKAN PARAMETER
PENCEMAR PADA LIMBAH CAIR
INDUSTRI TAHU**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

SYAHRUL RIDHA DIPA

NIM. 200702013

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi

Program Studi Teknik Lingkungan



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM BANDA ACEH**

2025

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS AERASI MENGGUNAKAN MICROBUBBLE GENERATOR DALAM MENURUNKAN PARAMETER PENCEMAR PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

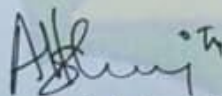
SYAHRUL RIDHA DIPA

NIM. 200702013

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui untuk dimunaqasyahkan oleh:

Pembimbing I,



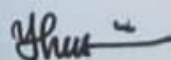
Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.
NIDN. 2002028301

Pembimbing II,



Aulia Rohendi, S.T., M.Sc.
NIDN. 2010048202

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



Husnawati Yahya, M.Sc.
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS AERASI MENGGUNAKAN MICROBUBBLE GENERATOR DALAM MENURUNKAN PARAMETER PENCEMAR PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU 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 Beban Studi Program Sarjana (S-1)

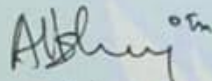
Pada Hari/Tanggal:

Rabu, 20 Agustus 2025

1446 H

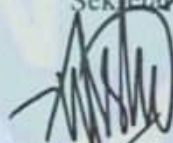
Di Darussalam, Banda Aceh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,



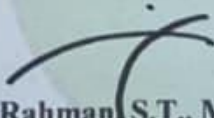
Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.
NIDN. 2002028301

Sekretaris,



Aulia Rohendi, S.T., M.Sc.
NIDN. 2010048202

Penguji I,



Arief Rahman, S.T., M.T
NIDN. 2010038901

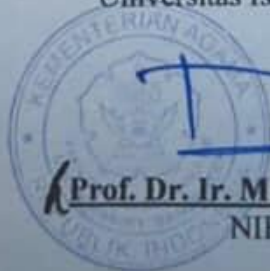
Penguji II,

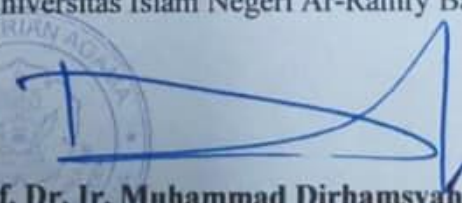


Ir. Lisa Ginayatri, S.T., M.T
NIDN.

Mengetahui,

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




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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Syahrul Ridha Dipa
NIM : 200702013
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Efektivitas Acrasi Menggunakan Microbubble Generator Dalam
Menurunkan Parameter Pencemar Pada Limbah Cair Industri Tahu

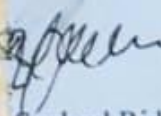
Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

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 adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari dosen pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

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

Banda Aceh, 20 Agustus 2025




Syahrul Ridha Dipa

ABSTRAK

Nama : Syahrul Ridha Dipa
NIM : 200702013
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Efektivitas Aerasi Menggunakan Microbubble Generator
Dalam Menurunkan Parameter Pencemar pada Limbah Cair
Industri Tahu
Tanggal Sidang : 20 Agustus 2025
Jumlah Halaman : 58
Pembimbing I : Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Aulia Rohendi, S.T., M.Sc.
Kata Kunci : Aerasi, Limbah Cair Tahu, Microbubble Generator, Pipa Berpori

Industri tahu menghasilkan limbah cair dengan kandungan bahan organik yang tinggi, yang berpotensi mencemari lingkungan jika dibuang tanpa pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas aerasi menggunakan *Microbubble Generator* dalam menurunkan parameter pencemar pada limbah cair industri tahu. Mekanisme aerasi bekerja dengan meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) dalam air limbah, yang esensial untuk aktivitas mikroorganisme aerobik. Mikroorganisme ini kemudian menguraikan polutan organik (menurunkan COD) menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selain itu, gelembung mikro yang dihasilkan menciptakan pengadukan yang membantu proses flokulasi yaitu penggumpalan partikel padat tersuspensi (TSS) sehingga lebih mudah mengendap. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif dengan variasi laju alir udara (5 L/menit dan 10 L/menit) dan waktu aerasi 24 jam (pengambilan sampel pada 6, 12 dan 24 jam). Parameter yang diukur pH, *Dissolved Oxygen* (DO), *Total Suspended Solid* (TSS), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Hasil analisis karakteristik awal limbah menunjukkan kondisi yang melebihi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, dengan nilai pH sebesar 4,29, TSS sebesar 1515 mg/L, dan COD 1908 mg/L. Setelah proses pengendapan awal selama 1 jam, kadar TSS berkurang menjadi 66 mg/L dan COD menjadi 940 mg/L. Proses aerasi terbukti efektif dalam menurunkan kadar TSS mencapai 95% pada 6-12 jam. Penurunan kadar COD relatif stabil mencapai 74%. Kondisi operasional optimal pada laju alir udara 10 L/menit dengan waktu aerasi 12 jam dengan nilai DO tinggi (10,4 mg/L), TSS (60 mg/L) dan COD (514 mg/L) dengan pH yang stabil.

ABSTRACT

Name : Syahrul Ridha Dipa
Student ID Number : 200702013
Department : Environmental Engineering
Title : *The Effectiveness of Aeration Using a Microbubble Generator in Reducing Pollutant Parameters in Tofu Industry Wastewater*
Date of Session : 20 August 2025
Number of Page : 58
Advisor I : Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.
Advisor II : Aulia Rohendi, S.T., M.Sc.
Keywords : *Aeration, Tofu Wastewater, Microbubble Generator, Porous Pipe*

The tofu industry generates wastewater with a high organic content, which can potentially pollute the environment if discharged without treatment. This research aims to investigate the effectiveness of aeration using a Microbubble Generator in reducing pollutant parameters in tofu industry wastewater. The aeration mechanism works by increasing the dissolved oxygen (DO) level in the wastewater, which is essential for the activity of aerobic microorganisms. These microorganisms then decompose organic pollutants (reducing COD) into simpler compounds. Furthermore, the microbubbles produced create agitation that aids the flocculation process, which is the aggregation of total suspended solids (TSS) to facilitate sedimentation. The research method used was a quantitative experiment with variations in airflow rate (5 L/minute and 10 L/minute) and a 24-hour aeration time (with samples taken at 6, 12, and 24 hours). The parameters measured included pH, Dissolved Oxygen (DO), Total Suspended Solids (TSS), and Chemical Oxygen Demand (COD). The initial characterization analysis of the wastewater showed conditions exceeding the quality standards of the Minister of Environment Regulation No. 5 of 2014, with a pH of 4.29, TSS of 1515 mg/L, and COD of 1908 mg/L. After a 1-hour initial sedimentation process, the TSS level decreased to 66 mg/L and COD to 940 mg/L. The aeration process proved effective in reducing TSS levels with a removal efficiency reaching 95% within 6-12 hours. The reduction in COD levels was relatively stable, with an efficiency of 74%. Optimal operational conditions were achieved at an airflow rate of 10 L/minute with a 12-hour aeration time, resulting in a high DO (10.4 mg/L), TSS (60 mg/L), and COD (514 mg/L) with a stable pH.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan atas ke-hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan kekuatan dan kemampuan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. *Shalawat* serta salam, senantiasa tercurah dan terlimpahkan kepada Nabi Muhammad saw yang telah membimbing dan mengangkat derajat umat manusia dengan berkah ilmu pengetahuan.

Syukur *Alhamdulillah*, berkat petunjuk dan pertolongan Allah Swt. penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Efektivitas Aerasi Menggunakan *Microbubble Generator* Dalam Menurunkan Parameter Pencemar Pada Limbah Cair Industri Tahu” Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Pertama sekali penulis persembahkan Tugas Akhir ini kepada Ayahanda tercinta Mahdi, S.T., M.S.M. yang telah mendidik, mendoakan dan menjadi tempat berbagi ilmu, baik ilmu dunia maupun ilmu akhirat. Ibunda tersayang Nurhayati, S.Pd., M.S.M. yang telah mengandung, membesarkan serta menjadi tempat curahan hati penulis, serta kepada adik-adik penulis Khairil Anam Dipa dan Faizatul Nisa Dipa, atas segala bantuan dan dukungan dalam bentuk apapun yang diberikan kepada penulis. Semoga Allah Swt. senantiasa memberikan perlindungan-Nya kepada mereka.

Selesaiannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT, IPU. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. selaku Ketua Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. selaku Sekretaris Prodi Teknik Lingkungan dan dosen pembimbing II yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc. selaku Dosen Wali dan Dosen Pembimbing I yang telah berkenan memberikan nasehat serta arahan agar tugas akhir ini disusun dengan sebaik mungkin.
5. Seluruh Staf dan Karyawan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh yang telah memberikan banyak sekali bantuan.
6. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan seluruhnya yang telah membantu dalam proses penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kesalahan pada tugas akhir ini dan jauh dari kata sempurna, oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik maupun saran dari para pembaca, demi penyusunan tugas akhir ini dapat bermanfaat baik untuk penulis sendiri ataupun para pembaca.

Banda Aceh, 20 Agustus 2025

Penulis,

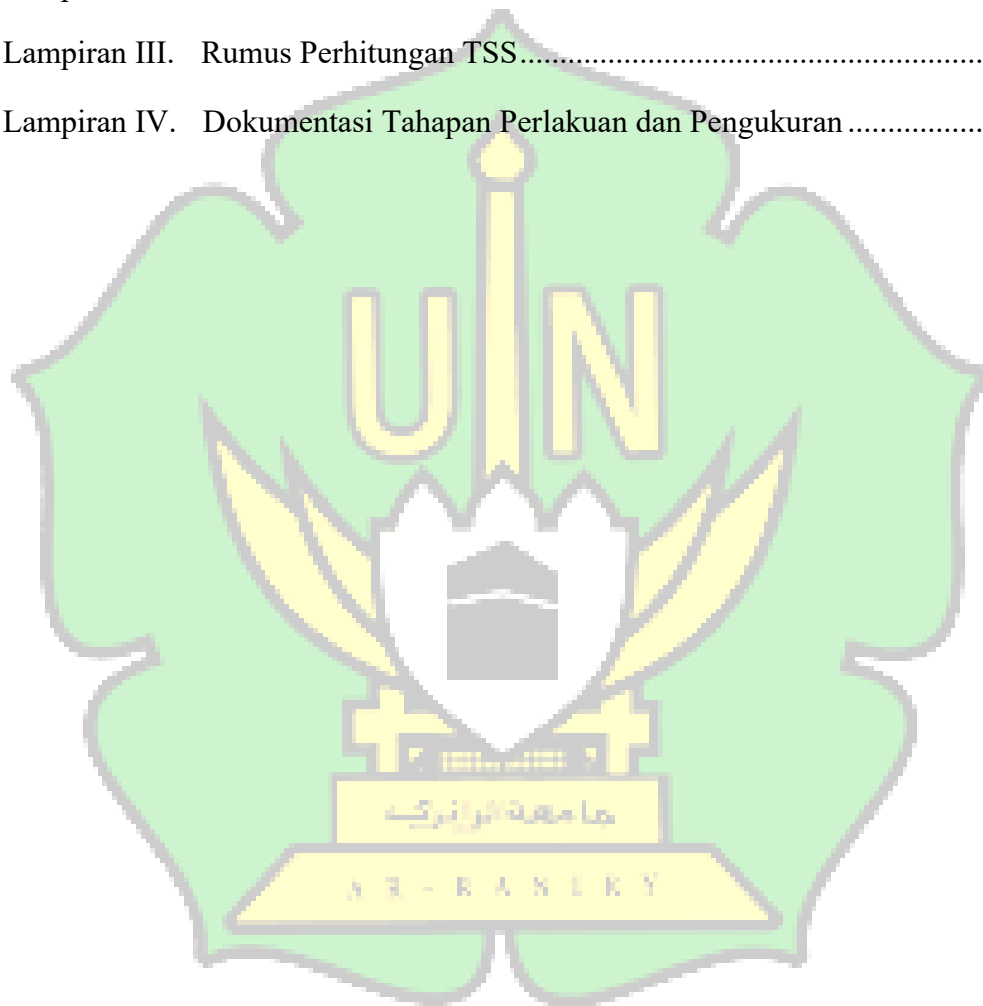
Syahrul Ridha Dipa
NIM. 200702013

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Limbah Cair Tahu	5
2.2 Karakteristik Air Limbah Industri Tahu	6
2.3 Dampak Pencemaran Air Limbah Industri Tahu	7
2.4 Pengolahan Air Limbah Industri Tahu.....	7
2.5 Baku Mutu Limbah Cair Industri Tahu.....	9
2.6 <i>Microbubble Generator</i>	9
2.7 <i>Porous Pipe</i>	10

2.8	Penelitian Terdahulu	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		14
3.1	Lokasi dan Jadwal Penelitian	14
3.2	Objek dan Lokasi Pengambilan Sampel	14
3.3	Sampel dan Bahan Penelitian.....	15
3.3.1	Alat dan Bahan Penelitian.....	15
3.3.2	Teknik Pengambilan Sampel.....	15
3.4	Tahapan Umum.....	17
3.5	Prosedur Eksperimen	18
3.6	Rancangan Aerator Aerasi	19
3.7	Analisis Laboratorium sesudah Aerasi.....	21
3.7.1	<i>Potential of Hydrogen</i> (pH)	21
3.7.2	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	22
3.7.3	<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	23
3.7.4	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	24
3.8	Analisis Data dan Pengolahan Data	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		26
4.1	Efektivitas Microbubble Generator dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu.....	26
4.1.1	Karakteristik Awal Limbah Cair Industri Tahu	26
4.1.2	Pengendapan Awal Limbah Cair Industri Tahu.....	27
4.1.3	Efektivitas Microbubble Generator.....	29
4.2	Pengaruh Laju Alir Udara terhadap Parameter Pencemar Limbah Cair Industri Tahu.....	31
4.3	Pengaruh Waktu Aerasi terhadap Penurunan Parameter Pencemar Limbah Cair Industri Tahu	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41

5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....		42
LAMPIRAN.....		49
Lampiran I.	Tabel Data Pengamatan	49
Lampiran II.	Standar Baku Mutu	50
Lampiran III.	Rumus Perhitungan TSS.....	51
Lampiran IV.	Dokumentasi Tahapan Perlakuan dan Pengukuran	52



DAFTAR GAMBAR

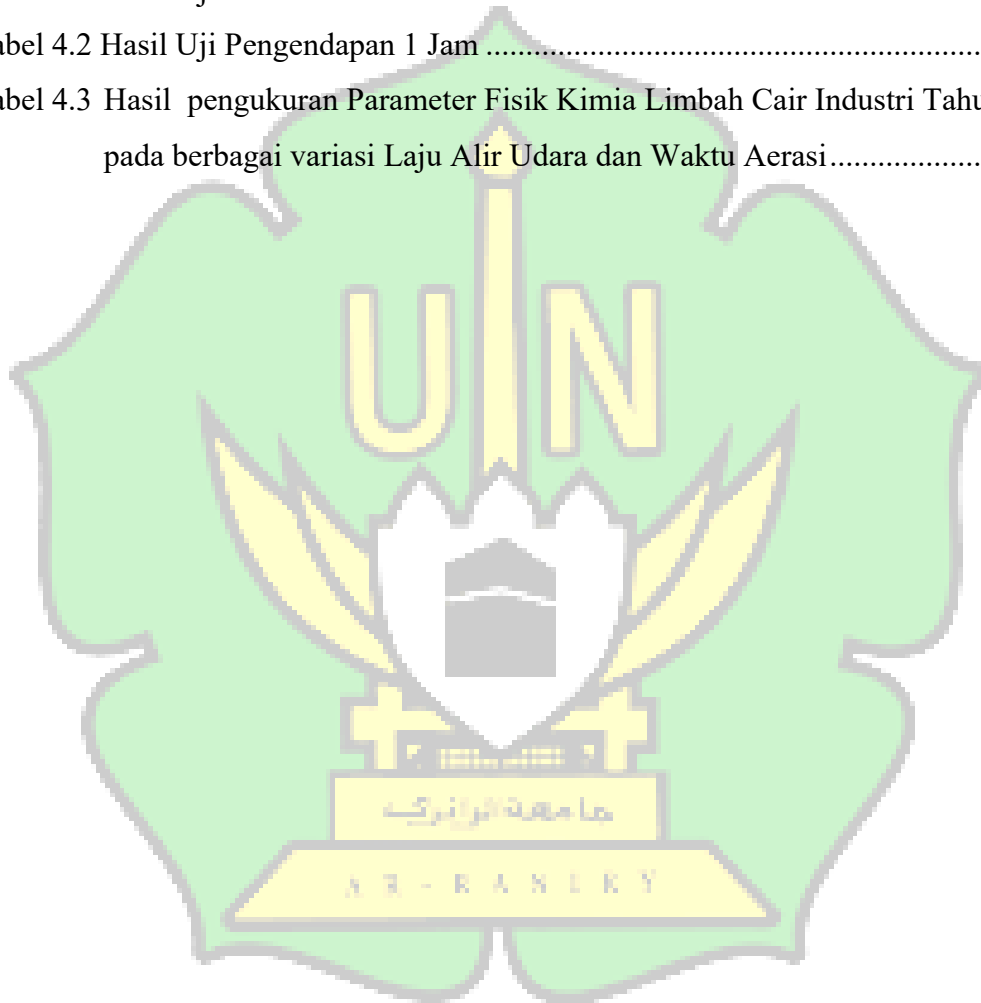
Gambar 2.1 Porous Pipe.....	11
Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel	14
Gambar 3.2 Proses Pengambilan Sampel Limbah Cair Industri Tahu.....	16
Gambar 3.3 Diagram Alir tahap Penelitian.....	17
Gambar 3.4 Tampak Depan Desain Aerator	20
Gambar 3.5 Tampak Atas Desain Aerator	20
Gambar 3.6 Reaktor Eksperimen	21
Gambar 3.7 pH Meter	22
Gambar 3.8 COD Meter.....	22
Gambar 3.9 Pompa Vakum	24
Gambar 3.10 DO Meter.....	24
Gambar 4.1 Penampakan fisik awal limbah cair industri tahu yang digunakan pada penelitian ini	26
Gambar 4.2 Penampakan Fisik Sampel Setelah Pengendapan Selama 1 Jam.....	28
Gambar 4.12 Efektivitas penurunan kadar TSS dan COD pada berbagai variasi laju alir udara dan waktu aerasi	30
Gambar 4.3 Grafik hubungan laju alir udara terhadap pH Limbah cair industri tahu pada berbagai variasi waktu aerasi	32
Gambar 4.4 Grafik hubungan laju alir udara terhadap DO Limbah cair industri tahu pada berbagai variasi waktu aerasi	33
Gambar 4.5 Grafik hubungan laju alir udara terhadap TSS Limbah cair industri tahu pada berbagai variasi waktu aerasi	34
Gambar 4.6 Grafik hubungan laju alir udara terhadap kadar COD Limbah cair industri tahu pada berbagai variasi waktu aerasi	35
Gambar 4.7 Foto A Penampakan Limbah Sebelum Aerasi dan Foto B Penampakan Limbah Setelah Aerasi	36
Gambar 4.8 Grafik hubungan waktu aerasi terhadap pH pada berbagai variasi laju alir udara	37
Gambar 4.9 Grafik hubungan waktu aerasi terhadap kadar DO pada berbagai variasi laju alir udara.....	38

Gambar 4.10 Grafik hubungan waktu aerasi terhadap kadar TSS pada berbagai variasi laju alir udara.....	39
Gambar 4.11 Grafik hubungan waktu aerasi terhadap kadar COD pada berbagai variasi laju alir udara.....	40



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Pengolahan Kedelai dari Industri Tahu.....	9
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu.....	12
Tabel 3.1 Bahan yang digunakan dalam penelitian	15
Tabel 3.2 Alat dalam proses penelitian.....	15
Tabel 3.3 Desain Eksperimen Penelitian	19
Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Awal Limbah Cair Tahu	27
Tabel 4.2 Hasil Uji Pengendapan 1 Jam	28
Tabel 4.3 Hasil pengukuran Parameter Fisik Kimia Limbah Cair Industri Tahu pada berbagai variasi Laju Alir Udara dan Waktu Aerasi.....	29



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	1
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>	1
pH	<i>Potential of Hydrogen</i>	4
DO	<i>Dissolved Oxygen</i>	2
SNI	Standar Nasional Indonesia	17
LAMBANG		
Kg	Kilo Gram	6
Mg/L	Miligram/Liter	1
μm	Mikrometer	
mm	Milimeter	12
ml	Mililiter	18
$^{\circ}\text{C}$	Derajat Celcius	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah cair yang dihasilkan dari industri dapat mencemari lingkungan bila dibuang tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Salah satu sumber limbah cair adalah limbah cair industri tahu yang semakin berkembang. Industri tahu dapat menghasilkan limbah sebesar 20 juta m³ tiap tahunnya (Kholif dkk., 2021). Limbah cair tahu mengandung bahan organik yang tinggi, dikarenakan bahan baku pembuatan tahu yaitu kedelai, mengandung protein hingga 40-60% (Indah dkk., 2014). Limbah cair tahu mempunyai kandungan 8640 mg/L COD, 297,5 mg/L total Nitrogen, rasio COD : N yaitu 203 : 7 (Myrasandri dkk., 2009). Bila air limbah industri tahu dibuang langsung ke sungai akan menyebabkan pencemaran, merusak habitat biota serta mengurangi estetika (Indah dkk., 2014).

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, setiap kegiatan yang menimbulkan limbah cair terutama pada sektor industri tahu harus dikelola terlebih dahulu dalam suatu sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebelum dibuang pada badan lingkungan. Akan tetapi, mengingat mahalnya biaya pembuatan IPAL serta biaya operasionalnya menjadi salah satu faktor penyebab tidak diolahnya limbah cair tahu (Kartamihardja dkk., 2020). Dengan demikian, diperlukannya alternatif pengolahan limbah cair industri tahu yang efektif dari segi biaya, operasional dan pemeliharaan serta dapat dioperasikan dalam jangka panjang. Salah satu metode yang dapat diimplementasikan untuk mengelola limbah cair tahu adalah proses aerasi.

Proses aerasi dapat menurunkan nilai BOD, COD, TDS dan TSS pada air limbah, karena memenuhi kebutuhan oksigen mikroorganisme pengurai serta mendukung oksidasi bahan-bahan kimia yang terkandung dalam air limbah tersebut (Arsawan dkk., 2007). Hasil penelitian Aniwindira (2016) menunjukkan variasi waktu aerasi berdampak pada penurunan kadar COD dan TSS, waktu aerasi 12 jam, 24 jam dan 48 jam dapat menurunkan kadar COD sebesar 48%, 7% dan 22%, sedangkan penurunan kadar TSS sebesar 81%, 15% dan 21%.

Salah satu alat yang berpotensi menjadi alternatif dalam mengolah limbah cair adalah *Microbubble Generator* yang berfungsi untuk menghasilkan gelembung udara di dalam air dengan ukuran diameter kecil serta untuk mengoptimalkan tingkat dan jumlah transfer oksigen (Firra dkk., 2019). Alat ini mampu menghasilkan gelembung udara mikro dengan ukuran diameter 10-50 μm sehingga meningkatkan luas permukaan kontak dan memperbesar efisiensi transfer oksigen (Liu dkk., 2012). Kondisi ini membuat *Microbubble Generator* lebih efektif dibandingkan dengan sistem aerasi lainnya dalam meningkatkan oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk proses biodegradasi bahan organik. Penerapan *Microbubble Generator* penting dikarenakan sebagian besar kebutuhan energi pada Instalasi Pengolahan Air Limbah berasal dari proses aerasi (Wiratni dan Mada, 2015).

Beberapa penelitian telah menunjukkan keefektifan *Microbubble Generator* dalam menurunkan kadar parameter pencemar pada limbah cair. *Microbubble Generator* yang digunakan untuk mengolah air limbah domestik dapat menurunkan COD yang awalnya 181 mg/L menjadi 40 mg/L dan NH_3 yang awalnya 268 mg/L menjadi 67,80 mg/L (Munfaridah dkk., 2022). Penggunaan *Microbubble Generator* pada pengolahan limbah buatan menurunkan COD yang awalnya 500 mg/L menjadi 100 mg/L dan peningkatan pada DO (*Dissolved Oxygen*) yang awalnya 0 mg/L menjadi 3,1 mg/L yang dilakukan dalam 5 hari (Afisna dan Juwana, 2020).

Hasil penelitian Rahmayetty (2011) menunjukkan bahwa variasi laju alir pada metode aerasi dengan variasi 2, 4 dan 6 L/menit, dapat menurunkan kadar COD 63,63% pada laju alir 2 L/menit, 85,8% pada laju alir 4 L/menit dan 86,36% pada laju alir 6 L/menit. Sedangkan untuk kadar BOD menurun 264 mg/L pada laju alir 2 L/menit, 312 mg/L pada laju alir 4 L/menit dan 320 mg/L pada laju alir 6 L/menit. Variasi laju alir terbukti efektif dalam mengoptimalkan penurunan BOD dan COD pada limbah cair. Pengembangan teknologi *Microbubble Generator* dengan distribusi udara yang lebih efisien, dikombinasikan dengan *Porous Pipe* yang berpotensi meningkatkan kinerja pengolahan limbah cair dan mengembangkan temuan penelitian sebelumnya.

Porous pipe digunakan sebagai sistem distribusi udara untuk menunjukkan seberapa besar efektivitas oksigen yang dapat dihasilkan untuk meningkatkan aerasi. Penelitian terkait *Porous Pipe* juga telah dilakukan oleh Mistoro (2023)

menunjukkan bahwa *porous pipe* dapat meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air limbah sebesar 3,2 mg/l. Penelitian Shalindry (2015) telah menunjukkan bahwa variasi kecepatan aliran udara berpengaruh terhadap penurunan kadar organik yang diukur dengan sCOD. Pada sistem drainase, *porous pipe* mampu mengalirkan air dari area tergenang dan mengurangi genangan pada permukaan (Susilo & Budiningrum, 2019). Pada irigasi tetes, *porous pipe* dapat meningkatkan produktivitas tanaman melalui distribusi air yang optimal (Kurniadi dkk., 2000). *Porous pipe* lebih efisien dalam sistem aerasi pada peningkatan transfer massa oksigen (Purnomo dkk., 2021).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas penggunaan *Microbubble Generator* dalam pengolahan limbah cair industri tahu. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh aplikasi *Microbubble Generator* dengan variasi waktu dan laju alir udara terhadap penurunan kualitas limbah cair. Adanya *Porous Pipe* untuk menghasilkan transfer oksigen yang lebih optimal dan juga efektif untuk pengolahan limbah cair tahu. Penelitian ini juga diharapkan dapat diaplikasikan nantinya untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang dihasilkan oleh limbah cair industri tahu, sehingga limbah cair yang akan dibuang memenuhi standar baku mutu pengolahan limbah cair pada skala industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan suatu masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efektivitas *Microbubble Generator* dalam pengolahan limbah cair industri tahu?
2. Bagaimana pengaruh laju alir udara terhadap parameter pencemar limbah cair industri tahu?
3. Bagaimana pengaruh waktu aerasi terhadap parameter pencemar limbah cair industri tahu?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui efektivitas *Microbubble Generator* dalam pengolahan limbah cair industri tahu.

2. Melihat pengaruh laju alir udara terhadap parameter pencemar limbah cair industri tahu.
3. Melihat pengaruh waktu aerasi terhadap parameter pencemar limbah cair industri tahu.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi peneliti, dapat menambah wawasan tentang efektivitas penggunaan *Microbubble Generator* dalam mengolah air limbah industri tahu.
2. Dapat memberikan informasi dan pengetahuan baru dalam pencegahan pencemaran lingkungan akibat air limbah tahu serta dapat menjadi referensi untuk mengolah air limbah industri tahu menggunakan *Microbubble Generator*.

1.5 Batasan Penelitian

1. Kompresor yang digunakan bermerek Yamano ACO-001

