

ANALISIS EKSPERIMENTAL KUALITAS AIR BERSIH HASIL OLAHAN LIMBAH CAIR PADA UMKM OPAK

SKRIPSI

OLEH :

RIEL ARJUNA MUNTHER

228150066



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/7/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id) 7/7/26

**ANALISIS EKSPERIMENTAL KUALITAS AIR BERSIH HASIL
OLAHAN LIMBAH CAIR PADA UMKM OPAK
SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area**

**Oleh :
RIEL ARJUNA MUNTHER
228150066**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/7/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id) 7/7/26

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Riel Arjuna Munthe

NPM : 228150066

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana yang merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini saya kutip dari hasil karya orang lain yang telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan.

Medan, 06 Maret 2026



Riel Arjuna Munthe
228150066

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMI**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Riel Arjuna Munthe
NPM : 228150066
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Eksperimental Kualitas Air Bersih Hasil Olahan Limbah Cair pada UMKM Opak. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 06 Maret 2026

Yang menyatakan



Riel Arjuna Munthe
228150066

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Purbatua barung pada tanggal 14 Juni 2004 dari Bapak Ardi Wardinus Munthe dan ibu Sasmita Girsang. Penulis merupakan anak ke 2 dari 2 bersaudara. Adapun jenjang pendidikan yang sudah dilalui penulis sebagai berikut:

1. Tahun 2010, Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri 095169 Purba Tua Etek dinyatakan lulus pada tahun 2016
2. Tahun 2016, Penulis menempuh pendidikan di SMP Negeri 1 Silimakuta dan dinyatakan lulus pada tahun 2019
3. Tahun 2019 Penulis menempuh pendidikan di SMK GKPS 2 Pematang Siantar dan dinyatakan lulus pada tahun 2022
4. Tahun 2022, penulis melanjutkan kuliah di Universitas Medan Area

Dengan ketekunan serta motivasi tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas akhir skripsi ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir skripsi ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya skripsi yang berjudul “Analisis Eksperimental Kualitas Air Bersih Hasil Olahan Limbah Cair pada UMKM Opak”.

ABSTRAK

Riel Arjuna Munthe NPM 228150066 “Analisis Eksperimental Kualitas Air Bersih Hasil Olahan Limbah Cair Pada Umkm Opak” Dibimbing Oleh Nukhe Andri Silviana, S.T. M.T.

UMKM opak menghasilkan limbah cair dengan kandungan bahan organik tinggi yang berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air hasil olahan dari alat pengolahan limbah cair serta mengetahui pengaruh variasi jumlah filter dan kecepatan aliran air terhadap penurunan parameter pencemar. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Perlakuan terdiri dari empat variasi, yaitu penggunaan 3 filter dengan aliran air 32L/Jam, 3 filter dengan aliran air 48L/Jam, 2 filter dengan aliran air 40L/Jam, dan 2 filter dengan aliran air 56L/Jam, di mana setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Parameter yang dianalisis meliputi pH, *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan 3 filter dengan aliran air 32L/Jam, menghasilkan kualitas air terbaik dengan nilai pH sebesar 6,17, BOD sebesar 221 mg/L, dan COD sebesar 590 mg/L. Perlakuan lainnya menghasilkan nilai pH berkisar 4,49–4,69, BOD sebesar 1.204–1.961 mg/L, dan COD yang masih tinggi. Meskipun pH pada perlakuan terbaik telah memenuhi baku mutu, seluruh nilai BOD dan COD masih berada di atas standar lingkungan. Dengan demikian, alat pengolahan limbah cair berbasis tenaga surya mampu memperbaiki kualitas air limbah, namun belum sepenuhnya memenuhi baku mutu untuk parameter BOD dan COD.

Kata Kunci : limbah cair, UMKM opak, energi surya, pH, BOD, COD.

ABSTRACT

Riel Arjuna Munthe NPM 228150066 “*Experimental Analysis of Clean Water Quality Produced from Treated Liquid Waste in Opak Small and Medium Enterprises*” Supervised by Nukhe Andri Silviana, S.T. M.T.

Micro, small, and medium enterprises produce liquid waste with high organic content that has the potential to pollute the environment if disposed of without treatment. This study aims to analyze the quality of water treated by a solar-powered liquid waste treatment device and to determine the effect of variations in the number of filters and water flow velocity on the reduction of pollutant parameters. This study uses a quantitative method with an experimental approach. The treatment consisted of four variations, the use of three filters with a water flow rate of 32 L/hour, three filters with a water flow rate of 48 L/hour, two filters with a water flow rate of 40 L/hour, and two filters with a water flow rate of 56 L/hour. The parameters analyzed included pH, Biological Oxygen Demand (BOD), and Chemical Oxygen Demand (COD). The results showed that the treatment with 3 filters with medium flow produced the best water quality with a pH value of 6.17, BOD of 221 mg/L, and COD of 590 mg/L. The other treatments produced pH values ranging from 4.49 to 4.69, BOD of 1,204 to 1,961 mg/L, and COD that was still high. Although the pH in the best treatment met the quality standards, all BOD and COD values were still above environmental standards. Thus, solar-powered wastewater treatment devices can improve wastewater quality, but do not yet fully meet quality standards for BOD and COD parameters

Keywords : liquid waste, opaque, solar energy, pH, BOD, COD.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Eksperimental Kualitas Air Bersih Hasil Olahan Limbah Cair Pada UMKM Opak” dapat terselesaikan dengan baik. Adapun Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan Tugas Akhir Prodi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Dalam penyelesaian penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung yaitu :

1. Kedua Orangtua saya dan keluarga besar atas doa, motivasi, bimbingan, nasihat, dan segalanya yang telah diberikan pada penulis. Penyelesaian skripsi ini adalah wujud rasa hormat, cinta dan terima kasih penulis kepada kedua orang tua.
2. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng.,M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Eng Supriatno, ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Chalis Fajri Hasibuan ST, MT, Selaku Kepala Program Studi Teknik Industri.
5. Ibu Nukhe Andri Silviana, ST, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya
6. Bapak Johanto selaku pemilik pabrik Opak JH yang telah memberikan dukungan, motivasi dan turut membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

7. Sahabat dan teman-teman saya yang telah memberikan dukungan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dan turut membantu dalam menyelesaikan skripsi.
8. Teman-teman seangkatan serta abang dan kakak senior yang saya sayangi yang selalu memberikan dukungan kepada penulis. Dengan rasa suka cita penulis mengucapkan banyak terimakasih dari semua pihak dari manapun yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Proposal Tugas Akhir ini masih belum sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif dan inspirasi bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Medan, 06 Maret 2026



Riel Arjuna Munthe

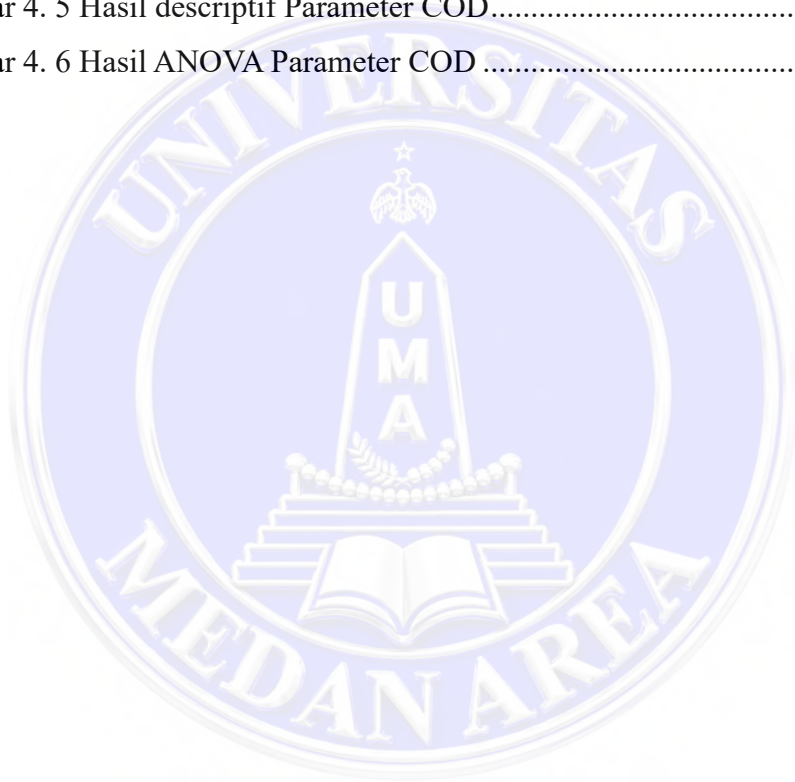
DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pengendalian dan Penjaminan Mutu	7
2.2 Limbah.....	8
2.3 Jenis-Jenis Limbah	10
2.3.1 Limbah Padat	10
2.3.2 Limbah Cair	10
2.3.3 Limbah Gas	12
2.4 Pengelolaan Limbah Cair	12
2.5 Standar Kualitas Air Limbah	14
2.5.1 pH (Tingkat Keasaman)	15
2.5.2 BOD (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>).....	16
2.5.3 COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>).....	17
2.6 Baku Mutu Air Limbah	18
2.7 Teknologi Pengolahan Limbah Cair.....	18
2.8 Metode Eksperimen Dalam Pengujian Kualitas Air.....	19
2.9 SPSS (<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>)	21
2.10 <i>Analysis of variances</i> (ANOVA).....	22
2.10.1 <i>One Way</i> ANOVA	23

2.11	Penelitian Terdahulu	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		26
3.1	Jenis dan Pendekatan Penelitian	26
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian	26
3.3	Objek Penelitian	26
3.4	Kerangka Berpikir	27
3.5	Teknik Penugumpulan Data	28
3.6	Prosedur Kerja	29
3.6.1	Pemeriksaan pH	29
3.6.2	Pemeriksaan BOD	29
3.6.3	Pemeriksaan COD	29
3.7	Analisis Data	30
3.9	<i>Flowchart</i> Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		34
4.1	Deskripsi Data Penelitian	34
4.2	Penyajian Hasil Pengujian	35
4.2.1	Hasil Pengujian pH	35
4.2.2	Hasil Pengujian BOD	36
4.2.3	Hasil Pengujian COD	37
4.3	Anaisis dan Pembahasan Hasil Berdasarkan Metode Statistik	38
4.3.1	Analisis Statistik Parameter pH	38
4.3.2	Analisis Statistik Parameter BOD	40
4.3.3	Analisis Statistik Parameter COD	41
BAB V PENUTUP		43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Limbah Cair Pengolahan Opak	2
Gambar 3.1 Kerangka Berpikir	27
Gambar 3.2 Flowchart Penelitian.....	32
Gambar 4. 1 Hail Deskriptif Parameter pH.....	38
Gambar 4. 2 Hasil ANOVA Parameter pH.....	39
Gambar 4.3 Hasil Deskriptif Parameter BOD.....	40
Gambar 4.4 Hasil ANOVA Parameter BOD	41
Gambar 4. 5 Hasil descriptif Parameter COD.....	41
Gambar 4. 6 Hasil ANOVA Parameter COD	42



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah	18
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	23
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian pH.....	36
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian BOD	36
Tabel 4. 3 Tabel Pengujian COD.....	37



BAB I

PENDAHULAN

1.1 Latar Belakang

Limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi industri pangan, termasuk UMKM opak, umumnya mengandung bahan organik yang tinggi. Limbah ini berasal dari proses pencucian bahan baku hingga pengolahan, yang menghasilkan air buangan dengan kandungan zat pencemar seperti padatan tersuspensi, minyak, serta senyawa organik. Apabila limbah cair tersebut dibuang langsung ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan yang memadai, maka berpotensi menimbulkan pencemaran air dan tanah (Purba *et al.*, 2025).

Salah satu indikator pencemaran limbah cair adalah tingginya nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD), serta kondisi pH yang tidak sesuai dengan baku mutu lingkungan. Nilai BOD dan COD yang tinggi menunjukkan banyaknya kandungan bahan organik dalam air, sedangkan pH yang terlalu asam atau basa dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Mandasari *et al.*, 2025). Oleh karena itu, pengolahan limbah cair menjadi hal yang sangat penting untuk menurunkan kadar pencemar sebelum dibuang ke lingkungan.

Berdasarkan hasil observasi lapangan di wilayah Tuntungan I, Sumatera Utara, masih terdapat UMKM opak yang membuang limbah cair hasil produksinya secara langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang optimal. Limbah tersebut umumnya dialirkan ke selokan atau tanah terbuka, yang berpotensi menyebabkan peningkatan kadar BOD dan COD serta penurunan kualitas air di sekitarnya. Jika kondisi ini terus berlangsung, maka dapat berdampak pada kerusakan lingkungan

serta menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair adalah sistem filtrasi. Teknologi filtrasi dipilih karena relatif sederhana, mudah diterapkan, serta sesuai dengan kebutuhan UMKM. Namun, efektivitas proses filtrasi sangat dipengaruhi oleh beberapa variabel operasional, di antaranya jumlah filter yang digunakan dan kecepatan aliran air dalam sistem. Variasi kedua faktor ini akan menentukan tingkat keberhasilan dalam menurunkan parameter pencemar.

Berdasarkan pengamatan awal terhadap limbah cair UMKM opak, diketahui bahwa air limbah memiliki karakteristik berwarna keruh kekuningan, mengandung partikel tersuspensi, serta memiliki pH sebesar 3,35 yang menunjukkan kondisi sangat asam. Hal ini mengindikasikan bahwa limbah cair tersebut memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan memerlukan proses pengolahan sebelum dapat dibuang atau dimanfaatkan kembali. Gambaran kondisi limbah cair tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Limbah Cair Pengolahan Opak

Warna yang tidak jernih serta adanya partikel tersuspensi menunjukkan bahwa limbah cair masih mengandung bahan pencemar organik yang belum terurai secara optimal. Selain itu, bau menyengat yang dihasilkan juga mengindikasikan tingginya kandungan zat organik di dalam limbah tersebut.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimen untuk menganalisis kualitas air hasil olahan limbah cair menggunakan alat filtrasi

berbasis tenaga surya. Parameter yang dianalisis meliputi pH, BOD, dan COD. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah filter dan kecepatan aliran air terhadap kualitas air hasil olahan, serta menentukan kombinasi perlakuan yang paling efektif dalam menghasilkan air yang memenuhi atau mendekati standar baku mutu lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kualitas air hasil olahan dari alat filtrasi limbah cair yang digunakan pada produksi UMKM opak?
2. Apakah kualitas air hasil olahan tersebut memenuhi standar baku mutu lingkungan yang berlaku berdasarkan parameter pH, BOD, dan COD?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisis kualitas air hasil olahan limbah cair menggunakan alat filtrasi pada UMKM opak berdasarkan parameter pH, Biochemical Oxygen Demand (BOD), dan Chemical Oxygen Demand (COD).
2. Untuk membandingkan hasil kualitas air olahan dengan standar baku mutu lingkungan yang berlaku, yaitu pH sebesar 6–9, $BOD \leq 80 \text{ mg/L}$, dan $COD \leq 160 \text{ mg/L}$.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan dan pengujian data air limbah hasil olahan dilakukan selama satu bulan penuh
2. Penelitian ini dibatasi pada pengujian laboratorium terhadap kualitas air limbah hasil olahan, dengan parameter yang dianalisis terbatas pada pH, BOD, dan COD.
3. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dan tidak mencakup perhitungan biaya alat maupun operasionalnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak yakni:

1. Bagi Mahasiswa

Penelitian ini dapat menjadi sarana pengembangan kemampuan analisis mahasiswa dalam menerapkan konsep dasar pengolahan limbah cair dan evaluasi kualitas air berdasarkan parameter lingkungan, serta menyusun karya ilmiah secara sistematis, logis, dan berbasis data.

2. Bagi Perusahaan

Hasil penelitian ini dapat memberikan gambaran awal mengenai efektivitas alat pengolah limbah cair berbasis tenaga surya dalam menurunkan kadar pencemar. Hal ini dapat dijadikan dasar pertimbangan bagi UMKM Opak.

3. Bagi Universitas

Penelitian ini dapat menjadi bahan referensi dalam pengembangan kajian di bidang teknologi lingkungan, khususnya terkait pengolahan limbah cair berbasis energi terbarukan, serta mendorong kolaborasi lintas disiplin dalam proyek penelitian mahasiswa.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan digunakan untuk mempermudah pemahaman penelitian. Dalam laporan ini, sistematika penulisan terdiri dari lima bab. Masing-masing dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang yang menjelaskan alasan dilakukannya penelitian tentang pemanfaatan limbah kulit singkong menjadi biobriket sebagai bahan bakar alternatif. Rumusan masalah disajikan untuk mengarahkan fokus penelitian, disertai dengan tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan, batasan masalah untuk memperjelas ruang lingkup studi, serta sistematika penulisan sebagai panduan isi keseluruhan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas kajian teori dan referensi yang relevan dengan topik penelitian, seperti teori mengenai limbah pertanian, energi alternatif, karakteristik biobriket, proses pembakaran, serta studi-studi terdahulu yang mendukung. Bab ini juga mencakup landasan teoritis yang digunakan dalam menganalisis hasil penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi lokasi dan waktu pelaksanaan, jenis dan sumber data, teknik pengumpulan data, serta metode analisis data. Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan pendekatan eksperimen laboratorium untuk menguji kualitas air hasil olahan dari alat konversi limbah cair berbasis tenaga surya. Parameter yang diuji meliputi pH, BOD, dan COD, yang kemudian dibandingkan dengan baku mutu lingkungan sesuai peraturan yang berlaku.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh, seperti nilai kalor biobriket dari limbah kulit singkong dan hasil simulasi pembakarannya. Selanjutnya, dilakukan pembahasan terhadap temuan tersebut, yang dikaitkan dengan teori atau studi sebelumnya untuk melihat efektivitasnya sebagai bahan bakar alternatif.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian sesuai dengan rumusan masalah. Selain itu, juga disampaikan saran-saran yang dapat berguna bagi pengembangan penelitian selanjutnya maupun bagi pihak-pihak yang berkepentingan dalam pemanfaatan limbah menjadi energi alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengendalian dan Penjaminan Mutu

Pengendalian mutu merupakan suatu proses yang dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa setiap hasil produksi sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan. Dalam pelaksanaannya, pengendalian mutu berfungsi untuk mendeteksi dan mengurangi kemungkinan terjadinya penyimpangan kualitas, serta menjaga agar proses tetap berjalan dalam batas kendali yang dapat diterima (Moektiwibowo *et al.*, 2021).

Di sisi lain, penjaminan mutu memiliki cakupan yang lebih luas dan bersifat preventif. Penjaminan mutu tidak hanya berfokus pada hasil akhir, melainkan juga mencakup perencanaan dan pengawasan seluruh proses produksi secara menyeluruh. Berdasarkan standar ISO 8042, penjaminan mutu melibatkan kegiatan perencanaan, pengendalian, peningkatan, serta penetapan tanggung jawab mutu di setiap bagian organisasi (Moektiwibowo *et al.*, 2013).

Dalam konteks pengolahan limbah cair, penerapan pengendalian mutu dapat dilihat dari proses pengukuran parameter seperti pH, BOD, dan COD untuk memastikan kualitas air hasil olahan sesuai dengan baku mutu yang berlaku. Sementara itu, penjaminan mutu tercermin melalui penerapan prosedur pengolahan yang konsisten, pemilihan metode yang tepat, serta evaluasi hasil secara berkala guna menjamin efektivitas alat dalam menurunkan tingkat pencemaran limbah cair.

2.2 Limbah

Sistem lingkungan industri merupakan suatu kerangka yang menunjukkan hubungan dan interaksi antara komponen-komponen dalam kegiatan industri dengan lingkungan sekitarnya. Sistem ini mencakup aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan, serta melibatkan aliran bahan, energi, dan informasi yang saling berpengaruh. Setiap keputusan atau tindakan pada satu bagian dalam sistem ini dapat memengaruhi bagian lainnya secara langsung maupun tidak langsung (Andarini, Kusumasari and Dwiheriana, 2024).

Limbah merupakan hasil sisa dari suatu aktivitas atau proses tertentu. Secara umum, sumber penghasil limbah dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu berasal dari aktivitas rumah tangga dan aktivitas industri (Muliyani *et al.*, 2020). Limbah cair dari aktivitas manusia berasal dari berbagai sumber, seperti kegiatan domestik (sungai pembuangan rumah tangga), aktivitas industri, pertanian, peternakan, serta urban runoff (limpasan permukaan perkotaan). pembuangan limbah cair domestik yang belum diolah ke sungai dapat menyebabkan peningkatan kadar PH, BOD, dan COD, mengakibatkan penurunan kualitas air hingga membahayakan kesehatan masyarakat sekitar (Firmanto *et al.*, 2023).

Secara umum, ada beberapa sumber limbah dari aktivitas manusia di antaranya:

1. Domestik

Mencakup air limbah dari rumah tangga, seperti bekas cucian, limbah mandi, dan toilet. Limbah ini umumnya mengandung bahan organik dan mikroorganisme patogen.

2. Industri

Limbah cair dari berbagai sektor industry seperti makanan, tekstil, petrokimia yang mengandung kontaminan kompleks seperti bahan organik, logam berat, senyawa kimia sintetis, dan padatan tersuspensi.

3. Pertanian dan peternakan

Termasuk limbah cair dari penggunaan pupuk dan pestisida, serta air limbah dari kandang hewan yang kaya akan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor.

Dampak lingkungan dari limbah tersebut meliputi pencemaran air, tanah, dan gangguan ekosistem. Misalnya, kelebihan nutrisi (fosfor dan nitrogen) dalam air permukaan dapat memicu eutrofikasi ledakan pertumbuhan alga yang mengakibatkan penurunan oksigen terlarut dan kematian biota air. Adapun dampaknya terhadap lingkungan adalah sebagai berikut:

1. Penurunan kualitas air permukaan dan air

Tanah Limbah domestik dan industri yang dilepaskan tanpa pengolahan dapat meningkatkan kadar BOD, dan COD di badan air, memicu eutrofikasi, menurunkan oksigen terlarut, dan merusak ekosistem akuatik.

2. Risiko kesehatan masyarakat

Kehadiran patogen (bakteri, virus, parasit) dalam air limbah dapat menyebabkan penyakit seperti diare, kolera, hepatitis, dan disfungsi sistem pencernaan.

3. Paparan zat kimia berbahaya

Limbah industri sering mengandung polutan beracun seperti logam berat, pestisida, serta bahan aktif farmasi atau produk perawatan pribadi. Paparan

jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan organ, gangguan sistem endokrin, hingga kanker .

2.3 Jenis-Jenis Limbah

Aktifitas manusia sehari-hari merupakan salah satu penyumbang limbah terbesar di lingkungan. Perubahan pola dan gaya hidup manusia juga memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan jumlah limbah yang ada di lingkungan. Berdasarkan bentuk fisiknya, limbah dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu limbah padat, limbah cair, dan limbah gas (Susanto *et al.*, 2025).

2.3.1 Limbah Padat

Limbah padat adalah limbah yang paling banyak ditemukan di lingkungan, baik dalam bentuk limbah padat organik maupun anorganik. Limbah padat memiliki bentuk padat dan berasal dari sisa proses industri maupun sisa aktifitas manusia (domestik). Sedangkan definisi limbah padat menurut SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan adalah limbah yang bentuk atau wujudnya padat dan berasal dari bahan organik atau anorganik yang dianggap tidak berguna lagi tetapi perlu dikelola agar tidak merusak lingkungan dan dapat melindungi pembangunan jangka panjang (Suprihatin, 2023).

2.3.2 Limbah Cair

Limbah cair merupakan zat pencemar yang berbentuk cair. Air limbah sendiri merupakan air buangan yang mengandung sampah atau sisa aktivitas dari rumah tangga, kegiatan komersial, maupun industri. Umumnya, air ini terdiri dari campuran antara air dan zat padat yang terlarut atau tersuspensi, dan dibuang ke

lingkungan sebagai hasil akhir dari suatu proses (Suhairin, Muanah and Dewi, 2020).

Limbah yang dihasilkan dari aktivitas industri menjadi salah satu tantangan utama di tengah pesatnya perkembangan industrialisasi. Karena itu, penerapan konsep industri yang ramah lingkungan menjadi sangat penting untuk diterapkan. Hal ini disebabkan karena limbah tidak hanya berasal dari proses produksi, tetapi juga berdampak langsung terhadap keberlangsungan kehidupan. Pengelolaan limbah seharusnya dilakukan sejak awal proses produksi agar tidak mencemari lingkungan. Limbah cair yang tidak diolah dengan benar masih mengandung berbagai jenis polutan yang berpotensi mencemari ekosistem, termasuk badan air terbuka seperti sungai, danau, dan laut, serta mencemari udara dan tanah. Kontaminasi ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia, kehidupan makhluk hidup lainnya, dan kelestarian lingkungan. Bahaya dari limbah cair industri antara lain mencakup pencemaran air, gangguan terhadap keseimbangan lingkungan, pencemaran tanah, dan risiko Kesehatan (Purba *et al.*, 2024).

Pendeteksian limbah di sektor industri bertujuan untuk menjaga kelestarian lingkungan dengan cara melindungi, memantau, serta mengurangi dampak buruk dari aktivitas industri terhadap ekosistem. Tujuan utama dari proses ini meliputi: mengidentifikasi potensi pencemaran, memantau kualitas air, udara, dan tanah, menjaga keseimbangan ekosistem serta keanekaragaman hayati, mengelola limbah secara efektif, serta memastikan bahwa aktivitas industri berjalan sesuai dengan peraturan lingkungan yang berlaku.

2.3.3 Limbah Gas

Limbah gas merupakan jenis limbah yang berbentuk uap atau gas, umumnya tampak dalam bentuk asap. Karena sifatnya yang ringan dan mudah menyebar, limbah gas memiliki jangkauan penyebaran yang luas. Contoh umum limbah gas antara lain berasal dari emisi kendaraan bermotor maupun dari hasil proses pembakaran di sektor industri (Iqbal and Novarizal, 2024). Dampak dari limbah gas ini cukup serius, antara lain menurunnya kualitas udara, gangguan kesehatan pernapasan pada manusia, rusaknya vegetasi, serta kontribusi terhadap pemanasan global akibat akumulasi gas rumah kaca di atmosfer.

2.4 Pengelolaan Limbah Cair

Di Indonesia, permasalahan pencemaran air dan lingkungan menjadi perhatian serius, baik dari sumber industri maupun rumah tangga. Sayangnya, pengolahan limbah cair masih dianggap sebagai teknologi yang mahal dan tidak terjangkau, khususnya bagi pelaku usaha kecil. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan dan menerapkan teknologi pengolahan limbah yang lebih sederhana, efisien, dan sesuai dengan kapasitas UMKM (Pambudi, Sudaryantiningsih and Geraldita, 2021).

Pengelolaan limbah cair bertujuan untuk mengurangi volume, konsentrasi, toksisitas, serta potensi bahayanya terhadap lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan limbah melalui metode penggunaan kembali (*reuse*), daur ulang (*recycle*), dan perolehan kembali (*recovery*). Setelah proses minimisasi dilakukan secara maksimal, sisa limbah yang masih terbentuk perlu diolah lebih lanjut dengan memperhatikan baku mutu yang telah ditetapkan

oleh peraturan yang berlaku. Umumnya, setiap proses pengolahan limbah akan menghasilkan residu atau sisa akhir, seperti lumpur (*sludge*). Sebelum dibuang ke lingkungan, sisa ini harus diproses kembali agar tidak menimbulkan pencemaran baru (Linggasari, 2023).

Adapun metode pengelolaan limbah cair terbagi menjadi tiga, yaitu adalah sebagai berikut:

1. Pendekatan secara fisik

Pengolahan limbah cair secara fisik merupakan proses yang mengandalkan mekanisme fisik tanpa melibatkan reaksi kimia atau biologis. Beberapa unit yang termasuk dalam metode ini antara lain penyaringan (*screening*), flotasi, filtrasi, dan pemindahan gas. Metode fisik ini umumnya digunakan sebagai tahapan awal (pra-pengolahan) sebelum air limbah memasuki proses kimia atau biologis, sehingga sistem pengolahan secara keseluruhan menjadi lebih efektif (Linggasari, 2023).

2. Pendekatan secara kimia

Metode pengolahan limbah cair secara kimia bertujuan untuk menangani karakteristik tertentu dari limbah yang tidak dapat diatasi dengan proses fisik. Beberapa fungsi utama dari metode ini antara lain adalah untuk menetralkan limbah cair yang bersifat asam atau basa, meningkatkan kualitas pemisahan padatan, memisahkan zat organik terlarut seperti senyawa koloidal, serta mengurangi kandungan lemak dan minyak. Selain itu, proses kimia juga dapat meningkatkan efisiensi pengolahan melalui mekanisme flokulasi dan filtrasi (Linggasari, 2023).

3. Pendekatan secara biologi

Pada proses pengolahan limbah cair secara biologis, mikroorganisme dimanfaatkan untuk menguraikan kandungan bahan organik yang terdapat dalam limbah. Mikroorganisme tersebut memerlukan pasokan oksigen agar proses penguraian dapat berlangsung secara optimal. Oleh karena itu, pada tahap aerasi, peran aerator sangat penting untuk menyediakan oksigen yang cukup bagi mikroorganisme, sehingga efisiensi dekomposisi bahan organik dalam air limbah dapat meningkat secara signifikan (Prasetya and Sitogasa, 2025).

2.5 Standar Kualitas Air Limbah

Standar kualitas air limbah atau yang dikenal dengan baku mutu air limbah adalah batas kadar pencemar yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan oleh pelaku usaha atau kegiatan. Ketentuan ini bertujuan untuk menjaga kelestarian lingkungan dan melindungi kesehatan manusia serta ekosistem dari bahaya pencemaran (Ali, Hastri and Rachman, 2023).

Di Indonesia, baku mutu air limbah diatur dalam berbagai regulasi, diantaranya adalah:

1. Peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan No. 6 Tahun 2021, tentang tata cara dan persyaratan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun. Dalam pasal 146 ayat (3), dijelaskan bahwa air limbah harus memenuhi baku mutu sebagaimana tercantum dalam Lampiran XVI peraturan tersebut.

2. Peraturan menteri lingkungan hidup No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Peraturan ini memuat standar kadar bahan pencemar seperti COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), pH, dan logam berat tergantung pada jenis industri.

Sebelum air limbah dibuang ke badan air seperti sungai, danau, atau laut, pengujian kualitas air hasil olahan wajib dilakukan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa air limbah yang dibuang telah memenuhi standar yang ditetapkan.

2.5.1 pH (Tingkat Keasaman)

pH merupakan ukuran tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan, yang digunakan untuk menunjukkan konsentrasi ion hidrogen di dalam larutan tersebut. Skala ini memudahkan dalam mengidentifikasi apakah suatu larutan bersifat asam, basa, atau netral, terutama untuk larutan encer. Nilai pH dapat memberikan gambaran mengenai kekuatan suatu asam atau basa. Pada konsentrasi (molaritas) yang sama, asam yang lebih kuat akan menghasilkan lebih banyak ion hidrogen (H^+) dalam larutan, sehingga nilai pH-nya menjadi lebih rendah. Sebaliknya, basa yang lebih kuat akan menghasilkan lebih banyak ion hidroksida (OH^-), yang menyebabkan konsentrasi ion H^+ dalam larutan semakin kecil, sehingga nilai pH menjadi lebih tinggi. Dengan kata lain, semakin kuat asam, semakin rendah pH-nya, dan semakin kuat basa, semakin tinggi pH-nya (Basuki, 2021).

Dalam konteks air limbah, nilai pH sangat berpengaruh terhadap proses pengolahan air, kestabilan bahan kimia dalam instalasi pengolahan, serta terhadap organisme di badan air penerima. Air limbah yang terlalu asam atau terlalu basa dapat merusak mikroorganisme yang berperan dalam proses biologis pengolahan

limbah. Selain itu, air limbah dengan pH ekstrem dapat bersifat korosif terhadap perpipaan dan tangki penyimpanan.

Menurut peraturan yang berlaku di Indonesia, seperti yang tercantum dalam Permen LH No. 5 Tahun 2014, batas pH yang diperbolehkan dalam air limbah umumnya berada pada kisaran 6,0 hingga 9,0, tergantung pada jenis industri dan badan air penerima. Nilai ini dianggap aman untuk lingkungan dan tidak mengganggu keseimbangan ekosistem perairan.

Kontrol pH dilakukan secara rutin baik sebelum maupun sesudah proses pengolahan limbah. Jika pH air limbah berada di luar rentang baku mutu, maka perlu dilakukan penyesuaian (netralisasi) menggunakan bahan kimia seperti asam sulfat (untuk menurunkan pH) atau natrium hidroksida (untuk menaikkan pH) sebelum air limbah dibuang ke lingkungan.

2.5.2 BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen biologis merupakan parameter penting untuk menunjukkan seberapa banyak oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme, seperti bakteri coliform, untuk menguraikan bahan organik dalam air secara aerobik. Semakin tinggi kadar BOD, semakin tinggi pula kandungan mikroorganisme dan bahan organik dalam air (Naillah, Budiarti and Heriyani, 2021).

Beberapa jenis bakteri seperti *Escherichia coli*, *Streptococcus*, dan *Staphylococcus* sering ditemukan dalam air dengan kadar BOD tinggi. Bakteri-bakteri ini dapat menyebabkan gangguan pencernaan serta iritasi kulit. Secara prinsip, pengukuran BOD dilakukan dengan cara mengukur kadar oksigen terlarut awal (DO_i) segera setelah pengambilan sampel, kemudian menginkubasi sampel

selama lima hari pada kondisi gelap dan suhu konstan (20°C). Setelah inkubasi, dilakukan pengukuran ulang terhadap oksigen terlarut (DO_s). Nilai BOD diperoleh dari selisih antara DO_i dan DO_s, dan dinyatakan dalam satuan mg/L (Naillah, Budiarti and Heriyani, 2021).

Menurut WHO, air yang tergolong baik memiliki kadar BOD antara 0–10 mg/L. Air dengan kadar BOD di atas 10 mg/L dianggap telah tercemar. Dalam beberapa penelitian, nilai BOD ditemukan berkisar antara 7,95 mg/L hingga 13,1 mg/L. Bahkan, pada musim hujan, kadar BOD bisa meningkat signifikan hingga mencapai 25,67 mg/L – 58,36 mg/L. Peningkatan ini menunjukkan adanya hubungan signifikan antara BOD dan jumlah bakteri coliform, dengan nilai $P < 0,01$. Artinya, semakin tinggi kadar BOD, semakin besar kemungkinan pertumbuhan bakteri coliform dalam badan air (Naillah, Budiarti and Heriyani, 2021).

2.5.3 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan secara kimia untuk menguraikan seluruh bahan organik yang terdapat dalam air, baik yang dapat maupun tidak dapat diuraikan secara biologis. Konsentrasi COD yang tinggi menandakan tingginya tingkat pencemaran air, karena menunjukkan adanya banyak senyawa organik yang teroksidasi. Uji COD umumnya menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan BOD karena banyak senyawa organik yang tidak mudah diurai secara biologis namun dapat dioksidasi secara kimia. Contohnya, bakteri coliform cenderung lebih mudah teroksidasi secara kimia daripada biologis (Naillah, Budiarti and Heriyani, 2021).

Menurut berbagai penelitian, air yang tidak tercemar memiliki nilai COD di bawah 20 mg/L dan sebaiknya tetap di atas 4 mg/L. Namun, beberapa hasil penelitian menunjukkan nilai COD yang sangat tinggi, seperti 320–360 mg/L, yang menandakan air sungai tersebut telah tercemar berat dan tidak sesuai dengan baku mutu air bersih menurut WHO (Naillah, Budiarti and Heriyani, 2021).

2.6 Baku Mutu Air Limbah

Berikut ini merupakan tabel baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia:

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Metode	Baku Mutu
BOD	SNI 06-2503-1991	80 mg/L
COD	SNI 6989-73:2009	160 mg/L
Minyak dan Lemak	SNI 06-6989-10-2004	20 mg/L
Sulfida	SNI 6989.70:2009	0,5 mg/L
Pahenol Compound	SNI 06-6989-21-2004	0,8 mg/L
Amonia	SNI 06-6989-23-2004	8 mg/L
pH	SNI 06-6989-23-2004	6-9
Temperatur	SNI 06-6989-23-2005	45 C

Sumber: (Roni, 2020)

Pengujian dilakukan secara berkala oleh laboratorium terakreditasi. Hasil pengujian ini kemudian dilaporkan ke instansi terkait seperti Dinas Lingkungan Hidup (DLH) atau Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

2.7 Teknologi Pengolahan Limbah Cair

Pengolahan limbah cair perlu dilakukan dengan teknologi yang tepat guna untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan, baik terhadap air, tanah, maupun dampaknya terhadap kesehatan manusia. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk menurunkan beban pencemar limbah, sehingga efluen yang dihasilkan

memenuhi standar mutu yang ditetapkan. Secara umum, pengolahan dilakukan setelah limbah keluar dari proses produksi (*end-of-pipe*) melalui pendekatan fisika, kimia, biologi, atau kombinasi dari ketiganya. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, kini tersedia berbagai jenis teknologi pengolahan limbah cair yang dapat disesuaikan dengan karakteristik limbah dan kondisi wilayah. Oleh karena itu, pemilihan teknologi harus mempertimbangkan informasi lengkap mengenai sumber dan jenis limbah, ketersediaan lahan, serta rencana pemanfaatan hasil olahan (Linggasari, 2023).

2.8 Metode Eksperimen Dalam Pengujian Kualitas Air

Metode eksperimen merupakan salah satu metode penelitian kuantitatif yang digunakan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara variabel melalui pemberian perlakuan (*treatment*) tertentu terhadap objek penelitian dalam kondisi yang terkontrol. Dalam metode ini, peneliti secara sengaja memanipulasi variabel bebas untuk mengamati pengaruhnya terhadap variabel terikat. Penelitian eksperimen bertujuan untuk menentukan apakah suatu perlakuan memiliki pengaruh terhadap hasil penelitian dengan cara membandingkan kelompok yang diberi perlakuan dengan kelompok yang tidak diberi perlakuan atau dengan perlakuan yang berbeda. Dengan demikian, metode eksperimen dianggap sebagai metode yang paling kuat dalam menguji hubungan kausalitas. (Selvira and Albina, 2025).

Desain eksperimen merupakan suatu rancangan atau strategi yang digunakan untuk mengatur jalannya penelitian eksperimen agar diperoleh data yang akurat dan dapat dianalisis secara statistik. Desain eksperimen mencakup

pengaturan variabel, perlakuan, pengulangan, serta teknik analisis data yang digunakan (Fegi, Ali and Ali, 2021).

Beberapa jenis desain eksperimen yang umum digunakan antara lain:

1. Rancangan Acak Lengkap (RAL)

Digunakan ketika kondisi lingkungan relatif homogen dan setiap perlakuan memiliki peluang yang sama.

2. Rancangan Faktorial

Digunakan untuk menguji lebih dari satu faktor secara bersamaan serta interaksi antar faktor.

3. Rancangan Acak Kelompok (RAK)

Digunakan ketika terdapat variasi lingkungan yang dapat dikelompokkan.

Dalam penelitian ini, desain eksperimen yang digunakan adalah desain eksperimen sederhana dengan variasi perlakuan filtrasi, yang merupakan kombinasi antara jumlah filter dan kecepatan aliran air. Kombinasi perlakuan ini diuji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas air limbah.

Dalam bidang lingkungan, khususnya pengujian kualitas air, metode eksperimen digunakan untuk menilai kondisi air limbah melalui serangkaian prosedur yang terukur dan sistematis. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memperoleh data kuantitatif yang dapat dianalisis secara objektif, sehingga hasil yang diperoleh lebih valid dan dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan.

Metode eksperimen pada pengujian kualitas air limbah melibatkan beberapa langkah utama, yaitu:

1. Pengambilan Sampel

Langkah awal adalah pengambilan sampel air dari sumber tertentu dengan prosedur standar untuk memastikan sampel representatif terhadap kondisi lingkungan yang diteliti.

2. Uji Laboratorium

Sampel kemudian diuji di laboratorium untuk mengetahui parameter-parameter pencemar seperti pH, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Setiap parameter memiliki metode uji tersendiri berdasarkan standar nasional seperti SNI atau metode internasional seperti APHA (*American Public Health Association*).

3. Analisis dan Interpretasi Data

Hasil pengujian dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang telah ditetapkan oleh pemerintah, seperti yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Dari data ini, dapat diketahui tingkat pencemaran dan efektivitas metode pengolahan air yang digunakan.

Melalui pendekatan eksperimental ini, kualitas air limbah dapat dinilai secara ilmiah dan objektif. Selain itu, metode ini juga memberikan dasar yang kuat dalam perencanaan, evaluasi, serta pengambilan kebijakan terkait pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

2.9 SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*)

SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) merupakan perangkat lunak statistik yang dirancang untuk mempermudah proses analisis data melalui berbagai fitur yang lengkap dan mudah digunakan. Aplikasi ini banyak dimanfaatkan dalam analisis data deskriptif, inferensial, hingga analisis multivariat

yang lebih kompleks. Penguasaan SPSS tidak hanya mendukung keterampilan analisis mahasiswa, tetapi juga menjadi nilai tambah dalam menghadapi persaingan di dunia kerja. Banyak instansi, baik perusahaan maupun lembaga riset, menetapkan kemampuan menggunakan perangkat lunak analisis seperti SPSS sebagai salah satu kualifikasi penting dalam proses perekrutan (Efa Irdhayanti *et al.*, 2024).

2.10 *Analysis of variances (ANOVA)*

Analisis varians (ANOVA) merupakan teknik statistik yang digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata dari beberapa kelompok yang berbeda. Metode ini sangat berguna dalam penelitian ilmiah, terutama jika terdapat lebih dari dua kelompok data yang ingin dibandingkan, seperti dalam desain eksperimen atau studi komparatif. Fokus utama dari ANOVA bukan hanya membandingkan rata-rata, melainkan melihat apakah variasi antar kelompok lebih besar daripada variasi di dalam kelompok itu sendiri (Lubis, 2024).

Dalam konteks penelitian eksperimental, ANOVA sering digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap hasil yang diamati. Teknik ini cocok diterapkan baik dalam desain acak sederhana maupun dalam penelitian kausal-komparatif, terutama jika terdapat satu variabel terikat dan satu atau lebih variabel bebas (Amanda, Nabila and Anggrain, 2022).

Penerapan ANOVA mensyaratkan terpenuhinya beberapa asumsi, yaitu data berdistribusi normal, varians antar kelompok bersifat homogen, dan data bersifat independen. Apabila hasil uji ANOVA menunjukkan nilai signifikansi lebih kecil

dari taraf kepercayaan yang ditetapkan ($\alpha = 0,05$), maka hipotesis nol (H_0) ditolak, yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan. Selanjutnya, untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda secara nyata, diperlukan uji lanjutan (post hoc) seperti Tukey HSD.

Dalam penelitian ini, ANOVA satu arah digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah filter dan kecepatan aliran air terhadap kualitas air limbah hasil olahan, yang ditinjau berdasarkan parameter pH, BOD, dan COD. Penggunaan metode ini diharapkan dapat memberikan dasar statistik yang kuat dalam menilai efektivitas masing-masing perlakuan pengolahan limbah cair.

2.10.1 *One Way* ANOVA

One way ANOVA adalah jenis analisis varians yang digunakan ketika hanya ada satu faktor bebas yang diuji pengaruhnya terhadap satu variabel terikat. Teknik ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan di antara rata-rata beberapa kelompok perlakuan yang berbeda. Biasanya digunakan dalam desain eksperimen acak, *one way* ANOVA memfokuskan pada pengujian seberapa besar perbedaan antar kelompok dibandingkan variasi dalam kelompok (Dewi, Aunurohim and Saptarini, 2023).

ANOVA satu jalur adalah metode analisis yang digunakan ketika penelitian hanya melibatkan satu variabel bebas. Metode ini diterapkan pada penelitian yang memiliki satu faktor dengan dua atau lebih kategori yang telah ditentukan oleh peneliti, bukan dipilih secara acak. Karena itu, hasil penelitian biasanya tidak dimaksudkan untuk digeneralisasikan ke kategori lain di luar yang diteliti. Contohnya adalah perbandingan berdasarkan jenis kelamin (pria dan wanita) atau

membandingkan efektivitas beberapa metode pembelajaran seperti metode A, B, dan C (Setiawan, 2020).

Perbedaan antar kategori dalam variabel bebas bisa berupa data kualitatif maupun kuantitatif. Selain itu, setiap subjek hanya termasuk dalam satu kelompok dan dipilih secara acak dari populasi tertentu. Tujuan utama ANOVA satu jalur adalah untuk membandingkan rata-rata dari lebih dari dua kelompok. Uji ini juga digunakan untuk melihat signifikansi perbedaan sehingga dapat diketahui apakah hasil penelitian dapat mewakili populasi. Dengan demikian, ANOVA satu jalur membantu dalam menganalisis perbedaan antar beberapa kelompok data sekaligus.

Dalam perhitungannya, digunakan beberapa komponen variasi, salah satunya adalah jumlah kuadrat total (JK_{tot}), yang merupakan penjumlahan kuadrat selisih antara setiap nilai individu dengan rata-rata total (M_{tot}), yang dirumuskan sebagai:

$$JK_{tot} = \sum X_{tot}^2 - \frac{(\sum X_{tot})^2}{N}$$

Selanjutnya, jumlah kuadrat antar kelompok (JK_{ant}) adalah jumlah kuadrat selisih antara rata-rata tiap kelompok dengan rata-rata total yang dikalikan dengan jumlah sampel tiap kelompok, dengan rumus:

$$JK_{ant} = \sum \frac{(\sum X_1)^2}{nk} - \frac{(\sum X_{tot})^2}{N}$$

Adapun jumlah kuadrat dalam kelompok (JK_{dal}) diperoleh dari:

$$JK_{dal} = JK_{tot} - JK_{ant}$$

Setiap sumber variasi memiliki derajat kebebasan (dk) yang berbeda, yaitu untuk variasi antar kelompok sebesar $m-1$, variasi dalam kelompok sebesar $N-m$, dan total sebesar $N-1$, dengan m sebagai jumlah kelompok dan N sebagai jumlah

seluruh sampel. Untuk menghitung nilai F_{hitung} , digunakan mean kuadrat, yaitu mean kuadrat antar kelompok (MK_{ant}) dan mean kuadrat dalam kelompok (MK_{dal}), yang dirumuskan sebagai:

$$MK_{ant} = \frac{JK_{ant}}{m - 1}$$

$$MK_{dal} = \frac{JK_{dal}}{N - 1}$$

Hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan ANOVA satu jalur adalah setiap sampel hanya berada dalam satu kategori. Sebagai contoh, jika ingin menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil belajar mahasiswa yang diajar menggunakan metode A, B, dan C, maka digunakan ANOVA satu jalur (one way ANOVA).

Berdasarkan konsep tersebut, metode ANOVA satu arah dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi parameter pencemar, yaitu pH, BOD, dan COD, terhadap kualitas air limbah yang telah diolah menggunakan alat konversi limbah cair berbasis tenaga surya pada proses produksi UMKM opak.

Penelitian bersifat eksperimental dengan pengolahan limbah dari masing-masing tahapan perlakuan dimana perlakuan pertama dilakukan dengan menggunakan 3 filter dengan putaran aliran air 32 L/Jam. Perlakuan kedua, dilakukan dengan menggunakan 3 filter dengan putaran aliran air 48 L/Jam. Perlakuan ketiga, dilakukan dengan menggunakan 2 filter dengan putaran aliran air 40 L/Jam. Dan perlakuan ke empat, dilakukan menggunakan 2 filter dengan putaran aliran air 56 L/Jam.

Meskipun terdapat tiga parameter (pH, BOD, dan COD), pengujian dilakukan secara terpisah terhadap setiap parameter kualitas air sebagai variabel

bebas terhadap satu variabel terikat, yaitu kualitas air hasil olahan. Karena itu, *one way* ANOVA menjadi pendekatan paling tepat untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan antara hasil pengolahan pada masing-masing perlakuan eksperimen.

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya bertujuan untuk memberikan referensi bagi peneliti dan membantu peneliti dalam menghindari kesan adanya kesamaan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Oleh karena itu, peneliti mencantumkan hasil-hasil dari penelitian sebelumnya.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

Nama dan Tahun	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
(Ramadania, Samsunar and Utamia, 2022)	Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biologycal Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo.	Penelitian kuantitatif deskriptif melalui uji laboratorium terhadap sampel air limbah domestik.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar sampel memiliki nilai pH, BOD, dan COD yang melebihi ambang batas baku mutu limbah domestik yang ditetapkan. Nilai pH cenderung asam, sedangkan BOD dan COD tinggi menandakan kandungan bahan organik yang masih banyak. Hal ini mengindikasikan bahwa pengolahan limbah yang ada belum optimal dan berisiko mencemari lingkungan.
(Pangestu, Sadida and	Pengaruh Kadar BOD, COD, pH dan TSS Pada	Penelitian eksperimen dengan	Penelitian menunjukkan bahwa kombinasi penggunaan

Nama dan Tahun	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Vitasari, 2021)	Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Filter Adsorben Alam dan Elektrokoagulasi	kombinasi metode adsorpsi menggunakan media alam dan elektrokoagulasi.	media filter alami dan elektrokoagulasi mampu menurunkan kadar BOD, COD, pH, dan TSS secara signifikan. Penurunan BOD dan COD menunjukkan efektivitas metode dalam mengurangi polutan organik, sementara stabilisasi pH mendekati netral menunjukkan perbaikan kualitas air limbah.
(Dunggio and Musa, 2022)	Pengujian Kualitas Kimia dan Fisika Limbah Cair Pada Industri Kecil dan Menengah Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kabupaten Poso Gorontalo Utara	Studi observasional dengan pengambilan sampel air limbah dari beberapa IKM dan pengujian laboratorium.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar industri kecil dan menengah (IKM) di daerah tersebut belum memiliki sistem pengolahan limbah yang memadai. Nilai BOD dan COD dari sampel yang diuji menunjukkan pencemaran tinggi, serta pH yang tidak stabil. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pengetahuan

Penelitian yang sedang dilakukan bertujuan untuk memberikan solusi bagi pelaku UMKM dalam mengatasi permasalahan limbah cair produksi, khususnya pada industri opak, melalui pemanfaatan alat konversi limbah cair berbasis tenaga surya. Alat ini dirancang untuk mengolah limbah cair agar kualitas airnya membaik dan aman untuk di buang ke lingkungan sekitar tanpa mencemari lingkungan tersebut. Inovasi ini tidak hanya ditujukan untuk mengurangi dampak pencemaran

lingkungan, tetapi juga sebagai langkah menuju pengelolaan limbah yang hemat energi dan berkelanjutan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen, di mana proses pengumpulan data dilakukan melalui pengujian laboratorium terhadap air hasil olahan pengolahan limbah dari masing-masing tahapan perlakuan dimana perlakuannya adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan dengan menggunakan 3 filter dengan putaran aliran air 32 L/Jam.
2. Dilakukan dengan menggunakan 3 filter dengan putaran aliran air 48 L/Jam.
3. Dilakukan dengan menggunakan 2 filter dengan putaran aliran air 40 L/Jam.
4. Dilakukan menggunakan 2 filter dengan putaran aliran air 56 L/Jam.

Parameter yang dianalisis meliputi pH, BOD, dan COD sebagai indikator utama kualitas air limbah. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu mengevaluasi efektivitas alat yang digunakan serta memberikan rekomendasi praktis bagi UMKM dalam pengelolaan limbah cair yang lebih ramah lingkungan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen, di mana proses pengumpulan data dilakukan melalui pengujian laboratorium terhadap air hasil olahan dari pengolahan limbah dari masing-masing tahapan perlakuan. Digunakan uji statistik *one way* ANOVA guna mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan terhadap parameter kualitas air seperti pH, BOD, dan COD.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Pada saat proses penyusunan untuk penelitian ini, penulis melakukan penelitian di salah satu pabrik Opak yang terletak di Tuntungan I Sumatera Utara. Kegiatan pengujian kualitas limbah cair dilaksanakan di balai standarisasi dan pelayanan jasa industri medan. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2025.

3.3 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah limbah cair dari proses produksi opak yang dihasilkan oleh UMKM di Tuntungan I. Limbah tersebut berasal dari proses pencucian bahan baku, dan perebusan. Limbah cair ini kemudian diolah menggunakan alat konversi limbah cair berbasis tenaga surya yang dirancang oleh rekan peneliti, untuk dianalisis kualitas air hasil olahannya.

3.4 Kerangka Berpikir

Berikut ini merupakan kerangka berpikir dalam penelitian ini:



Gambar 3.1 Kerangka Berpikir

Defenisi operasional:

1. Filter & Kecepatan Aliran Air

Filter dalam penelitian ini adalah komponen penyaring pada alat filtrasi limbah cair yang berfungsi untuk menahan dan mengurangi kandungan polutan fisik maupun kimia dalam air limbah. Filter digunakan dalam dua variasi jumlah, yaitu dua filter dan tiga filter, yang masing-masing mewakili tingkat intensitas penyaringan berbeda.

Kecepatan aliran air merupakan laju pergerakan air limbah yang diproses melalui alat konversi limbah cair berbasis tenaga surya, yang dibedakan menjadi kecepatan sedang (32-40 L/jam) dan kecepatan cepat (48-56 L/jam), menggambarkan perbedaan durasi kontak air limbah dengan media penyaringan.

Desain eksperimen dilakukan dengan kombinasi perlakuan sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Design Eksperimen

Eksperimen	Jumlah Filter & Kecepatan Alir (L/jam)	Perlakuan			Total	Rata-Rata
		1	2	3		
1	3 & 32	6,5	6,18	6,18	18,86	5,17
2	3 & 48	4,7	4,68	4,69	14,07	4,69
3	2 & 40	4,6	4,57	4,57	13,74	4,58
4	2 & 56	4,5	4,48	4,19	13,17	4,49

Sumber : Pengumpulan data

Variabel ini berperan sebagai faktor perlakuan utama untuk menguji pengaruh kombinasi jumlah filter dan kecepatan aliran terhadap perubahan nilai pH, BOD, dan COD.

2. Kualitas Air

Kualitas air adalah tingkat kejernihan, kebersihan, dan keamanan air hasil pengolahan yang ditentukan berdasarkan parameter pH, BOD, dan COD. Air hasil olahan yang memenuhi baku mutu lingkungan dianggap berkualitas baik dan aman untuk digunakan kembali atau dibuang ke lingkungan. Dalam penelitian ini, kualitas air akan dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 dan Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

3.5 Teknik Penugumpulan Data

Data dikumpulkan melalui:

1. Observasi Lapangan:

Mendokumentasikan kondisi limbah cair, proses pengambilan, dan pengolahan limbah.

2. Pengujian Laboratorium:

Sampel limbah diuji setelah pengolahan dengan parameter:

- A. pH: menggunakan pH meter digital.
- B. BOD: metode inkubasi 5 hari (mengacu pada SNI 06-2503-1991).
- C. COD: metode refluks tertutup (SNI 6989.2:2009).

3.6 Prosedur Kerja

3.6.1 Pemeriksaan pH

Sampel dimasukkan ke dalam wadah, kemudian pH meter dinyalakan dengan menekan tombol on, lalu pH meter dimasukkan ke dalam wadah yang berisi sampel, hasil dilihat di display digital.

3.6.2 Pemeriksaan BOD

Sampel dimasukkan sebanyak 5 mL ke dalam larutan erlenmeyer tutup asah, ditambahkan 1 mL MnSO_4 dan 1 ml Alkali Azida, sampel ditutup dan dikocok dengan membolak-balikkan botol, hingga terbentuk endapan. Ditambahkan 1 mL H_2SO_4 melalui dinding botol, kemudian ditutup dan dikocok kembali sampai endapan larut, lalu dititrasikan dengan *Natrium Thiosulfat* sampai warna kuning muda, ditambahkan 1-2 ml indikator kanji sampai warna biru dan titrasi dilanjutkan hingga warna biru hilang.

3.6.3 Pemeriksaan COD

Sampel dipipet 5 ml, dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer, ditambahkan 1 gr Hg_2SO_4 , 1 mL $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 3 mL reagen, kemudian mulut tabung ditutup, dikocok hingga homogen. Kemudian tabung COD dimasukkan ke dalam reaktor COD, tombol on ditekan pada suhu 148°C , kemudian dibiarkan selama 2 jam,

setelah itu sampel dipanaskan, kemudian reaktor dimatikan, lalu tabung COD dituangkan ke dalam erlenmeyer dan tabung SOD dibilas dengan aquadest. Setelah itu, larutan tersebut ditambahkan indikator ferroin dan dititrasi dengan Ferro Ammonium Sulfat.

3.7 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah jumlah filter dan kecepatan putaran air pada alat konversi limbah cair bertenaga surya berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas air. Parameter kualitas air yang dianalisis meliputi pH (tingkat keasaman), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Data yang diperoleh dari hasil eksperimen dianalisis secara kuantitatif menggunakan uji statistik *one way ANOVA*. Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata nilai pH, BOD, dan COD dari masing-masing kelompok perlakuan.

Adapun langkah-langkah analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data hasil pengujian kualitas air limbah yang meliputi parameter pH, BOD, dan COD dari masing-masing kelompok perlakuan.
2. Memasukkan data hasil pengujian ke dalam perangkat lunak SPSS untuk dilakukan pengolahan data secara statistik.
3. Melakukan uji ANOVA satu arah (*one way ANOVA*) secara terpisah untuk setiap parameter kualitas air, yaitu pH, BOD, dan COD.
4. Menetapkan hipotesis statistik yang diuji, yaitu:

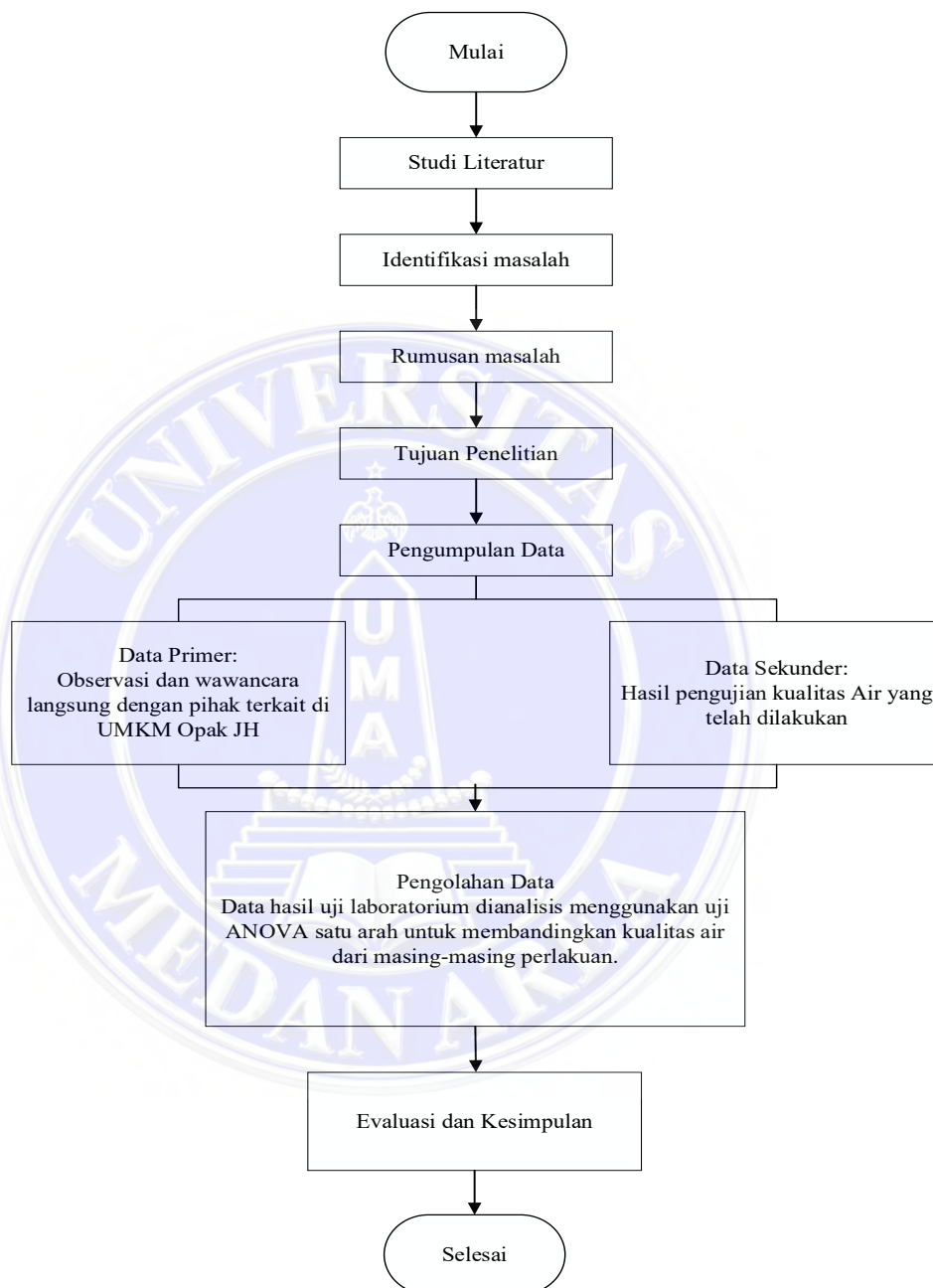
- A. Hipotesis nol (H_0): Tidak terdapat perbedaan yang signifikan nilai pH, BOD, dan COD air limbah hasil olahan antar perlakuan jumlah filter dan kecepatan aliran air.
 - B. Hipotesis alternatif (H_1): Terdapat perbedaan yang signifikan nilai pH, BOD, dan COD air limbah hasil olahan antar perlakuan jumlah filter dan kecepatan aliran air.
5. Menentukan keputusan uji berdasarkan nilai signifikansi (Sig.) atau *p-value* yang dihasilkan dari output ANOVA, dengan kriteria sebagai berikut:
- A. Jika nilai Sig. $< 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan.
 - B. Jika nilai Sig. $\geq 0,05$, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak, yang berarti tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan.

Penggunaan uji ANOVA satu arah dianggap tepat karena penelitian ini memiliki dua variabel bebas, yaitu jumlah filter dan kecepatan aliran air, yang dikombinasikan menjadi empat kelompok perlakuan, serta bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan tersebut terhadap masing-masing variabel terikat (pH, BOD, dan COD) secara terpisah. Uji ANOVA satu arah mampu menguji perbedaan rata-rata dari lebih dari dua kelompok perlakuan sehingga memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan uji statistik dua kelompok.

Selanjutnya, hasil analisis statistik dibandingkan dengan baku mutu kualitas air limbah berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, yang menyatakan bahwa air limbah dikategorikan memenuhi standar apabila memiliki nilai pH antara 6–9, BOD tidak lebih dari 80 mg/L, dan COD tidak lebih dari 160 mg/L.

3.9 *Flowchart Penelitian*

Berikut ini merupakan *flowchart* penelitian:



Gambar 3.2 *Flowchart* Penelitian

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dibuat maka dapat dibuat kesimpulan adalah sebagai berikut:

1. Perlakuan terbaik terdapat pada variasi filtrasi dengan 3 filter dan kecepatan aliran 32 L/jam, dengan nilai pH sebesar 6,17, BOD sebesar 221 mg/L, dan COD sebesar 590 mg/L.
2. Nilai pH pada perlakuan terbaik telah memenuhi standar baku mutu (6–9), namun nilai BOD dan COD masih melebihi batas baku mutu yaitu 80 mg/L dan 160 mg/L. Variasi perlakuan filtrasi berpengaruh signifikan terhadap kualitas air limbah berdasarkan parameter pH, BOD, dan COD.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar air limbah sebelum proses filtrasi diberikan perlakuan pendahuluan berupa penambahan bahan kimia sederhana guna mengoptimalkan penurunan nilai BOD dan COD. Bahan kimia yang dapat digunakan antara lain tawas (aluminium sulfat) untuk mengikat partikel tersuspensi dan senyawa organik

2. Selain itu, disarankan agar air limbah dilakukan proses pengendapan terlebih dahulu sebelum masuk ke alat pengolahan, dengan tujuan untuk mengurangi kandungan padatan tersuspensi dan beban pencemar awal.
3. Disarankan untuk penelitian selanjutnya menambahkan variasi desain eksperimen dengan menggunakan satu filter dan tiga filter pada kondisi aliran air yang lebih lambat, guna melihat pengaruhnya terhadap peningkatan kualitas air.



DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M.K., Hastri, E.D. and Rachman, A.M.I. (2023) 'Asas Pencemar Membayar (Polluter Pays Principle): Bentuk Pertanggungjawaban Hukum Pelaku Usaha yang Melanggar Baku Mutu Air Limbah', *Jurnal Panah Keadilan*, 2(1), pp. 52–68.
- Amanda, F., Nabila, P. and Anggrain, S. (2022) 'Pengaruh Kecerdasan Emosional Dan Pola Asuh Authoritative Dengan Prestasi Belajardengan Analisis Varian', *Jurnal.Asrypersadaquality.Com*, 1(1), pp. 13–23.
- Andarini, S., Kusumasari, I. and Dwiheriana, F. (2024) 'Hubungan Antara Lingkungan Bisnis Dengan RencanaPengembangan Bisnis', *Economics And Business Management Journal (EBMJ)*, 3(1), pp. 1–10.
- Basuki, K.H. (2021) 'Aplikasi Logaritma dalam Penentuan Derajat Keasaman (pH)', *Prosiding Diskusi Panel Nasional Pendidikan Matematika Universitas Indraprasta PGRI Jakarta.*, 1(58), pp. 29–38.
- Dunggio, I. and Musa, W.J.A. (2022) 'Pengujian Kualitas Kimia dan Fisika Limbah Cair Pada Industri Kecil dan Menengah di Daerah Aliran Sungai (DAS) Poso Kabupaten Gorontalo Utara', *Iswan Dunggio Weni JA Musa*, 4(2), pp. 36–46.
- Efa Irdhayanti *et al.* (2024) 'Kreatifitas Ilmiah melalui Pelatihan Skripsi Berbasis SPSS', *PaKMas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), pp. 116–122. Available at: <https://doi.org/10.54259/pakmas.v4i1.2644>.
- Fegi, F., Ali, M. and Ali, M. (2021) 'Pengaruh Pendekatan Inkuiri Berbasis Eksperimen dengan Menggunakan Media Sederhana untuk Meningkatkan Hasil Belajar Fisika', *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 38(1), pp. 24–29. Available at: <https://doi.org/10.15294/jpp.v38i1.29963>.
- Firmanto, A. *et al.* (2023) 'Analisis Buangan Limbah Cair Domestik terhadap Kualitas Air Sungai Kahayan dan Kesehatan Masyarakat di Kota Palangka Raya', *Agripeat Fakultas Pertanian UPR*, 17(2), pp. 101–123.
- Iqbal, M. and Novarizal, R. (2024) 'Tinjauan Viktimologi Pembuangan Limbah Pabrik Sagu di Desa Soren dan Desa Sungai Baru Kecamatan Gaung Kabupaten Indragiri Hilir'.

- Linggasari, S. (2023) 'Jurnal Teknologi Pertambangan Volume. 8 Nomor. 2 Periode September', *Teknik Lingkungan Universitas Mulawarman*, 7(1), pp. 1–10.
- Lubis, M.A.R. (2024) 'Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Briket Arang Dengan Menggunakan Metode Desain Eksperimen'.
- Mandasari, V. *et al.* (2025) 'Pelatihan Digital Branding untuk Pemberdayaan UMKM Opak Gambir: Studi Kasus di Kecamatan Slahung', 6(2), pp. 2346–2350.
- Moektiwibowo, H. *et al.* (2013) 'Analisis Pengendalian Mutu Ikut Pinggang Produksi Umkm “Bg” Menggunakan Metode Seven Tools Dan Qcc', *Jurnal Teknik Industri*, 13(2), pp. 142–154. Available at: <https://doi.org/10.35968/jtin.v13i2.1378>.
- Muliyani, N. *et al.* (2020) 'Kota Depok', 02(02), pp. 142–147.
- Naillah, A., Budiarti, L.Y. and Heriyani, F. (2021) 'Literature Review: Analisis Kualitas Air Sungai Dengan Tinjauan Parameter pH, Suhu, BOD, COD, DO terhadap Coliform', *Homeostatis*, 4(2), pp. 487–494.
- Pambudi, Y.S., Sudaryantiningsih, C. and Geraldita, G. (2021) 'Analisis Karakteristik Air Limbah Industri Tahu Dan alternatif Proses Pengolahannya Berdasarkan Prinsip-Prinsip Teknologi Tepat Guna', *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(8), pp. 4180–4192.
- Pangestu, W.P., Sadida, H. and 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), pp. 74–80. Available at: <https://doi.org/10.33084/mitl.v6i2.2376>.
- Prasetya, R.D. and Sitogasa, P.S.A. (2025) 'Analisis Kualitas Buangan Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Daur Ulang Plastik Di Jawa Timur', *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(1), pp. 193–205. Available at: <https://doi.org/10.52005/teslink.v1i1.420>.
- Purba, A.M. *et al.* (2024) 'Sistem Pendeteksian Air Limbah Cair Industri', *Jurnal Darma Agung*, 32(1), p. 483. Available at: <https://doi.org/10.46930/ojsuda.v32i1.4131>.
- Purba, S. *et al.* (2025) 'Perencanaan Wilayah Kota yang Berbasis Smart City untuk

- Meningkatkan Efisiensi Pelayanan Publik', 4(2), pp. 2291–2299.
- Ramadania, R., Samsunar, S. and Utamia, M. (2022) 'Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biologycal Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo', *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, 4(1), pp. 15–19. Available at: <https://doi.org/10.33059/jq.v4i1.4318>.
- Roni, K.A. (2020) 'PEMBUATAN BIOFILTER FITOREMEDIASI APU SEBAGAI MEDIA PENURUNAN Kiagus Ahmad Roni', 5, pp. 78–86.
- Selvira and Albina, M. (2025) 'MODEL PENELITIAN EKSPERIMENTAL DALAM PENDIDIKAN: MODEL PENELITIAN EKSPERIMENTAL DALAM PENDIDIKAN: JENIS , TUJUAN , DAN APLIKASINYA', 3(6).
- Setiawan, K. (no date) '2020'.
- Suhairin, S., Muanah, M. and Dewi, E.S. (2020) 'Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Pupuk Organik Cair Di Lombok Tengah Ntb', *SELAPARANG Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(1), p. 374. Available at: <https://doi.org/10.31764/jpmb.v4i1.3144>.
- Suprihatin, B.S.H. (2023) *Pengelolaan Limbah Padat, Limbah Industri dan B3, Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*. Available at: <http://elibs.unigres.ac.id/2231/1/PENGLOLAAN LIMBAH PADAT, LIMBAH INDUSTRI DAN B3-1215.pdf>.
- Susanto, L.M. *et al.* (2025) 'AKTIF MENGGUNAKAN AKTIVATOR NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH)', 11(9), pp. 1–9.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Pengantar Riset



UNIVERSITAS MEDAN AREA

FAKULTAS TEKNIK

Kampus I : Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate/Jalan PBSI Nomor 1 (061) 7366878, 7360168, 7364348, 7366781 Fax (061) 7366998 Medan 20223
 Kampus II : Jalan Setiabudi Nomor 79 / Jalan Sei Serayu Nomor 70 A, (061) 8225602, Fax (061) 8226331 Medan 20122
 Website: www.teknik.uma.ac.id E-mail: univ_medanarea@uma.ac.id

Nomor : 604/FT.5/01.10/XI/2025

17 November 2025

Lamp

Hal

: Penelitian Dan Pengambilan Data Tugas Akhir

Yth. Pimpinan UMKM Opak Jh
 Jl. Besar Tuntungan I Dusun II Kecamatan Pancur Batu
 Di
 Deli Serdang

Dengan hormat,
 Kami mohon kesediaan Bapak/Ibu berkenan untuk memberikan izin dan kesempatan kepada mahasiswa kami tersebut dibawah ini :

NO	N A M A	N P M	PRODI
1	RIEL ARJUNA MUNTHE	228150066	Teknik Industri

Untuk melaksanakan Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir pada perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu Pimpin.

Perlu kami jelaskan bahwa Pengambilan Data tersebut adalah semata-mata untuk tujuan ilmiah dan Skripsi yang merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa tersebut untuk mengikuti ujian sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Medan Area dan tidak untuk dipublikasikan, dengan judul penelitian :

Analisis Eksperimental Kualitas Air Hasil Olahan Alat Konversi Limbah Cair Bertenaga Surya pada UMKM Opak

Atas perhatian dan kerja sama yang baik diucapkan terima kasih.



Dr. Eng. Supriatno, ST, MT

Tembusan :
 1. Ka. BPMPP
 2. Mahasiswa
 3. File



Lampiran 2 Surat Selesai Riset

PABRIK OPAK JH

Jln. Besar Tuntungan I Dusun III, Kec. Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang,
Sumatera Utara

SURAT KETERANGAN RISET

Nomor : 02/SK-RS/JH/XII/2025

Pabrik Opak JH, dengan ini menyatakan bahawasanya yang tertera di bawah ini :

Nama : Riel Arjuna Munthe
NPM : 228150066
Fakultas : Teknik
Jurusan : Teknik Industri
Instansi : Universitas Medan Area

Telah selesai melaksanakan riset/penelitian di Pabrik Opak JH terhitung sejak tanggal 17 November 2025 sampai dengan 17 Desember 2025.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya. Atas perhatian dan kerja samanya, kami ucapkan terima kasih.

Tuntungan, 19 Desember 2025


Pemilik Pabrik Opak JH

Lampiran 3 Hasil Uji Parameter pH, BOD, Dan COD



BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI MEDAN
 Jl. Sisingamangaraja No.24, Telp.(061) 7867495, 7363471 Fax.(061) 7362830
 e-mail: bind_medan@kemenperin.go.id

Dok.No. : F-LP-016/3-1-02/22

SERTIFIKAT HASIL UJI

Certificate of Analysis

Nomor Sertifikat <i>Certificate No.</i>	: 2785/BSKJI/BSPJI-Medan/MS-P/XII/2025	Kepada Yth. <i>To</i>
Nomor Pengujian <i>Testing No.</i>	: PA-0722	RIEL ARJUNA MUNTHE/UMA/TEKNIK INDUSTRI/NIM.228150066 Jl. Kolam No. 1 Medan Estate, Sumatera Utara
No. Surat Permohonan Pengujian <i>Testing Request No.</i>	: 1022/BSKJI/BSPJI-Medan/LP/XII/2025	
Halaman <i>Page</i>	: 1 dari 2 <i>of</i>	

IDENTITAS CONTOH
Identity of Sample

Nama / Jenis Contoh
Sample Name / Type : Limbah Cair Perebusan Dan Pencucian Opak

Etiket / Merk
Trademark / Brand : -

Kode Sampel
Sample Code : Sampel 1

Lembaga Pengambil Contoh
Sampling Institution : Diantar Langsung

Prosedur Pengambilan Contoh
Sampling Procedure : -

Keterangan Contoh
Description of Sample : Tidak Disegel

Tanggal Sampel Diterima
Date of Sample Received : 03 Desember 2025

Tanggal Pengujian
Date of Testing : 03 Desember 2025

Hasil Pengujian
Result of Analysis : Terlampir
attached

Sertifikat ini hanya berlaku terhadap contoh tersebut diatas
This Certificate relate only to sample that been analyzed
Sertifikat hasil uji hanya bisa diproduksi ulang secara keseluruhan dan dengan persetujuan LP – BSPJI MEDAN
Certificate of analysis shall only be reproduced entirely and with approval from LP – BSPJI Medan

LABORATORIUM PENGUJI BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI MEDAN (LP-BSPJI MEDAN)
Testing Laboratory of Center for Standardization and Industrial Service Medan

Nomor Sertifikat : 2785/BSKJI/BSPJI-Medan/MS-P/XII/2025
 Certificate Number

Halaman : 2 dari 2
 Page : 2 of 2

Validasi
 Validity

HASIL UJI
THE TEST RESULT

No	Parameter	Unit	Hasil Uji	Metode Uji
1	Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/L	221*	SNI 06-2503-1991
2	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	590	SNI 06-6989.15-2019

Keterangan :

*) Tidak Termasuk Ruang Lingkup Akreditasi SNI ISO/IEC 17025:2017

Medan, 23 Desember 2025
 Manager Teknis Laboratorium Pengujian
 Technical Manager of Testing Laboratory

 Rossi Evana, ST
 NIP. 198207112005022001

Sertifikat ini hanya berlaku terhadap contoh tersebut diatas
This Certificate relate only to sample that been analyzed
 Sertifikat hasil uji hanya bisa diproduksi ulang secara keseluruhan dan dengan persetujuan LP – BSPJI MEDAN
Certificate of analysis shall only be reproduced entirely and with approval from LP – BSPJI Medan



BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI MEDAN
Jl. Sibungamangaraja No.24, Telp. (061) 7967495, 7363471 Fax. (061) 7362830
e-mail: bina_medan@kemenperin.go.id

Dok.No. : F-LP-016/3-1-02/22

SERTIFIKAT HASIL UJI Certificate of Analysis

Nomor Sertifikat <i>Certificate No.</i>	: 2786/BSKJI/BSPJI-Medan/MS-P/XII/2025	Kepada Yth. <i>To</i>
Nomor Pengujian <i>Testing No.</i>	: PA-0723	RIEL ARJUNA MUNTHE/UMA/TEKNIK INDUSTRI/NIM.228150066 Jl. Kolam No. 1 Medan Estate, Sumatera Utara
No. Surat Permohonan Pengujian <i>Testing Request No.</i>	: 1022/BSKJI/BSPJI-Medan/LP/XII/2025	
Halaman <i>Page</i>	: 1 dari 2 <i>of</i>	
IDENTITAS CONTOH <i>Identity of Sample</i>		
Nama / Jenis Contoh <i>Sample Name / Type</i>	: Limbah Cair Perebusan Dan Pencucian Opak	
Etiket / Merk <i>Trademark / Brand</i>	: -	
Kode Sampel <i>Sample Code</i>	: Sampel 2	
Lembaga Pengambil Contoh <i>Sampling Institution</i>	: Diantar Langsung	
Prosedur Pengambilan Contoh <i>Sampling Procedure</i>	: -	
Keterangan Contoh <i>Description of Sample</i>	: Tidak Disegel	
Tanggal Sampel Diterima <i>Date of Sample Received</i>	: 03 Desember 2025	
Tanggal Pengujian <i>Date of Testing</i>	: 03 Desember 2025	
Hasil Pengujian <i>Result of Analysis</i>	: Terlampir <i>attached</i>	

Sertifikat ini hanya berlaku terhadap contoh tersebut diatas
This Certificate relate only to sample that been analyzed
Sertifikat hasil uji hanya bisa diproduksi ulang secara keseluruhan dan dengan persetujuan LP – BSPJI MEDAN
Certificate of analysis shall only be reproduced entirely and with approval from LP – BSPJI Medan

LABORATORIUM PENGUJI BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI MEDAN (LP-BSPJI MEDAN)
Testing Laboratory of Center for Standardization and Industrial Service Medan

Nomor Sertifikat : 2786/BSKJI/BSPJI-Medan/MS-P/XII/2025
 Certificate Number

Halaman : 2 dari 2
 Page : 2 of 2

Validasi
 Validity

HASIL UJI THE TEST RESULT

No	Parameter	Unit	Hasil Uji	Metode Uji
1	Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/L	1204*	SNI 06-2503-1991
2	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	4428	SNI 06-6989.15-2019

Keterangan :

) Tidak Termasuk Ruang Lingkup Akreditasi SNI ISO/IEC 17025:2017) Tidak Termasuk Ruang Lingkup Akreditasi SNI ISO/IEC 17025:2017

Medan, 29 Desember 2025
 Manager, Laboratorium Pengujian
 Technical Manager of Testing Laboratory

Rossi Evana, ST
 NIP. 198207112005022001

Sertifikat ini hanya berlaku terhadap contoh tersebut diatas

This Certificate relate only to sample that been analyzed

Sertifikat hasil uji hanya bisa diproduksi ulang secara keseluruhan dan dengan persetujuan LP - BSPJI MEDAN
 Certificate of analysis shall only be reproduced entirely and with approval from LP - BSPJI Medan



BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI MEDAN
 Jl. Sisingamangaraja No.24, Telp.(061) 7867495, 7363471 Fax.(061) 7362830
 e-mail: bund_medan@kemenperin.go.id

Dok.No. : F-LP-016/3-1-02/22

SERTIFIKAT HASIL UJI

Certificate of Analysis

Nomor Sertifikat : 2787/BSKJI/BSPJI-
Certificate No. Medan/MS-P/XII/2025

Nomor Pengujian : PA-0724
Testing No.

No. Surat Permohonan Pengujian : 1022/BSKJI/BSPJI-
Testing Request No. Medan/LP/XII/2025

Halaman : 1 dari 2
Page of

Kepada Yth.
To

RIEL ARJUNA
MUNTHE/UMA/TEKNIK
INDUSTRI/NIM.228150066
 Jl. Kolam No. 1 Medan Estate,
 Sumatera Utara

IDENTITAS CONTOH

Identity of Sample

Nama / Jenis Contoh : Limbah Cair Perebusan Dan Pencucian Opak
Sample Name / Type

Etiket / Merk
Trademark / Brand

Kode Sampel : Sampel-3
Sample Code

Lembaga Pengambil Contoh : Diantar Langsung
Sampling Institution

Prosedur Pengambilan Contoh : -
Sampling Procedure

Keterangan Contoh : Tidak Disegel
Description of Sample

Tanggal Sampel Diterima : 03 Desember 2025
Date of Sample Received

Tanggal Pengujian : 03 Desember 2025
Date of Testing

Hasil Pengujian : Terlampir
Result of Analysis attached

Sertifikat ini hanya berlaku terhadap contoh tersebut diatas

This Certificate relate only to sample that been analyzed

Sertifikat hasil uji hanya bisa diproduksi ulang secara keseluruhan dan dengan persetujuan LP – BSPJI MEDAN
Certificate of analysis shall only be reproduced entirely and with approval from LP – BSPJI Medan

LABORATORIUM PENGUJI BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI MEDAN (LP-BSPJI MEDAN)
Testing Laboratory of Center for Standardization and Industrial Service Medan

Nomor Sertifikat
 Certificate Number: 2787/BSKJI/BSPJI-Medan/MS-P/XII/2025

Halaman
 Page: 2 dari 2
 2 of 2

Validasi
 Validity

HASIL UJI **THE TEST RESULT**

No	Parameter	Unit	Hasil Uji	Metode Uji
1	Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/L	1798*	SNI 06-2503-1991
2	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	6790	SNI 06-6989.15-2019

Keterangan :

*) Tidak Termasuk Ruang Lingkup Akreditasi SNI ISO/IEC 17025:2017

Medan, 23 Desember 2025
 Manajer Teknis Laboratorium Pengujian
 Technical Manager of Testing Laboratory

Rossi Evana, ST
 NIP. 198207112005022001

Sertifikat ini hanya berlaku terhadap contoh tersebut diatas

This Certificate relate only to sample that been analyzed

Sertifikat hasil uji hanya bisa diproduksi ulang secara keseluruhan dan dengan persetujuan LP – BSPJI MEDAN
Certificate of analysis shall only be reproduced entirely and with approval from LP – BSPJI Medan



BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI MEDAN
 Jl. Sisingamangaraja No.24, Telp.(061) 7967495, 7363471 Fax.(061) 7362830
 e-mail: bndi.medan@kemenperin.go.id

Dok.No. : F-LP-016/3-I-02/22

SERTIFIKAT HASIL UJI

Certificate of Analysis

Nomor Sertifikat : 2788/BSKJI/BSPJI-
 Certificate No. Medan/MS-P/XII/2025

Kepada Yth.
 To

Nomor Pengujian : PA-0725
 Testing No.

RIEL ARJUNA
 MUNTHE/UMA/TEKNIK
 INDUSTRI/NIM.228150066

No. Surat Permohonan Pengujian : 1022/BSKJI/BSPJI-
 Testing Request No. Medan/LP/XII/2025

Jl. Kolam No. 1 Medan Estate,
 Sumatera Utara

Halaman : 1 dari 2
 Page of

IDENTITAS CONTOH

Identity of Sample

Nama / Jenis Contoh : Limbah Cair Perebusan Dan Pencucian Opak
 Sample Name / Type

Etiket / Merk :
 Trademark / Brand

Kode Sampel : Sampel 4
 Sample Code

Lembaga Pengambil Contoh : Diantar Langsung
 Sampling Institution

Prosedur Pengambilan Contoh : -
 Sampling Procedure

Keterangan Contoh : Tidak Disegel
 Description of Sample

Tanggal Sampel Diterima : 03 Desember 2025
 Date of Sample Received

Tanggal Pengujian : 03 Desember 2025
 Date of Testing

Hasil Pengujian : Terlampir
 Result of Analysis attached

Sertifikat ini hanya berlaku terhadap contoh tersebut diatas
 This Certificate relate only to sample that been analyzed

Sertifikat hasil uji hanya bisa diproduksi ulang secara keseluruhan dan dengan persetujuan LP – BSPJI MEDAN
 Certificate of analysis shall only be reproduced entirely and with approval from LP – BSPJI Medan

LABORATORIUM PENGUJI BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI MEDAN (LP-BSPJI MEDAN)
Testing Laboratory of Center for Standardization and Industrial Service Medan

Nomor Sertifikat
 Certificate Number : 2788/BSKJI/BSPJI-Medan/MS-P/XII/2025

Halaman
 Page : 2 dari 2
 2 of 2

Validasi
 Validity

HASIL UJI THE TEST RESULT

No	Parameter	Unit	Hasil Uji	Metode Uji
1	Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/L	1961*	SNI 06-2503-1991
2	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	6199	SNI 06-6989.15-2019

Keterangan :

*) Tidak Termasuk Ruang Lingkup Akreditasi SNI ISO/IEC 17025:2017

Medan, 23 Desember 2025
 Manajer Teknis / Laboratorium Pengujian
 Technical Manager of Testing Laboratory

Rossi Evana, ST
 NIP. 198207112005022001

Sertifikat ini hanya berlaku terhadap contoh tersebut diatas

This Certificate relate only to sample that been analyzed

Sertifikat hasil uji hanya bisa diproduksi ulang secara keseluruhan dan dengan persetujuan LP – BSPJI MEDAN
 Certificate of analysis shall only be reproduced entirely and with approval from LP – BSPJI Medan

Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian



