

**ANALISIS EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
(IPAL) PADA PARAMETER COD DI INDUSTRI GULA PT.XYZ
DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 16.000 TCD**

(Skripsi)

Oleh

**DESY NUR MAYA
2114051017**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

ANALYSIS OF EFFECTIVENESS OF WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) ON COD PARAMETERS AT PT.XYZ SUGAR INDUSTRY WITH A PRODUCTION CAPACITY OF 16,000 TCD

By

DESY NUR MAYA

This study aimed to determine the effect of total sugarcane processed on the COD levels of wastewater from the industrial wastewater treatment plant (WWTP) and to analyze the effectiveness of the WWTP at a sugar industry with a capacity of 16,000 TCD (tons of sugarcane per day) on the COD parameter during the period of April to October 2024. The data on the effect of total sugarcane processed on the COD levels of the WWTP wastewater were analyzed for homogeneity of variance using the Kolmogorov-Smirnov test. Subsequently, the data were analyzed using the Pearson Product Moment Correlation method and further tested at a 5% significance level. Then, simple linear regression analysis was performed. The test results showed that the correlation between total sugarcane processed and COD levels in the WWTP wastewater was -0.192, indicating a negative, very weak, and statistically insignificant relationship. The total sugarcane processed contributed 3.69% to the variation in COD levels of the WWTP wastewater. The effectiveness of COD reduction in the WWTP was calculated using the general formula from Metcalf and Eddy (2003). The weekly effectiveness values of the WWTP in reducing COD levels from April to October 2024 were consecutively 94.19%, 98.05%, 97.98%, 98.24%, 95.18%, 96.69%, 95.51%, 97.42%, 96.69%, 93.43%, 95.86%, 95.48%, 96.83%, 96.80%, 95.52%, 98.96%, 98.47%, 99.26%, 99.09%, 98.54%, 97.5%, 98.92%, and 98.1%. The average effectiveness value of the WWTP from April to October 2024 was 97.16%, indicating that the reduction of COD levels in the WWTP wastewater had been carried out effectively and efficiently.

Keywords: Effectiveness, WWTP, Sugar Industry, COD, Total Milled Sugarcane

ABSTRAK

ANALISIS EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PADA PARAMETER COD DI INDUSTRI GULA PT.XYZ DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 16.000 TCD

Oleh

DESY NUR MAYA

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh total tebu giling terhadap kadar COD air limbah IPAL yang dihasilkan dan menganalisis efektivitas instalasi pengolahan air limbah di industri gula dengan kapasitas 16.000 TCD (ton tebu per hari) pada parameter COD dalam kurun waktu April-Oktober 2024. Data pengujian pengaruh total tebu giling terhadap kadar COD air limbah IPAL dianalisis kesamaan ragamnya dengan uji Kolmogorov-Smirnov. Selanjutnya data dianalisis korelasi dengan metode Korelasi Pearson dan diuji lanjut pada taraf signifikansi 5%. Selanjutnya data dianalisis regresi linier sederhana. Hasil pengujian menunjukkan bahwa korelasi total tebu giling terhadap kadar COD air limbah IPAL adalah -0.192 dengan hubungan negatif, kekuatan sangat lemah dan tidak signifikan secara statistik. Total tebu giling berpengaruh sebesar 3,69% terhadap variasi kadar COD air limbah IPAL. Efektivitas penurunan kadar COD air limbah IPAL dihitung dengan rumus umum dari Metcalf dan Eddy, 2003. Hasil pengujian nilai efektivitas IPAL dalam menurunkan kadar COD pada kurun waktu April - Oktober 2024 yang dihitung efektivitasnya per minggu secara berturut-turut adalah 94,19%, 98,05%, 97,98%, 98,24%, 95,18%, 96,69%, 95,51%, 97,42%, 96,69%, 93,43%, 95,86%, 95,48%, 96,83%, 96,80%, 95,52%, 98,96%, 98,47%, 99,26%, 99,09%, 98,54%, 97, 5%, 98,92% dan 98,1%. Nilai rata rata efektivitas IPAL dari April-Oktober 2024 adalah 97,16% yang menunjukkan bahwa penurunan kadar COD air limbah IPAL sudah berjalan efektif dan efisien.

Kata kunci: Efektivitas, IPAL, Industri Gula, COD, Total tebu giling

**ANALISIS EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
(IPAL) PADA PARAMETER COD DI INDUSTRI GULA PT.XYZ
DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 16.000 TCD**

Oleh

Desy Nur Maya

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi : **ANALISIS EFEKTIVITAS INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PADA
PARAMETER COD DI INDUSTRI GULA
PT.XYZ DENGAN KAPASITAS PRODUKSI
16.000 TCD**

Nama Mahasiswa : **Desy Nur Maya**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2114051017**

Program Studi : **S1 Teknologi Hasil Pertanian**

Jurusan : **Teknologi Hasil Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A. C.EIA.

NIP. 19721006 199803 1 005

Dr. Wisnu Satyajaya, S.T.P., M.M., M.Si., M.Phil.

NIP. 19750330 200601 1 001

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A. C.EIA.

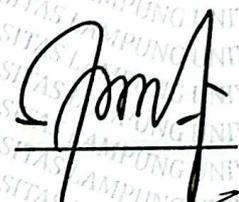
NIP. 19721006 199803 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A. C.EIA.



Sekretaris

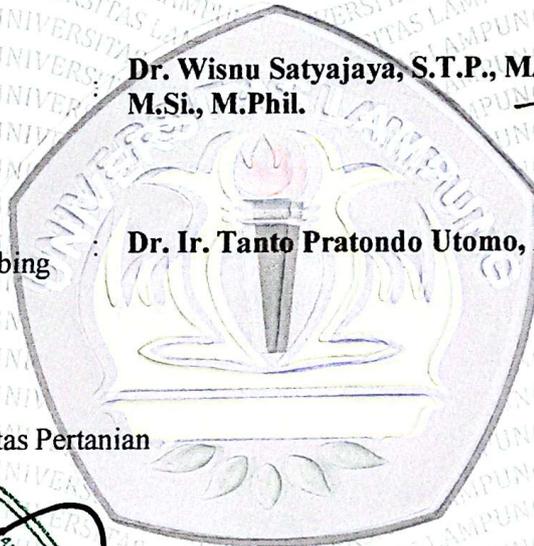
**Dr. Wisnu Satyajaya, S.T.P., M.M.,
M.Si., M.Phil.**



Penguji

Bukan Pembimbing

Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 19641118-198902 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 23 Mei 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Desy Nur Maya

NPM : 2114011017

Dengan ini, saya menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri, yang didasarkan pada pengetahuan dan penelitian yang telah saya lakukan. Karya ilmiah ini tidak mengandung materi yang dipublikasikan sebelumnya, atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan adanya kecurangan dalam karya ini, saya siap untuk mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 23 Mei 2025
Pembuat Pernyataan



Desy Nur Maya
NPM 2114051017

RIWAYAT HIDUP

Desy Nur Maya lahir di Desa Kalipapan pada tanggal 21 Desember 2002. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Bapak Hamid Sanusi dan Ibu Sri Setiati. Penulis menyelesaikan Pendidikan di TK IKI PTPN 7 Unit Usaha Tulung Buyut pada tahun 2009, SDN 1 Kalipapan pada tahun 2015, SMP Budi Karya Natar pada tahun 2018 dan SMAN 1 Natar pada tahun 2021. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Bulan Januari hingga Februari 2024, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Lebak Peniangan, Kecamatan Rebang Tangkas, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Bulan Juli hingga Agustus 2024, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Pemukasakti Manisindah, Pakuan Ratu, Way Kanan dan menyelesaikan laporan PU berjudul “Sistem Pengelolaan Limbah Cair pada IPAL PT. Pemukasakti Manisindah Kabupaten Way Kanan.” Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai anggota di UKM Penelitian Universitas Lampung periode kepengurusan 2023 dan Penulis berkesempatan bergabung dengan Pengurus UKM Penelitian Universitas Lampung sebagai Kepala Departemen Informasi dan Komunikasi pada periode kepengurusan 2024. Selain itu, penulis juga aktif sebagai anggota penuh Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian (HMJ THP) Universitas Lampung

SANWACANA

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, hingga skripsi ini dapat terselesaikan. Ucapan terimakasih disampaikan kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian sekaligus pembimbing akademik dan pembimbing pertama skripsi yang telah dengan sabar memberikan pengarahan dan bimbingan dalam pelaksanaan perkuliahan, juga nasihat, motivasi, saran dan ilmunya selama penyusunan skripsi.
3. Bapak Dr. Wisnu Satyajaya, S.T.P., M.M., M.Si., M.Phil., selaku Sekretaris Jurusan Teknologi Hasil Pertanian sekaligus pengganti pembimbing kedua skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan, motivasi, saran dan ilmunya selama penyusunan skripsi.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Teknologi Hasil Pertanian sekaligus pengganti sementara pembimbing kedua yang banyak memberikan pengarahan dan saran selama penyusunan skripsi.
5. Ibu Ir. Otik Nawansih, M.P., selaku dosen pembimbing kedua skripsi yang telah dengan sabar dan telaten memberikan pengarahan, nasihat, motivasi dan ilmunya dalam penyusunan skripsi, semoga Allah menjamin surga untuk ibu.
6. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan motivasi membangun untuk penyempurnaan skripsi.
7. Kedua Orangtuaku, Kedua kakakku dan seluruh keluarga atas doa, waktu, tenaga dan motivasi moral maupun materil yang selalu diberikan untuk

penulis dalam setiap perjalanan menyelesaikan perkuliahan.

8. Perusahaan yang telah bersedia memberikan kesempatan kepada penulis untuk belajar dan melakukan penelitian hingga terselesaikannya skripsi.
9. Bapak Yudi Sulistiyobudi, S.T selaku *Manager Dept. Factory*, Bapak Muhammad Sabiquun, S.T selaku pembimbing lapangan, Bapak Agung Budi Wijaya, S.H selaku HR, Bapak Rido Mirfan, S.Si selaku *Officer Lab. Factory* serta para *Admin Dept Factory* Pak Ari, Bu Yulita, Bu Erna, Pak Rendy dan Pak Desno yang telah banyak membantu penulis dalam kelancaran penelitian dan skripsi penulis.
10. Bapak Edy Sugito dan keluarga, Ibu Yulita dan Keluarga, Bapak Andre dan Keluarga, atas bantuan dan perhatian yang diberikan selama penelitian.
11. Teman temanku Arvi, Alisti, Yuni, Elni, Ningsih, Hani, Mia, Nisa, Sri, Wianda, Meisha, Arin, Fachri, Dila dan Laula atas bantuan, dukungan, canda tawa dan nasehat yang kebersamai dalam penyelesaian skripsi.
12. Teman teman angkatan 2021 atas semangat, dukungan, canda tawa dan bantuannya selama perkuliahan.
13. Anggota KKN Lebak Peniangan 2, Anna, Shafa, Shifa, David, Dio & Kidung atas dukungan, motivasi dan kebersamai dalam penyelesaian skripsi.
14. Terakhir, terimakasih untuk diri sendiri dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Skripsi ini merupakan suatu pencapaian yang patut dihargai.

Penulis berharap semoga Allah SWT melimpahkan kesehatan, kebahagiaan dan membalas segala kebaikan yang pernah diberikan. Penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari berbagai pihak demi perbaikan karya di masa yang akan datang. Penulis berharap skripsi ini bisa bermanfaat dan berkah untuk semua.

Bandar Lampung, 18 Mei 2025

Desy Nur Maya

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2. Tujuan	3
1.3. Kerangka Pemikiran.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Tanaman Tebu (<i>Saccharum officinarum</i>)	9
2.2. Industri Gula	11
2.3. Limbah Industri Gula	13
2.4. Karakteristik Air Limbah Industri Gula.....	15
2.5. Instalasi Pengolahan Air Limbah	16
2.6. Baku Mutu Air Limbah Industri Gula	18
2.7. <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	19
2.8. Uji Korelasi Pearson	21
III. METODE PENELITIAN	23
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2. Bahan dan Alat Penelitian.....	23
3.3. Metode Penelitian	23
3.4. Pelaksanaan Penelitian	24
3.4.1. Pembuatan Bahan Reagen.....	24
A). Pembuatan Larutan Digestion Konsentrasi Tinggi	24
B). Pembuatan Larutan Digestion Konsentrasi Rendah	25
C). Pembuatan Larutan Pereaksi Asam Sulfat	26
3.4.2. Analisis Kadar COD Sampel	27
3.4.3. Perhitungan Kadar COD	29

3.5. Analisis Data Penelitian	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Hubungan Antara Total Tebu Giling dan Kadar COD Inlet IPAL	31
4.2. Kondisi Fisik IPAL Terkini dan Jalan Proses Pengolahan Air Limbah.....	34
4.2.1 Kolam Influen	36
4.2.2 Kolam Ekualisasi	37
4.2.3 Kolam Anaerobik.....	38
4.2.4 Kolam Fakultatif	39
4.2.5 Kolam Aerobik.....	41
4.2.6 Kolam Monitor.....	43
4.3. Efektifitas Instalasi Pengolahan Air Limbah PT. XYZ	45
V. SIMPULAN DAN SARAN	51
5.1. Simpulan	51
5.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Baku Mutu Air Limbah PT.XYZ.....	18
2. Pedoman derajat hubungan	29
3. Data Hasil penelitian data total tebu giling dan kadar COD inlet IPAL PT. XYZ.....	31
4. Hasil analisis lanjut data total tebu giling dan kadar COD inlet IPAL PT. XYZ	32
5. Unit kolam pada IPAL PT.XYZ	36
6. Hasil Analisi bulanan kolam monitor PT.XYZ	44
7. Tabel <i>r value</i> Korelasi Pearson	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Alir Kerangka Pemikiran	8
2. Tanaman Tebu.....	10
3. Diagram alir produksi GKP dan limbah yang dihasilkan PT. XYZ	12
4. Diagram alir pembuatan larutan digestion konsentrasi tinggi	25
5. Diagram alir pembuatan larutan digestion konsentrasi rendah.....	26
6. Diagram alir pembuatan larutan pereaksi asam sulfat	27
7. Diagram alir proses analisis kadar COD sampel.....	28
8. Grafik Regresi linier sederhana hubungan total tebu giling dan kadar COD inlet PT. XYZ.....	33
9. Instalasi pengolahan air limbah PT.XYZ.....	35
10. Unit Pertama Kolam influen	37
11. Unit kedua Kolam ekualisasi	38
12. Unit ketiga Kolam anaerobik.	39
13. Unit keempat Kolam Fakultatif.....	40
14. Unit kelima Kolam Aerobik.....	42
15. Unit keenam Kolam Monitor	43
16. Grafik efektivitas penurunan COD IPAL PT.XYZ	45
17. Surat permohonan izin penelitian.....	61
18. Surat Balasan izin Penelitian.....	62

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Industri gula merupakan salah satu sektor agroindustri yang sangat penting di dunia. Tanaman tebu (*Saccharum officinarum*) telah lama digunakan sebagai bahan baku dalam industri gula (Muharja dkk., 2022). Total produksi tebu global mencapai sekitar 2 miliar ton per tahun. Tebu menjadi salah satu tanaman dengan tingkat budidaya tertinggi di dunia, menyumbang sekitar 80% dari total produksi gula di dunia (Moussa et al., 2023). Luas areal tebu nasional pada tahun 2022 adalah sebesar 490.008 ha dengan produksi GKP (Gula Kristal Putih) Nasional mencapai 2.402.608 ton, yang tersebar pada lima provinsi, yaitu Provinsi Jawa Timur, Lampung, Jawa Tengah, Sumatera Selatan, dan Jawa Barat (BPS, 2023).

Lampung merupakan provinsi kedua terbesar areal lahan tebu dan produksi GKP di Indonesia tahun 2022. Luas areal lahan tebu di provinsi Lampung mencapai total 142.566 ha dengan total produksi per ton mencapai 721. 547 ton GKP (BPS, 2023). Provinsi Lampung, sebagai pusat produksi GKP kedua di Indonesia, tersebar di lima kabupaten, yaitu Kabupaten Lampung Tengah, Tulang Bawang, Way Kanan, Lampung Utara, dan Tulang Bawang Barat. Kabupaten Way Kanan sebagai kabupaten terbesar ke-3 dalam produksi GKP di Lampung, menyumbang 22,57% atau sekitar 165,27 ribu ton GKP (Kementerian Pertanian, 2022).

PT.XYZ merupakan satu-satunya industri GKP di Kabupaten Way Kanan.

PT.XYZ menyumbang 22,5% GKP dari total produksi GKP Provinsi Lampung.

Gula kristal putih merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat dan sangat penting untuk ketahanan pangan Nasional maupun Internasional. Gula sebagai senyawa organik yang mudah dicerna dan menjadi sumber kalori, yang

memainkan peran vital dalam bahan makanan (Setiani, 2022). Batang tebu sebagai bahan baku utama pembuatan GKP, mengandung sukrosa yang disimpan dalam bentuk disakarida larut. Sukrosa ini tersimpan pada batang yang terdapat di dalam jaringan parenkim batang dan terakumulasi baik di dalam maupun di luar sel (Djufry dan Syakir, 2014). Batang tebu mengandung kadar sukrosa 7-10% tergantung varietasnya (Tranggono dkk., 2023). Proses pembuatan GKP atau proses pemurnian sukrosa batang tebu, melibatkan beberapa tahapan, mulai dari stasiun gilingan (*mill boiler*), stasiun pemurnian (*clarifier*), stasiun penguapan (*evaporator*), stasiun masakan (*boiling*), stasiun putaran (*curing*), hingga tahap penyelesaian atau pengemasan (Setiani, 2022).

Setiap proses produksi bahan hasil pertanian menghasilkan produk dan limbah. Hampir setiap tahap tahapan proses produksi GKP membutuhkan air yang akan menghasilkan air limbah. Limbah pabrik gula yang paling mendapat perhatian adalah air limbah karena dampaknya yang signifikan terhadap lingkungan (Paramitadevi dkk., 2017). Tebu mengandung sekitar 70-75% air, sehingga pabrik gula tebu memproses lebih banyak air dibandingkan gula itu sendiri (Sharma and Kumar, 2015). Pabrik gula menggunakan air dan bahan baku dalam jumlah besar selama proses produksinya. Kebutuhan air baku untuk industri ini berkisar antara 200-400 liter per ton tebu yang digiling, dengan air limbah yang dihasilkan mencapai 200-300 liter per ton (Deshmukh and Sonaje, 2017).

Pengolahan air limbah dari kegiatan produksi merupakan kewajiban perusahaan sebelum membuangnya ke lingkungan. PT. XYZ telah melakukan pengolahan air limbah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk memenuhi baku mutu air limbah. Air limbah yang tidak dikelola dengan baik dapat memberikan dampak signifikan pada perairan, terutama terhadap sumber daya air (Ramayanti dan Amna, 2019). IPAL pada PT. XYZ terdiri atas 16 kolam dengan rincian 1 kolam influen, 1 kolam ekualisasi, 8 kolam anaerobik, 1 kolam fakultatif, 3 kolam aerobik, dan 1 kolam monitor.

Standar baku mutu yang diacu oleh PT. XYZ yaitu PP RI 22 tahun 2021 untuk limbah proses produksi dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan no 68. Tahun 2016, karena pada IPAL PT.XYZ air limbah domestik

dan air limbah proses menjadi satu aliran. Sistem pengelolaan air limbah dianggap efektif apabila dapat menurunkan konsentrasi zat pencemar dari sebelum diolah hingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan (Ummah dan Hidayah, 2018). Efektivitas instalasi pengolahan air limbah menjadi penting dianalisis untuk mengetahui kinerja IPAL dalam penurunan cemaran air limbah sebagai bahan evaluasi untuk optimalisasi IPAL periode musim tebang-giling selanjutnya. Berdasarkan hal tersebut penelitian mengenai topik ini diambil, karena efektivitas IPAL dalam pengolahan air limbah industri gula merupakan topik yang penting untuk diteliti, karena pengaruhnya terhadap perusahaan, masyarakat dan juga lingkungan.

1.2. Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh total tebu giling mingguan PT. XYZ terhadap kadar COD air limbah yang dihasilkan.
2. Menganalisis efektivitas instalasi pengolahan air limbah PT. XYZ pada parameter COD dalam kurun waktu April-Oktober 2024.

1.3. Kerangka Pemikiran

Industri gula menempati posisi penting dalam sektor pangan global karena dampaknya terhadap nutrisi dan kesehatan manusia serta kontribusinya dalam pembangunan industri dan ekonomi suatu negara. Meskipun tidak dianggap sebagai salah satu sektor utama penyebab kerusakan lingkungan, aktivitasnya dapat menimbulkan polusi organik serius jika tidak dikelola dengan baik dan tidak mengutamakan aspek lingkungan (Turk and Asci, 2023). Sisi negatif dari pertumbuhan industri gula adalah dampak lingkungan yang signifikan, termasuk polusi air, tanah, dan udara. Masalah-masalah ini berpotensi menghambat prospek pembangunan industri gula di masa depan. Oleh karena itu, diperlukan penerapan praktik pencegahan polusi serta pengolahan limbah yang tepat untuk mengatasi dampak lingkungan tersebut (Deshmukh and Sonaje, 2017).

Industri gula merupakan salah satu sektor yang menggunakan air dalam jumlah besar, dengan kebutuhan air yang bervariasi tergantung pada teknologi yang digunakan dan kualitas bahan baku. Tebu yang masuk ke pabrik biasanya mengandung 70-80% air. Setiap ton tebu yang dihancurkan diperkirakan menghasilkan sekitar 0,73 m³ air jika gula dan air benar-benar terpisah (Bansode et al., 2015). Industri gula memiliki sifat musiman dan hanya beroperasi antara 150 hingga 180 hari dalam setahun (Tiwari and Sahu, 2017). Proses penggilingan pabrik gula di Indonesia dilakukan saat musim kemarau, ketika debit air sungai rendah. Pengolahan air limbah ini bertujuan untuk mengurangi beban pencemaran agar sesuai dengan standar baku mutu sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan (Brilliantina dkk., 2023).

Sebagian besar air limbah dari industri gula berasal dari aktivitas pembersihan. Pencucian lantai pabrik penggilingan dan berbagai bagian di area pengolahan, seperti evaporator, clarifier, panci vakum, dan sentrifugasi, menghasilkan volume air limbah yang signifikan. Selain itu, air bekas pencucian kain saring di penyaring *rotary vacuum filter*, serta pembersihan rutin menggunakan air kapur dan SO₂ di area produksi, juga menjadi sumber air limbah. Pembersihan berkala pada penukar panas dan evaporator dengan NaOH dan HCl untuk menghilangkan kerak pada permukaan tabung menambah polutan organik dan anorganik ke dalam limbah. Kebocoran dari pompa, pipa, dan bagian sentrifugasi turut menambah volume limbah. Selain itu, air limbah juga dihasilkan dari *blowdown boiler*, serta air pendingin kondensor yang terkontaminasi sari tebu (Kushwaha, 2013).

Air limbah dari industri gula memiliki karakteristik seperti warna yang pekat, suhu air yang lebih tinggi, pH yang rendah, kadar abu, serta bahan organik dan anorganik. Selain itu, air limbah dari pabrik gula mengandung unsur-unsur seperti *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, karbohidrat, nutrisi, klorida, sulfat, serta logam berat serta minyak dan lemak yang kadarnya sering melebihi batas standar (Jadhav et al., 2013; Kushwaha, 2013). Tingginya polutan yang terkandung dari air limbah apabila dibuang dengan proses pengolahan yang kurang efektif, dapat mencemari ekosistem air dan tanah. Selain

itu, air limbah juga dapat menimbulkan bau tidak sedap (Kushwaha, 2013).

Berdasarkan volume dan karakteristik air limbah yang dihasilkan, industri gula termasuk salah satu industri paling mencemari. Volume limbah yang dihasilkan bergantung pada kapasitas penggilingan tebu dan pengolahan air dalam industri tersebut. Di India, industri gula menghasilkan sekitar 1.000 liter air limbah per ton tebu yang diolah. Selain itu, dilaporkan bahwa industri gula di Meksiko menghasilkan sekitar 45,9 juta meter kubik air limbah (713,83–1.06 miliar meter kubik) dalam periode enam bulan operasi (Kushwaha, 2013).

Kapasitas produksi harian industri gula, yang dinyatakan dalam TCD (*Tons of Cane per Day*), secara tidak langsung mempengaruhi nilai baku mutu air limbah (BMAL). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014 tentang BMAL dan PP RI No. 22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya, penentuan bahan pencemar didasarkan pada kapasitas produksi harian yang dikelompokkan menjadi tiga kategori: (1) industri gula dengan kapasitas kurang dari 2.500 TCD; (2) kapasitas antara 2.500 hingga 10.000 TCD; dan (3) kapasitas lebih dari 10.000 TCD. Selain pengelompokan berdasarkan kapasitas, untuk industri gula dengan kapasitas kurang dari 2.500 TCD dan antara 2.500 hingga 10.000 TCD, pemisahan BMAL juga didasarkan pada empat sumber utama air limbah, yaitu air limbah proses, air limbah kondensor, air limbah abu ketel, dan air limbah gabungan (Rhofita dan Russo, 2019).

Kapasitas total giling tebu PT. XYZ pada tahun 2024 adalah 16.000 TCD namun, PT.XYZ tidak dapat mengatur sepenuhnya berapa total tebu giling harian yang masuk. Bahan baku tebu di PT.XYZ tidak hanya dari kebun perusahaan sendiri, tetapi juga berasal dari petani mitra. Tebu yang berasal dari petani mitra tidak dapat diatur berapa banyak yang dikirim per hari, oleh karena itu perbedaan total tebu giling harian PT.XYZ tidak selalu sama setiap harinya. Data total tebu giling harian PT.XYZ periode tebang-giling tahun 2024, didapatkan hasil maks 16.369,55 TCD, sedangkan nilai min 546,3 TCD, dengan nilai rangenya 15.823,25 TCD . Data total tebu giling harian ini cukup signifikan perbedaannya. Perbedaan ini dapat mempengaruhi beban cemaran limbah harian yang dihasilkan.

Penelitian yang dilakukan Ummah dan Hidayah, (2018) didapatkan bahwa air limbah inlet IPAL pada industri gula dengan kapasitas 6.000 TCD di tahun 2017 hasil analisis kadar BOD 127,63 mg/L, COD 418,75 mg/L, dan TSS 66,775 mg/L. Penelitian yang dilakukan oleh Rhofita dan Russo (2019) didapatkan bahwa air limbah inlet IPAL pada industri gula dengan kapasitas 6.200 TCD di tahun 2016 hasil analisis kadar BOD 319,71 mg/L, COD 1.17 1,41 mg/L dan kadar TSS 314 mg/L. Sedangkan pada pabrik gula dengan kapasitas 2.400 TCD didapatkan hasil analisis, kadar BOD 102,69 mg/L, COD 562,19 mg/L dan TSS sebanyak 106,23 mg/L. Berdasarkan penelitian diatas, diketahui bahwa perbedaan kapasitas giling mempengaruhi beban cemaran air limbah yang dihasilkan. Oleh karena itu perbedaan total tebu giling harian juga diperkirakan akan mempengaruhi beban cemaran air limbah yang dihasilkan pada parameter COD.

Parameter COD dipilih menjadi parameter yang diukur karena parameter ini dianggap mampu mewakili kualitas air limbah di bandingkan parameter lainnya. Menurut Nurjanah dkk., (2017) BOD merupakan bagian dari COD, dengan nilai BOD *ultimate* selalu lebih kecil dibandingkan nilai COD. Parameter BOD tidak digunakan untuk mewakili parameter lainnya karena nilai BOD akan terpengaruh oleh kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan zat organik, sehingga zat-zat anorganik yang sulit dioksidasi secara biologis seperti lignin, hanya dapat dioksidasi secara kimia. Analisis kadar BOD hanya mengukur kemampuan mengoksidasi zat organik yang bisa diurai oleh mikroorganisme, sedangkan air limbah mengandung cemaran organik dan anorganik. Metode analisis COD dianggap lebih merepresentasikan kadar cemaran air limbah yang sebenarnya.

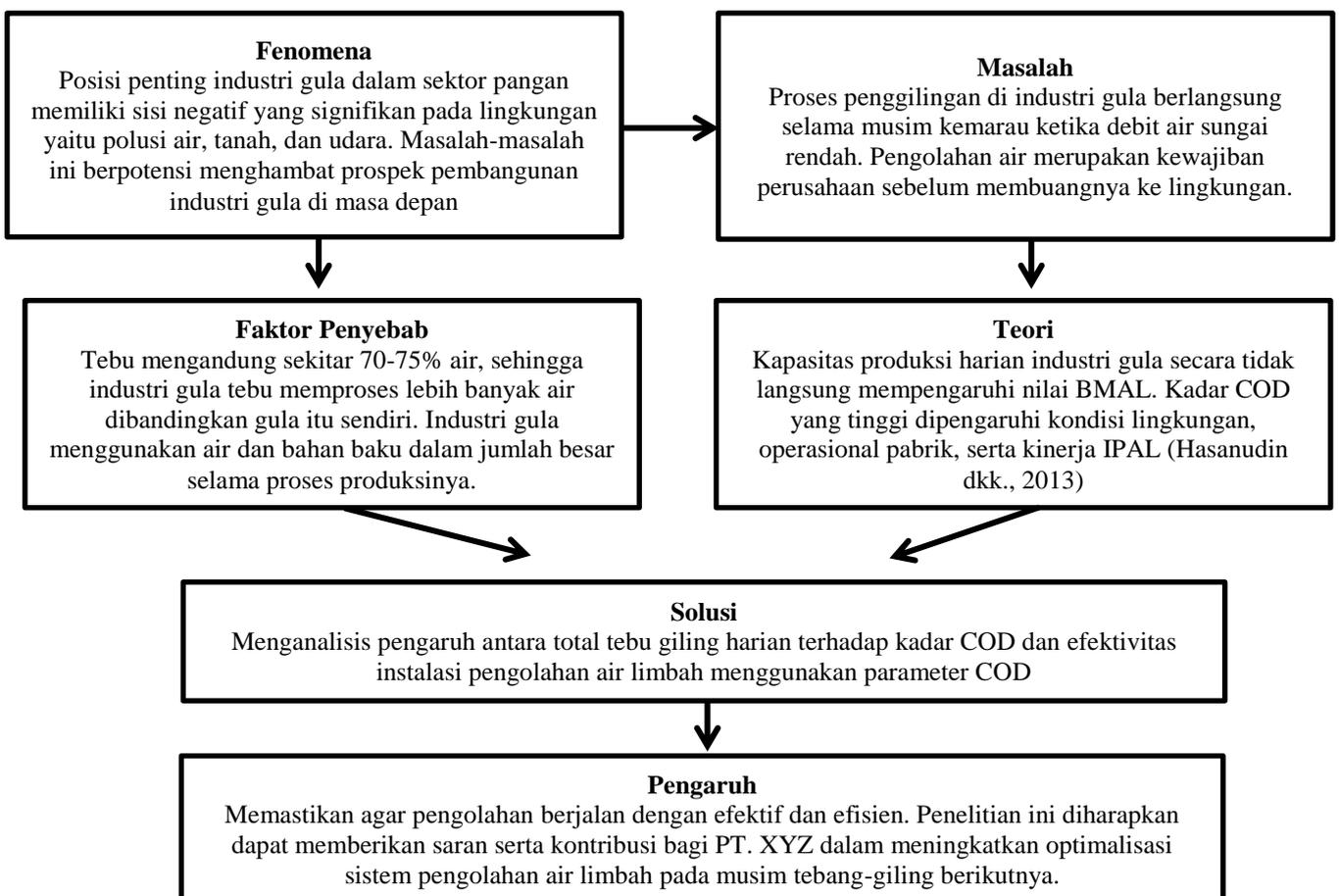
Kadar COD juga akan mempengaruhi nilai pH. Karena kadar COD yang tinggi dalam air limbah dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) dan pH (Rusdiana dkk., 2020). Nilai COD yang tinggi akan diikuti dengan nilai *Total Suspended Solids* (TSS) juga cenderung meningkat. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah padatan tersuspensi yang membuat air menjadi lebih keruh dan meningkatkan kebutuhan oksigen untuk menguraikan cemaran dalam air (Ulinuha, 2016). Faktor lain dipakainya parameter COD adalah segi operasional, waktu pengujian COD yang relatif singkat sekitar 3 jam,

dibandingkan dengan pengujian BOD yang memerlukan waktu 5 hari atau lebih (Nurjanah dkk., 2017).

Kadar COD air limbah industri gula bisa mencapai 912-2.000 mg/L tergantung pada kapasitas gilingnya (Rusdiana dkk., 2020). Air limbah dari industri gula umumnya mengandung asam lemak volatil dan gula yang bersifat *biodegradable*, sehingga IPAL dengan kolam biologis sering digunakan untuk mengolahnya (Amjad et al., 2023). Instalasi Pengolahan Air Limbah atau dikenal juga sebagai IPAL merupakan struktur teknik serta perangkat dan perlengkapannya yang dirancang khusus untuk mengolah cairan sisa proses agar aman dibuang ke lingkungan (Belladonna dkk., 2020). Metode pengolahan air limbah di PT.XYZ merupakan metode biologis menggunakan kolam-kolam. Air limbah proses produksi dan domestik PT.XYZ dibuang pada satu aliran IPAL yang sama oleh karena itu baku mutu air limbah PT.XYZ mengacu pada 2 standar peraturan. Peraturan standar baku mutu PT.XYZ menggunakan peraturan khusus yang ditetapkan oleh Gubernur. Standar baku mutu PT.XYZ mengacu pada PP RI 22 tahun 2021 untuk limbah proses produksi dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan no 68. Tahun 2016 untuk limbah domestik. Kedua standar baku mutu ini nantinya akan diambil standar yang paling ketat untuk dijadikan baku mutu air limbah PT.XYZ.

Efektivitas adalah ketepatan dalam menjalankan tugas dengan baik dan benar tanpa membuang waktu dan biaya. IPAL dianggap efektif jika dapat menurunkan beban cemaran sebelum diolah menjadi sesuai baku mutu yang telah ditetapkan (Ummah dan Hidayah, 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Ummah dan Hidayah, (2018) efektivitas penurunan kadar COD industri gula dengan kapasitas 6.000 TCD di tahun 2017 sebesar 97,51%. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Rhofita dan Russo (2019) didapatkan pada industri gula dengan kapasitas 6.200 TCD di tahun 2016 efektivitas penurunan kadar COD nya sebesar 98,16%. Sedangkan pada industri gula dengan kapasitas 2.400 TCD efektivitas penurunan kadar COD nya sebesar 82,33%. Menurut Hasanudin dkk., (2013), Kinerja instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dapat mempengaruhi beban cemaran air limbah termasuk nilai COD air limbah.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian dengan judul “Analisis Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada parameter COD di industri gula PT. XYZ dengan kapasitas produksi 16.000 TCD” dilakukan untuk mengetahui korelasi antara total tebu giling dengan kadar COD air limbah inlet IPAL dan membantu perusahaan dalam menganalisis kinerja instalasi pengolahan air limbah pada parameter COD dalam memenuhi standar dan persyaratan proses pengolahan air limbah pada periode tebang-giling tahun 2024. Tujuannya adalah memastikan agar pengolahan berjalan dengan efektif dan efisien. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan saran serta kontribusi bagi PT. XYZ dalam meningkatkan optimalisasi sistem pengolahan air limbah pada musim tebang-giling berikutnya. Diagram alir kerangka pemikiran disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Kerangka Pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum*)

Tebu (*Saccharum officinarum* L.) termasuk dalam famili Poaceae yaitu kelompok padi-padian. Adapun klasifikasi tebu menurut Steenis (2006) dalam Asadudin (2023), adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Magnoliophyta
Classis	: Liliopsida
Ordo	: Poales
Familia	: Poaceae
Genus	: <i>Saccharum</i>
Spesies	: <i>Saccharum officinarum</i> L.

Tanaman tebu berasal dari Papua Nugini, yang merupakan tanaman dengan kebutuhan tinggi akan air dan sinar matahari (Moussa et al., 2023). Tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan tanaman komersial yang banyak dibudidayakan di seluruh dunia. Beberapa varietas tebu di Indonesia antara lain adalah PS 851, PS862, PS863, PS864, PSMB 901, PS 921, PS951, GM047, GMP6 dll. Varietas-varietas ini memiliki waktu masak yang berbeda yaitu masak awal, masak tengah, dan masak akhir. Varietas masak akhir menghasilkan rendemen lebih tinggi (8-10%) dibandingkan dengan varietas masak awal (7-9%) dan masak tengah (7-8,5%). Varietas masak akhir lebih banyak dipilih untuk dibudidayakan karena menghasilkan rendemen tebu yang lebih tinggi serta memiliki tingkat ketahanan terhadap hama dan penyakit (Tranggono dkk., 2023).

Tebu adalah tanaman yang membutuhkan curah hujan yang tinggi, pada fase pertumbuhan vegetatif, namun tebu yang mendapat curah hujan yang tinggi setelah fase vegetatif justru dapat menurunkan rendemen gula (Asadudin, 2023). Fase pertumbuhan vegetatif, tebu memerlukan waktu sekitar enam hingga tujuh bulan, dengan waktu panen ideal pada usia 12–14 bulan (Yasser dkk., 2019). Lampung merupakan provinsi kedua terbesar area lahan tebu, pada tahun 2021 mencapai total 136.224 ha dan tahun 2022 mencapai total 142.566 ha hasil ini mengalami kenaikan sebesar 4,64% dari tahun sebelumnya (BPS, 2023). Tanaman tebu disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tanaman Tebu
Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

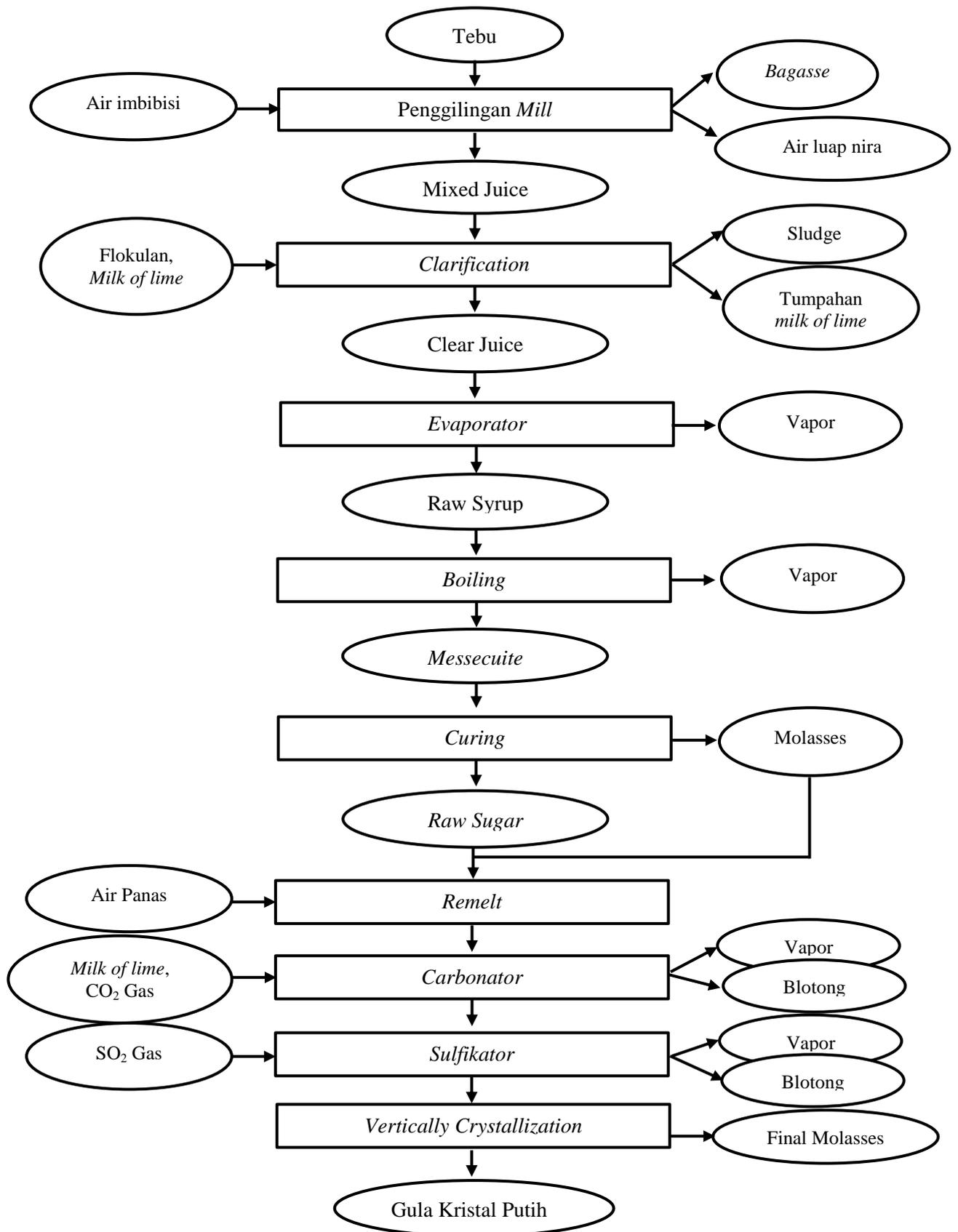
Tanaman tebu memiliki batang yang hampir bulat dan tersegmentasi, tempat daun terhubung pada setiap buku. Batangnya berdiameter besar, berkulit tipis, dan kaya akan jaringan parenkim, yang berkontribusi pada tingginya kandungan sukrosa di dalamnya (Hidayat dkk., 2024). Batang tebu terdiri dari serat dan kulit batang (sekitar 12,5%) serta nira, yang terdiri dari air, gula, mineral, dan bahan non-gula lainnya (sekitar 87,5%) (Asadudin, 2023). Komposisi nira tebu terdiri dari 70-75% air, 11-16% sukrosa, 0,4-2% gula reduksi, 0,5-1% zat organik non-gula, 0,5-1% mineral, dan 10-16% serat. Umumnya karakteristik kimia nira tebu memiliki total gula 19,28%, total padatan terlarut dalam brix 10,19, pH 5,17, kadar abu 0,16% dan total asam 0.10% (Irawan dkk., 2015).

2.2. Industri Gula

Industri gula merupakan suatu usaha dan/atau kegiatan dibidang pengolahan tebu menjadi gula dan turunannya yang digunakan konsumsi manusia dan pakan (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI, 2014). Berdasarkan SNI 3140-3:2020 Gula kristal putih merupakan gula kristal sukrosa yang dibuat dari tebu yang dibuat melalui proses defikasi/sulfitasi/karbonatasi/fosfatasi dan/atau kombinasi dari proses tersebut sehingga langsung dapat dikonsumsi dengan atau tanpa penambahan bahan tambahan pangan. Tahapan dalam proses produksi gula umumnya meliputi penggilingan, klarifikasi, penguapan, kristalisasi, dan sentrifugasi.

Tahap penggilingan, tebu dihancurkan untuk memperoleh sari tebu. Selama proses ini, air imbibisi ditambahkan pada tebu yang dihancurkan untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi sari. Setelah sari tebu diperoleh, residu serat yang disebut *bagas/bagasse* biasanya dikeringkan dan digunakan sebagai bahan bakar untuk boiler. Sari yang dihasilkan masih keruh dan berwarna kehijauan, sehingga kemudian dijernihkan dan diputihkan menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan SO_2 . Jus yang telah dijernihkan diambil, sedangkan lumpur kental yang terbentuk dikirim ke penyaring *Rotary Vacuum Filter* untuk memulihkan sisa sari yang masih ada dalam lumpur tersebut (Kushwaha, 2013).

Berbagai produk sampingan yang dihasilkan dari industri gula berperan penting dalam mendukung sejumlah industri turunannya. Tebu adalah tanaman serbaguna yang bisa digunakan sebagai bahan baku untuk produksi kertas, papan, listrik, etanol, dan produk tambahan lainnya. Pucuk hijau tebu juga menjadi sumber energi yang penting, sementara molasses dapat dimanfaatkan untuk produksi etanol dalam skala besar oleh pabrik penyulingan. Pengolahan bagas telah menjadi pilihan utama bagi industri gula untuk menghasilkan listrik. Selain itu, dalam industri kertas, bagas tebu menggantikan pulp kayu dan memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung keberlanjutan ekonomi dan lingkungan (Amjad et al., 2023). Proses pengolahan tebu menjadi GKP pada PT XYZ disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir produksi GKP dan limbah yang dihasilkan PT. XYZ
Sumber : PT. XYZ (2024).

2.3. Limbah Industri Gula

Limbah adalah material yang dihasilkan setelah proses utama selesai dan biasanya dibuang oleh masyarakat. Limbah ini dapat berupa padat, cair, atau gas. Limbah dapat dikategorikan sebagai hasil sampingan (*by-product*), bahan yang tidak terpakai (*waste*), atau bahan sisa (*residual*). Bagas/*bagasse* adalah produk samping dari proses ekstraksi nira tebu, yang strukturnya terdiri dari serat dengan panjang sekitar 1,7–2 mm (Hamidah, 2019). Sekitar 30% dari berat tebu terdiri dari bagas tebu, yang nantinya bagas ini dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan cara dibakar (Moussa et al., 2023). Bagas ini memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu 3.283,797 kal/kg, sehingga mudah terbakar. Penggunaan bagas sebagai bahan bakar boiler dapat mengurangi biaya operasional (Hamidah, 2019). PT.XYZ menggunakan bagase sebagai bahan bakar boiler sebagai sumber energi. Sebagian bagas di PT.XYZ ini juga digunakan sebagai bahan baku kompos. PT.XYZ memproduksi bagas sebanyak 4.897 ton/hari, hasil pembakaran bagas akan menghasilkan abu ketel.

Abu ketel adalah sisa pembakaran bagas yang digunakan sebagai bahan bakar boiler. Warna abu-abu kemerahan pada abu ketel menandakan kandungan silika yang tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti semen dalam pembuatan beton. Selain itu, abu ketel mengandung unsur hara seperti kalium, kalsium, dan magnesium dalam kadar yang cukup tinggi, menjadikannya bahan yang cocok untuk meningkatkan kualitas tanah (amelioran) di perkebunan tebu (Hamidah, 2019). Abu ketel di PT. XYZ juga digunakan sebagai salah satu bahan baku pembuatan kompos. PT XYZ memproduksi abu ketel 74,64 kg/hari.

Blotong, yang juga dikenal sebagai *filter cake* atau *filter press mud*, merupakan limbah industri yang dihasilkan oleh pabrik gula selama proses klarifikasi nira tebu. Akumulasi blotong dalam jumlah besar dapat menjadi salah satu penyebab pencemaran lingkungan. Blotong mengandung bahan koloid organik yang terdispersi dalam nira tebu serta bercampur dengan anion organik dan anorganik. Limbah padat ini dapat diolah menggunakan teknologi tertentu untuk mencegah pencemaran lingkungan sekaligus memberikan nilai tambah bagi perusahaan. Sebagian besar komposisinya terdiri atas serat-serat tebu, menjadikannya sumber

penting unsur organik untuk pembentukan humus tanah (Hamidah, 2019). PT.XYZ biasanya mengelola limbah blotong sebagai bahan baku kompos untuk sumber nutrisi bagi tanaman tebu. PT.XYZ menghasilkan blotong 208 ton/hari.

Limbah berupa produk samping dari industri gula adalah molases. Molases atau tetes tebu merupakan produk samping dari proses pengolahan gula yang berbentuk cair. Kandungan gula yang tinggi pada molasses menjadikan molasses sumber energi penting dan sering dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pakan ternak karena memiliki nilai nutrisi yang baik. Kandungan nutrisinya meliputi air sebanyak 23%, bahan kering 77%, protein kasar 4,2%, lemak kasar 0,2%, serat kasar 7,7%, kalsium (Ca) 0,84%, fosfor (P) 0,09%, bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) 57,1%, abu 0,2%, dan energi metabolis sebesar 2.280 kkal/kg (Larangahen dkk., 2017). Molasses juga mengandung kadar gula yang tinggi, baik sukrosa maupun gula pereduksi, dengan total kandungan gula sekitar 48-56% dan pH 5,5-5,6, yang terdiri atas 60% selulosa dan 35,5% hemiselulosa (Anggraini dkk., 2017). Kandungan Gula dan nutrisi lainnya yang masih tinggi dalam molasses, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol, biofuel, industri fermentasi, industri farmasi, pertanian, pakan ternak dsb. (Moussa et al., 2023). Molasses PT. XYZ belum diolah sendiri, sehingga molasses hasil produksinya dijual ke pihak lain. PT. XYZ menghasilkan molasses sebesar 570 ton/hari.

Limbah selanjutnya yang dihasilkan industri gula adalah air limbah. Air limbah industri gula dihasilkan dari air pendingin kondensor, air pencucian endapan saringan tekanan, air pencucian peralatan pabrik, air proses penguapan di evaporator dan *juice heater*, serta air domestik dan luapan dari nira. Semua air limbah yang dihasilkan dialirkan ke dalam IPAL, kecuali air pendingin kondensor yang masuk ke dalam *cooling tower* (Ningrum, 2018). Air limbah umumnya terdiri dari air bekas pakai dengan sekitar 0,1% bagian berupa zat padat yang terdiri atas senyawa organik dan anorganik. Proses produksi berskala besar sering menghasilkan air limbah dalam jumlah besar yang berpotensi mengganggu fungsi lingkungan apabila kualitasnya tidak memenuhi standar baku mutu (Ramayanti dan Amna, 2019). PT. XYZ menghasilkan air limbah yang berasal dari tebu dan

penguapan sekitar 13.502,15 ton, jumlah ini bukan total jumlah air limbah yang dihasilkan.

2.4. Karakteristik Air Limbah Industri Gula

Air limbah industri gula memiliki warna coklat tua, dengan bau khas seperti nira tebu, yang menunjukkan keberadaan residu gula dalam air limbah (Jadhav et al., 2013). Suhu air limbah berkisar antara 29-44,3°C (Moussa et al., 2023). Suhu yang tinggi ini dapat mengurangi kelarutan oksigen dalam air, sehingga pembuangan air limbah hangat cenderung menurunkan kadar oksigen terlarut dan memperburuk masalah lingkungan (Jadhav et al., 2013). Nilai pH limbah industri gula cenderung memiliki pH lebih tinggi dari 7, yang menunjukkan sifat basa karena penggunaan bahan kimia seperti kapur yang berfungsi untuk meningkatkan pH selama proses pengolahan (Moussa et al., 2023). Nilai BOD antara 654,6-1.968,5 mg/L, COD 1.100,3-2.148,9 mg/L, TSS 220,3-1790,7 mg/L, oil dan grease 88,7-134,4 mg/L, Sulfat 21.5-51,7 mg/L, dan Ammoniacal nitrogen 0,0-4,2 mg/L, kadar nya mungkin berbeda tergantung pada metode produksi, kapasitas giling, varietas tebu, musim panen, volume air yang digunakan (Moussa et al., 2023).

Tingginya kandungan bahan organik dalam limbah menyebabkan beban pencemaran yang semakin besar. Kadar COD yang tinggi akan mengurangi kadar oksigen dalam air limbah, yang dapat mengakibatkan kematian pada organisme air. Nilai COD yang tinggi menandakan bahwa air tersebut tercemar. Air limbah yang tidak dikelola dengan baik dapat memberikan dampak signifikan pada perairan, terutama terhadap sumber daya air (Ramayanti dan Amna, 2019). Meskipun alam memiliki kemampuan untuk menetralsir pencemaran dalam jumlah kecil, limbah dalam jumlah besar dapat menyebabkan gangguan keseimbangan lingkungan, sehingga dianggap mencemari. Dampak ini diminimalkan dengan mengolah air limbah industri dengan efektif sebelum dibuang ke badan air. Limbah yang dibuang ke sungai harus memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan, mengingat sungai merupakan salah satu sumber air bersih bagi masyarakat. Pengolahan air limbah yang baik diharapkan juga akan

menjaga kebersihan sungai dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan lainnya (Ramayanti dan Amna, 2019).

2.5. Instalasi Pengolahan Air Limbah

Instalasi Pengolahan Air Limbah atau dikenal juga sebagai IPAL merupakan struktur teknik serta perangkat dan perlengkapannya yang dirancang khusus untuk mengolah cairan sisa proses agar aman dibuang ke lingkungan (Belladonna dkk., 2020). Tujuan dari pengolahan air limbah adalah untuk menurunkan atau menghilangkan zat pencemar dalam air limbah hingga mencapai batas yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air sesuai dengan baku mutu lingkungan yang diizinkan, atau mencapai kualitas tertentu agar dapat digunakan kembali (Ummah dan Hidayah, 2018).

Metode pengolahan air limbah pada PT. XYZ dalam penurunan cemaran air limbah adalah metode biologis. Metode pengolahan biologis merupakan intensifikasi terkendali dari proses alami yang terjadi di dalam tanah. Proses ini melibatkan reaksi biologis baik secara aerobik (dengan oksigen) maupun anaerobik (tanpa oksigen), yang memungkinkan penguraian bahan organik menjadi bentuk yang lebih sederhana. Metode biologis ini merupakan metode pengolahan air limbah yang paling umum digunakan, yang berlangsung secara alami tanpa memerlukan tambahan bahan kimia apapun (Moussa et al., 2023). Namun, penggunaan metode ini memerlukan lahan yang luas, karena metode ini memerlukan kolam-kolam dalam penurunan kadar cemaran. Semakin tinggi kapasitas produksinya maka semakin banyak pula kolam-kolam biologis yang dibutuhkan.

Air limbah pertama akan masuk ke kolam influen. Terjadi pemisahan minyak yang teremulsi pada air limbah untuk mengurangi kandungan minyak sebelum masuk ke kolam IPAL selanjutnya. Minyak-minyak ini berasal dari minyak pelumas mesin, oli dan sisa pada saat *maintenance day* (Febrian, 2022). Air limbah selanjutnya masuk ke kolam ekualisasi. Kolam ekualisasi merupakan kolam penampungan yang berfungsi untuk meminimalkan dan mengendalikan

fluktuasi aliran air limbah, baik dalam hal kuantitas maupun kualitas, serta menghomogenkan konsentrasi air limbah (Mubin dkk., 2016). Kolam ini berfungsi sebagai penyetaraan parameter seperti pH dan suhu dari limbah yang diterima (Paramitadevi dkk., 2017). Kolam ekualisasi PT.XYZ terdapat tambahan aliran dari air limbah tumpukan bagas yang menambah beban cemaran pada IPAL.

Air limbah selanjutnya masuk ke kolam anaerobik. Proses degradasi polutan organik dalam (IPAL) di kolam anaerobik melibatkan beberapa tahapan, yaitu hidrolisis/fermentasi, asetogenesis, dan metanogenesis. Setiap tahap ini melibatkan kelompok mikroorganisme anaerobik spesifik: bakteri fermentatif untuk hidrolisis/fermentasi, bakteri asetogenik untuk asetogenesis, dan metanogen untuk metanogenesis (Kushwaha, 2013). Air limbah yang masuk ke dalam kolam anaerobik akan diurai dengan bantuan bakteri anaerob yang tidak membutuhkan oksigen dalam mengurai zat-zat organik (Febrian, 2022). Hasil kerja bakteri pada kolam anaerob terlihat dari busa yang terdapat di permukaan kolam (Paramitadevi, dkk., 2017).

Kolam fakultatif merupakan kolam yang dimana di dalam kolam ini terdapat tiga bagian yaitu bagian bawah yang bersifat anaerobik, bagian tengah yang bersifat intermediet dimana di bagian ini bakteri anaerobik dan bakteri aerobik bisa tumbuh dan kolam bagian atas yang sudah mulai bersifat aerobik (terdapat oksigen). Bagian bawah kolam fakultatif yang masih bersifat anaerobik, terjadi penguraian beban cemaran yang masih lolos dari kolam anaerob akan dirombak lagi di kolam fakultatif (Hasanudin dkk., 2013). Kolam aerobik merupakan kolam yang di dalam airnya sudah terdapat oksigen yang tersuspensi. Bakteri yang ada pada kolam aerobik adalah bakteri aerobik dan fakultatif. Kolam ini sudah menggunakan aerator dalam pengolahan limbah, sehingga memerlukan energi untuk mempertahankan suplai oksigen bagi bakteri (Shalindry dkk., 2015). Air limbah selanjutnya masuk ke kolam monitor. Kolam ini merupakan unit terakhir sebelum akhirnya air limbah dialirkan ke lebung-lebung dan berakhir ke badan sungai. Kolam monitor merupakan kolam terakhir, sehingga semua parameter pengujian harus sesuai dengan baku mutu.

2.6. Baku Mutu Air Limbah Industri Gula

Baku mutu limbah cair menetapkan batas kadar yang diizinkan bagi zat atau bahan pencemar yang dapat dibuang dari sumber pencemaran ke dalam sumber air, sehingga tidak melampaui standar kualitas air (Atima, 2015). Baku mutu air limbah PT. XYZ mengacu pada 2 standar peraturan, yaitu peraturan untuk limbah hasil proses dan limbah domestik. Air limbah proses dan domestik pada PT. XYZ akan dibuang di satu aliran IPAL yang sama oleh karena itu peraturan standar baku mutu PT. XYZ menggunakan peraturan khusus yang ditetapkan oleh Gubernur untuk PT. XYZ. Standar baku mutu PT. XYZ mengacu pada 2 peraturan yaitu PP RI 22 tahun 2021 untuk limbah proses produksi dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 68. Tahun 2016 untuk limbah domestik. Kedua standar baku mutu ini nantinya akan diambil standar yang paling ketat untuk dijadikan standar baku mutu air limbah PT. XYZ. Standar Baku mutu PT.XYZ disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah PT.XYZ

No.	Parameter	Satuan	Standar Baku Mutu	Keterangan
<i>Physical</i>				
1.	TSS	mg/L	50	PP RI 22 tahun 2021
2.	Debit	m ³ /day	9027	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 68. Tahun 2016
<i>Chemical</i>				
3.	pH	mg/L -	6,0-9,0	PP RI 22 tahun 2021
4.	BOD 5 days 20°C	mg/L	60	PP RI 22 tahun 2021
5.	COD by K ₂ Cr ₂ O ₇	mg/L	100	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 68. Tahun 2016
6.	Oil & Grease	mg/L	5	PP RI 22 tahun 2021
7.	Ammonia (as NH ₃ N)	mg/L	10	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 68. Tahun 2016
8.	Sulfide	mg/L	0.5	PP RI 22 tahun 2021
<i>Microbiological</i>				
9.	Total Coliform	colony/100 mL	3000	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 68. Tahun 2016

Sumber : PT. XYZ (2024)

2.7. Chemical Oxygen Demand (COD)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) adalah jumlah oksigen yang dinyatakan dalam ppm atau mg/L, yang diperlukan dalam kondisi tertentu untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Peningkatan nilai COD dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dalam air (Ramayanti dan Amna, 2019). Peningkatan kandungan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) dapat membantu menurunkan kadar COD, karena nilai COD merepresentasikan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan zat organik dan anorganik pencemar dalam air limbah secara kimiawi (Atima, 2015).

Kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) meningkat seiring dengan penurunan kadar BOD dan COD. DO menunjukkan bahwa pada air limbah dengan nilai BOD dan COD yang tinggi, kandungan DO akan rendah (Irham dkk., 2017). Pengujian nilai COD pada air limbah biasanya dengan menggunakan oksidator seperti $K_2Cr_2O_7$ atau $KMnO_4$ (Ramadhani dan Purnama, 2022). Penurunan nilai COD menunjukkan pengurangan kebutuhan oksigen untuk reaksi kimia, terutama pada senyawa-senyawa yang tidak dapat terurai secara biokimia (Nurjanah dkk., 2017). Sebagian besar zat organik dioksidasi dalam pengujian COD ini menggunakan $K_2Cr_2O_7$ dalam kondisi asam dan pada suhu mendidih optimum (Ramadhani dan Purnama, 2022).

Pengujian COD dalam penguraian seluruh bahan organik dalam air melalui proses kimia menggunakan oksidator kuat, seperti kalium dikromat, dalam kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat. Proses ini memungkinkan oksidasi semua jenis bahan organik, baik yang mudah terurai maupun yang kompleks dan sulit terurai (Nurjanah dkk., 2017). Pengujian kadar COD yang umum digunakan adalah Metode Refluks tertutup secara Spektrofotometri (SNI 6989.2: 2019), Metode Refluks tertutup secara Titrimetri (SNI 6989.73: 2009), dan Metode Refluks terbuka secara Titrimetri (SNI 6989.15: 2019). Salah satu keuntungan utama dari pengujian COD dari segi operasional, adalah waktu penyelesaian yang relatif singkat, yaitu sekitar 3 jam, dibandingkan dengan pengujian BOD yang memerlukan waktu 5 hari atau lebih (Nurjanah dkk., 2017).

Analisis kadar COD dengan metode Refluks tertutup secara Spektrofotometri, mengacu pada SNI 6989.2:2019. Pengukuran COD dilakukan dengan menambahkan sejumlah kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama 2 jam pada suhu 150° . Selanjutnya, kelebihan kalium dikromat dititrasi untuk mengetahui jumlah yang terpakai. Dengan demikian, kalium dikromat yang digunakan untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung, dan nilai COD dapat ditentukan (Ramadhani dan Purnama, 2022).

Pengujian COD umumnya lebih mahal dibandingkan dengan beberapa parameter limbah lainnya, seperti BOD atau TSS, karena Bahan kimia yang digunakan, proses yang lebih kompleks, peralatan dan infrastruktur, dalam pengujian COD. Pengujian COD memerlukan bahan kimia kuat seperti kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) yang relatif mahal, serta bahan lainnya seperti asam sulfat dan indikator. Proses oksidasi kimiawi ini juga membutuhkan peralatan khusus dan prosedur yang lebih rumit serta diperlukan tenaga ahli untuk melaksanakan pengujian. Namun, harga pengujian COD yang relatif mahal ini, prosesnya lebih cepat dan memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kualitas air limbah, karena mengukur semua jenis bahan organik dan anorganik yang ada di dalam air. Oleh karena itu, meskipun biayanya lebih tinggi, COD sering dipilih dalam pengujian yang membutuhkan hasil cepat atau pengukuran limbah dengan kandungan bahan kimia yang kompleks (Nurjanah dkk., 2017).

Hubungan antara BOD dan COD adalah bahwa BOD merupakan bagian dari COD, dengan nilai BOD ultimate selalu lebih kecil dibandingkan nilai COD. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti, banyak zat organik yang sulit dioksidasi secara biologis, seperti lignin, yang hanya dapat dioksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi oleh kalium dikromat meningkatkan kandungan yang dianggap sebagai bahan organik dalam sampel, zat organik tertentu dapat bersifat toksik terhadap mikroorganisme yang digunakan dalam pengujian BOD sehingga dapat menurunkan nilai BOD dan Nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena reaksi zat anorganik dengan dikromat (Nurjanah dkk., 2017).

Konsentrasi COD dalam air limbah akan mempengaruhi nilai pH. Kadar COD yang tinggi dalam air limbah dapat menurunkan kandungan DO dan pH, sehingga berdampak pada penurunan kualitas air secara keseluruhan (Rusdiana dkk., 2020). Kondisi pH yang rendah dapat mengurangi kadar oksigen terlarut, menurunkan konsumsi oksigen oleh organisme, dan menyebabkan kenaikan nilai BOD serta COD. Semakin rendah nilai pH, semakin tinggi potensi pencemaran akibat bahan organik di dalam air (Ulinnuha, 2016).

2.8. Uji Korelasi Pearson

Teknik statistik yang sering digunakan untuk menentukan hubungan antara variabel dalam data numerik adalah korelasi Pearson, yang juga dikenal sebagai *Pearson Product Moment Correlation*. Korelasi ini merupakan metode parametrik yang menghasilkan koefisien korelasi, yang digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel. Namun, jika hubungan antara kedua variabel bersifat nonlinier, koefisien korelasi Pearson tidak dapat menggambarkan secara akurat kekuatan hubungan tersebut, meskipun kedua variabel memiliki hubungan yang kuat (Yanti dan Akhri, 2021).

Semakin tinggi nilai korelasi, semakin erat hubungan antara kedua variabel tersebut. Jika nilai korelasi mendekati satu, maka hubungan antara dua variabel dianggap sangat kuat. Sebaliknya, jika nilai korelasi mendekati nol, maka hubungan antara kedua variabel tersebut menjadi semakin lemah (Widarto, 2020). Koefisien korelasi Pearson adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi hubungan linier antara dua variabel acak. Alat ini penting untuk menilai sejauh mana dua variabel saling berkorelasi. Semakin tinggi nilai koefisien korelasi, semakin besar kemungkinan bahwa perubahan pada satu variabel dapat memprediksi perubahan pada variabel lainnya (Arista et al., 2023). Rumus dalam menentukan korelasi Pearson adalah sebagai berikut (Widarto, 2020).

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_1 - X) (Y_1 - Y)}{\left[\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_1 - X)^2 \right) \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_1 - Y)^2 \right) \right]^{1/2}}$$

Koefisien korelasi Pearson memiliki rentang nilai antara -1 hingga +1. Nilai positif menunjukkan hubungan linier positif, sementara nilai negatif menunjukkan hubungan linier negatif. Hubungan linier dianggap semakin kuat ketika nilai koefisien mendekati +1 atau -1. Jika nilai koefisien mencapai +1, maka hubungan antar variabel sepenuhnya positif, sedangkan nilai -1 menunjukkan hubungan sepenuhnya negatif. Sebaliknya, jika nilai koefisien mendekati 0, hubungan antar variabel menjadi semakin lemah (Arista et al., 2023).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2025 di *departement factory* PT.XYZ Desa Gunung Waras, Kecamatan Pakuan Ratu, Kabupaten Way kanan, Lampung.

3.2. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, sampel air limbah pada kolam inlet dan outlet IPAL PT. XYZ, aquadest, Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$), Asam Sulfat (H_2SO_4), Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dan Merkuri(II) Sulfat ($HgSO_4$).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu wadah gelap (tempat sampel), tongkat pengambil sampel, tabung reaksi, timbangan analitik, mikro buret, spatula, pipet bulb, pipet volumetrik, Erlenmeyer, *magnetic stirrer*, gelas beaker, labu ukur, *Heating block*/Reaktor COD, Digestion vessel, spektrofotometer UV-Vis dan lemari asam.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan data sekunder dari data analisis COD mingguan, data total tebu giling mingguan dan data analisis bulanan PT. XYZ selama 1 periode tebang-giling pada bulan April-Oktober 2024. Metode analisis kadar COD menggunakan metode *Closed Reflux Spectrophotometric* atau Refluks tertutup secara Spektrofotometri dengan acuan standar pengujian SNI 6989.2:2019.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

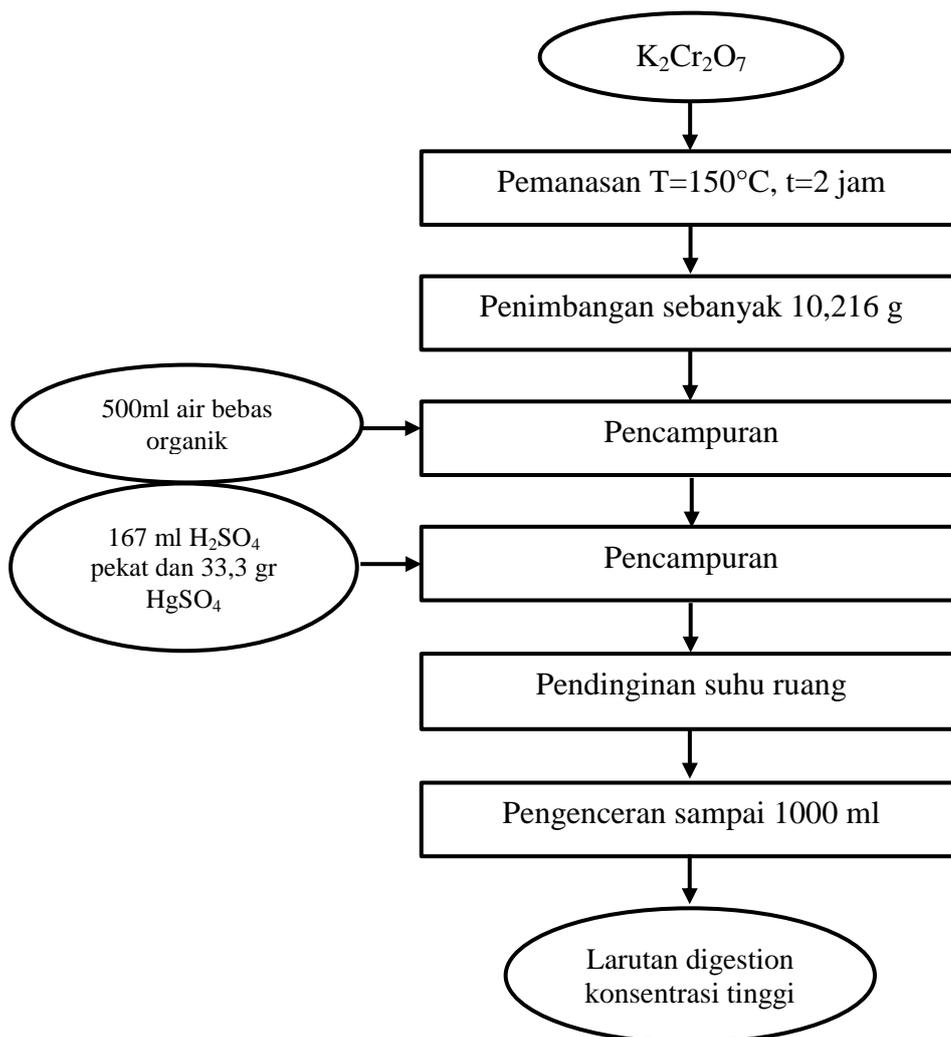
Proses pelaksanaan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.4.1. Pembuatan Bahan Reagen

Proses pembuatan bahan reagen pada pengukuran kadar COD adalah sebagai berikut:

A). Pembuatan Larutan Digestion Konsentrasi Tinggi

Pembuatan larutan digestion konsentrasi tinggi diawali dengan dipanaskannya bubuk $K_2Cr_2O_7$ pada suhu $150^\circ C$ selama 2 jam. bubuk $K_2Cr_2O_7$ yang telah dipanaskan selanjutnya ditimbang sebanyak 10,216 g. bubuk $K_2Cr_2O_7$ yang telah ditimbang selanjutnya ditambahkan air bebas organik sebanyak 500 ml dan dihomogenkan. Larutan $K_2Cr_2O_7$ yang telah dilarutkan kemudian ditambahkan 167 ml H_2SO_4 pekat dan 33,3 gr $HgSO_4$ dan diaduk hingga homogen. Larutan selanjutnya didinginkan pada suhu ruang. Larutan yang sudah didinginkan selanjutnya diencerkan hingga 1000 ml dan dihomogenkan kemudian larutan dapat digunakan untuk proses selanjutnya. Diagram alir pembuatan larutan digestion konsentrasi tinggi disajikan pada Gambar 4.

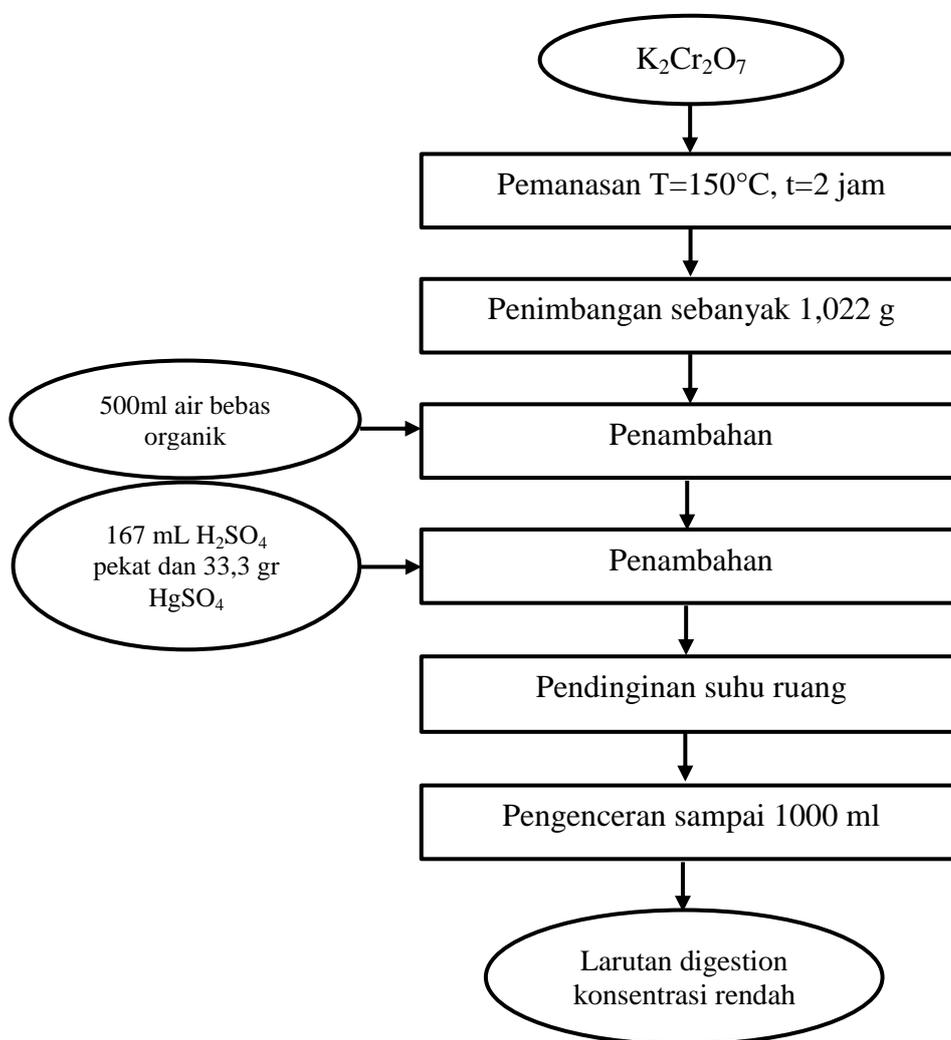


Gambar 4. Diagram alir pembuatan larutan digestion konsentrasi tinggi
 Sumber : SNI 6989.2-2019 (2019)

B). Pembuatan Larutan Digestion Konsentrasi Rendah

Pembuatan larutan digestion konsentrasi rendah diawali dengan dipanaskannya bubuk $K_2Cr_2O_7$ pada suhu $150^\circ C$ selama 2 jam. Bubuk $K_2Cr_2O_7$ yang telah dipanaskan selanjutnya ditimbang sebanyak 1,022 g. Bubuk $K_2Cr_2O_7$ yang telah ditimbang selanjutnya ditambahkan air bebas organik sebanyak 500 ml dan dihomogenkan. Larutan $K_2Cr_2O_7$ yang telah dilarutkan kemudian ditambahkan 167 ml H_2SO_4 pekat dan 33,3 gr $HgSO_4$ dan diaduk hingga homogen. Larutan selanjutnya didinginkan pada suhu ruang. Larutan yang sudah didinginkan selanjutnya diencerkan hingga 1000 ml dan dihomogenkan kemudian larutan

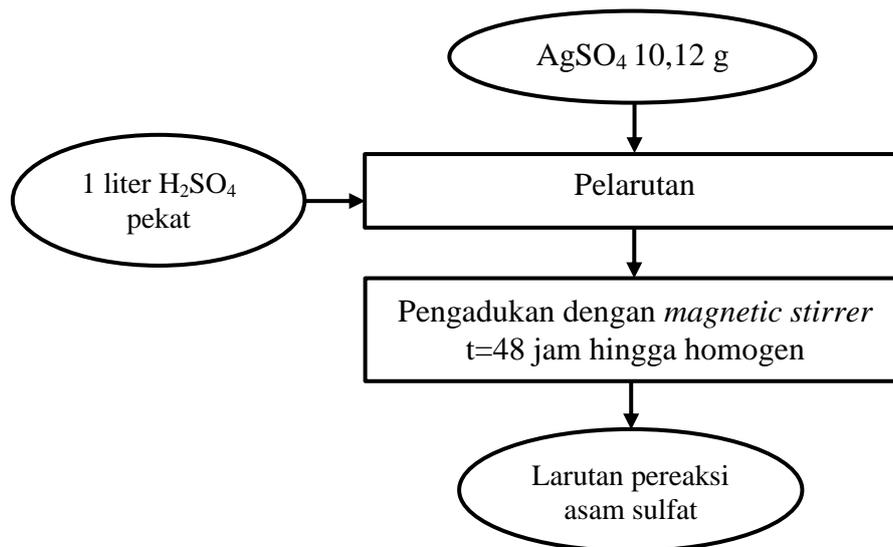
dapat digunakan untuk proses selanjutnya. Diagram alir pembuatan larutan digestion konsentrasi rendah disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir pembuatan larutan digestion konsentrasi rendah
Sumber : SNI 6989.2-2019 (2019)

C). Pembuatan Larutan Pereaksi Asam Sulfat

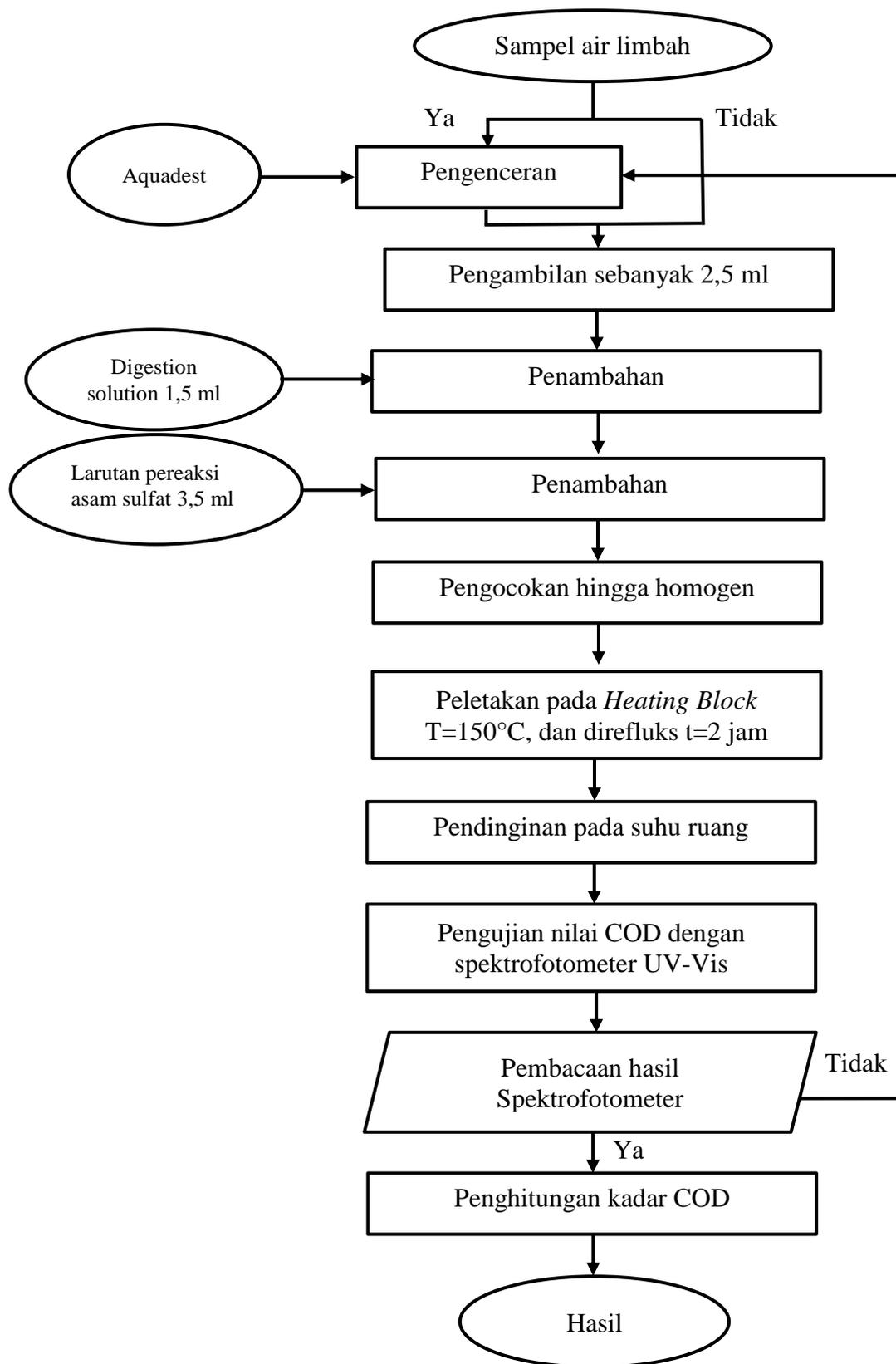
Pembuatan larutan pereaksi asam sulfat diawali dengan AgSO_4 sebanyak 10,12 g ditambahkan H_2SO_4 sebanyak 1000 ml. Larutan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 48 jam hingga homogen kemudian larutan dapat digunakan untuk proses selanjutnya. Diagram alir pembuatan larutan pereaksi asam sulfat disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir pembuatan larutan pereaksi asam sulfat
Sumber : SNI 6989.2-2019 (2019)

3.4.2. Analisis Kadar COD Sampel

Proses analisis kadar COD sampel diawali dengan diambilnya sampel air limbah pada kolam IPAL kemudian sampel air limbah inlet IPAL dilakukan pengenceran dan untuk sampel limbah outlet tidak dilakukan pengenceran. Pengenceran sampel air limbah dilakukan dengan mengambil 5 ml sampel kemudian dilarutkan dengan aquades hingga volume 50 ml. Sampel yang dilakukan pengenceran dan sampel yang tidak diencerkan diambil sebanyak 2,5 ml. Sampel air limbah sebanyak 2,5 ml kemudian ditambahkan larutan digestion solution untuk limbah inlet IPAL menggunakan larutan digestion konsentrasi tinggi dan untuk limbah outlet menggunakan digestion konsentrasi rendah. Sampel air limbah yang sudah diberi larutan digestion kemudian ditambahkan larutan pereaksi asam sulfat sebanyak 3,5ml. Larutan kemudian dikocok hingga homogen. Larutan yang telah dikocok hingga homogen kemudian diletakkan pada *heating block* pada suhu 150°C dan direfluks selama 2 jam. Larutan yang telah di refluks kemudian didinginkan pada suhu ruang. Larutan yang telah didinginkan kemudian diuji nilai COD nya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 420 nm dan 600 nm. Hasil pembacaan nilai COD kemudian dihitung kadar COD nya. Kadar COD yang sudah dihitung adalah hasil dari analisis kadar COD sampel. Diagram alir proses analisis COD sampel disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir proses analisis kadar COD sampel
Sumber : SNI 6989.2-2019 (2019)

3.4.3. Perhitungan Kadar COD

Perhitungan yang digunakan dalam analisis kadar COD metode Refluks tertutup secara Spektrofotometri adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar COD} \left(\frac{\text{MgO}_2}{\text{l}} \right) = c \times f$$

Keterangan:

C = Nilai COD contoh uji (mg/l)

F = Faktor pengenceran

3.5. Analisis Data Penelitian

Analisis data dilakukan menggunakan data sekunder dari nilai COD mingguan, data total tebu giling mingguan dan data analisis bulanan PT. XYZ selama 1 periode tebang-giling. Data kemudian diuji normalitas menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov untuk mengetahui sebaran data berdistribusi normal. Kemudian untuk mengetahui korelasi antara total tebu giling harian dan kadar COD menggunakan metode Korelasi Pearson dengan aplikasi Excel. Hasil analisis korelasi ini kemudian dibandingkan dengan Tabel 2. untuk mengetahui tingkat hubungan korelasi. Data selanjutnya dianalisis regresi linier sederhana, untuk mengetahui pengaruh kedua variabel. Tabel pedoman derajat hubungan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pedoman derajat hubungan

Interval Koefisien	Tingkat hubungan
0,00 - 0,199	Sangat lemah
0,20 - 0,399	Lemah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1,000	Sangat Kuat

Sumber: Jabnabillah dan Margina (2022).

Analisis data berikutnya menggunakan data rata-rata kadar COD inlet IPAL perbulan dan rata-rata kadar COD outlet perbulan menggunakan analisis keefektifan. Keefektifan sistem pengolahan air limbah bisa diketahui dengan

menggunakan rumus umum dari Metcalf dan Eddy (2003), yang dinyatakan dalam bentuk persentase (%), yaitu :

$$E = \frac{S_i - S_o}{S_i} \times 100\%$$

Keterangan:

E = Efektivitas pengolahan air limbah (%)

S_i = Konsentrasi inlet (mg/L)

S_o = Konsentrasi outlet (mg/L)

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh total tebu giling PT. XYZ terhadap kadar COD air limbah yang dihasilkan menunjukkan nilai korelasi Pearson sebesar $-0,1921$, yang berarti bahwa hubungan keduanya bersifat negatif, sangat lemah dan tidak signifikan. Berdasarkan analisis regresi, diperoleh nilai koefisien determinasi $R^2 = 0.0369$, yang mengindikasikan total tebu giling hanya memberikan pengaruh sangat kecil terhadap kadar COD inlet IPAL yaitu sebesar $3,69\%$. Hal ini menunjukkan total tebu giling bukan merupakan faktor utama yang mempengaruhi kadar COD inlet air limbah IPAL.
2. Efektivitas IPAL PT. XYZ pada tahun 2024 berdasarkan parameter COD menunjukkan hasil yang baik, dengan kadar COD outlet perminggu berada dalam ambang batas baku mutu yang ditetapkan. Efektivitas penurunan COD secara keseluruhan konstan diatas 90% sepanjang periode tebang-giling. Nilai efektivitas rata-rata selama periode tebang-giling 2024 adalah $97,16\%$. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja IPAL PT.XYZ dalam menurunkan kadar COD selama periode tebang giling tahun 2024 tergolong sangat efektif dan efisien.

5.2. Saran

Saran yang diajukan pada penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kadar COD air limbah inlet IPAL secara keseluruhan, guna mengidentifikasi kontribusi masing-masing sumber cemaran terhadap kenaikan kadar COD inlet IPAL di industri gula tebu.

Selain itu, untuk perusahaan disarankan dilakukan evaluasi efektivitas kinerja pada aliran masuk (inlet) dan aliran keluar (outlet) per unit kolam IPAL, untuk mengetahui performa masing masing kolam dalam menurunkan cemaran.

Pencatatan suhu air limbah inlet IPAL serta data curah hujan yang terjadi juga perlu dilakukan rutin, karena faktor-faktor tersebut berpotensi mempengaruhi kinerja IPAL dan kadar COD yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfandi, R., dan Sugiharto. 2024. Pengaruh Curah Hujan terhadap parameter air limbah rumah sakit X di Surakarta. *Simposium Nasional RAPI XXIII*. 20-27.
- Ambreen, H., Hussain, S., Naeem, N., Ahmad, A., Riaz, M., and Saddiqa, A. 2019. Biological and Chemical strategies for the treatment of sugar industry effluents. *International Journal Encon Environmental Geology*. 10(4): 59-63.
- Amjad, M., Hussain, S., and Mubashir, A. 2023. A perspective review on sugar industry wastes, uses and treatment techniques. *Open Access Journal of Wastes Management & Xenobiotics*. 6(2): 1-10. DOI: 10.23880/oajwx-16000186
- Anggraini, S.P.A., Yuniningsih, S., dan Sota, M.M. 2017. Pengaruh pH terhadap kualitas produk etanol dari molasses melalui proses fermentasi. *Jurnal Reka Buana*. 2(2): 99-105.
- Arista, A., Theresiawati., and Seta, H.B. 2024. Big mart sales data visualization and correlation. *International Journal on Informatics Visualization*. 8(2): 576-582 .
- Arkianti, N., Dewi, N.K., dan Martiti, N.K.T. 2019. Kandungan logam berat timbal (Pb) pada ikan di sungai Lamat kabupaten Magelang. *Life Science*. 8(1): 54-63.
- Asadudin, D. 2023. Identifikasi Perubahan Karakter Stomata, Kadar Klorofil Dan Molekuler Pada Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Mutan Varietas GM047 dan GMP6 di PT. Gunung Madu Plantations. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 56 hlm.
- Atima, W. 2015. BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah. *Jurnal Biology Science & Education*. 1(1):82-93.
- Badan Pusat Statistika. 2023. *Statistika Tebu Indonesia (Indonesia Sugar Cane Statistic) 2022 volume 13*. Badan Pusat Statistika: Jakarta. 84 hlm.
- Bansode, S.S., Nemade, P.D., Mahajan M.P., Phadtare, G.S., Potphode, V.M.,

- Tupe, A.S., and Wable, D.M. 2015. Analysis and investigation of sugar industrial water. *International Journal of Research Publication in Engineering and Technology*. 1(1): 1-4.
- Baraniya, C., and Jodhi, C. 2018. Performance evaluation of effluent treatment plant for sugar mill effluent. *International Journal of Creative Research Thoughts*. 6(1): 1492-1499.
- Belladonna, M., Nasir, N., dan Agustomi, E. 2020. Perancangan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) industri batik besurek di kota Bengkulu. *Jurnal Teknologi*. 12(1): 1-8. DOI: <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.12.1.1-8>
- BMKG. 2024. *Buletin Informasi Iklim Agustus*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 7 hlm.
- BMKG. 2024. *Buletin Informasi Iklim Juli*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 7 hlm.
- BMKG. 2024. *Buletin Informasi Iklim Juni*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 8 hlm.
- BMKG. 2024. *Buletin Informasi Iklim Mei*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 8 hlm.
- BMKG. 2024. *Buletin Informasi Iklim November*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 9 hlm.
- BMKG. 2024. *Buletin Informasi Iklim Oktober*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 9 hlm.
- BMKG. 2024. *Buletin Informasi Iklim September*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 9 hlm.
- Brilliantina, A., Adhamatika, A., Sari, E.K.N. Wijaya, R., Triardianto, D., dan Sucipto, A. 2023. Penerapan *life cycle assessment* (LCA) untuk mengurangi dampak lingkungan pada proses produksi gula kristal putih di Bondowoso. *Jurnal Sains dan Terapan*. 2(1): 85-96.
- Deshmukh, G.K., and Sonaje, N.P. 2017. Water conservation in sugar industry: a case study of Lokmangal sugar, ethanol and co-generation industries LTD, Bhandarkavathe. *International Journal of Innovation in Engineering Research and Technology*. 4(8): 20-26.
- Dewi, N.K. 2012. Biomarker pada Ikan Sebagai Alat Monitoring Pencemaran Logam Berat Kadmium, Timbal dan Merkuri di Perairan Kaligarang Semarang. *Disertasi*. Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Djufry, F., dan Syakir, M. 2014. Tanaman tebu sebagai tanaman C4: metabolisme sukrosa dan stress abiotik. *Bunga Rampai Peningkatan Produktivitas Tebu untuk Mempercepat Swasembada Gula*. 73-86.

- Febrian, S. 2022. Pengelolaan Limbah Pada Proses Produksi di PT. Buma Cima Nusantara Unit Bunga Mayang Kabupaten Lampung Utara. *Laporan Praktik Umum*. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 64 hlm.
- Hamidah, N. 2019. Sistem Pengolahan Limbah Padat Industri Gula PT. Industri Gula Glenmore (IGG) Karangharjo, Glenmore, Banyuwangi. *Laporan Praktik Kerja Lapangan*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Airlangga. Surabaya. 49 hlm.
- Hasanudin, U., Suroso, E., dan Hartono. 2013. Kajian efektivitas penggunaan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dalam menurunkan beban pencemar air limbah industri gula tebu. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian dan Hasil Pertanian*. 18(2): 157-167.
- Hidayat, N., Nuraisyah, A., Salim, A., dan Satyoko, U. 2024. Pengaruh sinergitas mikroba terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman tebu (*Saccharum officinarum*. L). di kebun Rambahn Wetan 1 PG Pradjekan Bondowoso. *Jagad Tani: Jurnal Ilmu Pertanian*. 1(2): 73-82.
- Hong, J., Xu, C., Deng, B., Gao, Y., Zhu, X., Zhang, X., and Zhang, Y. 2021. Photothermal chemistry based on solar energy: from synergistic effect to practical applications. *Advanced Science News*. 9(2103926): 1-26. DOI:10.1002/advs.202103926
- Irawan, S.A., Ginting, S., dan Karo-karo, T. 2015. Pengaruh perlakuan fisik dan lama penyimpanan terhadap mutu minuman ringan nira tebu. *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian*. 3(3): 343-353.
- Irham, M., Abrar, F., dan Kurnianda, V. 2017. Analisis BOD dan COD di perairan estuaria Sungai Krueng Cut, Banda Aceh. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*. 6(3): 199-204. DOI: 10.13170/depik.6.3.8481
- Jabnabillah, F., dan Margina, N. 2022. Analisis korelasi Pearson dalam menentukan hubungan antara motivasi belajar dengan kemandirian belajar pada pembelajaran daring. *Jurnal Sintak*. 1(1): 14-18.
- Jadhav, P.G., Vidya, N.G., and Deth, S.B. 2013. Characterization and Comparative study of cane sugar industry waste water. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*. 2(2): 19-25.
- Kementerian Pertanian. 2022. *Outlook Komoditas Perkebunan Tebu*. Sekretariat Jenderal-Kementerian Pertanian. Jakarta. 94 hlm.
- Kushwaha, J.K. 2013. A review on sugar industry wastewater: sources, treatment technologies, and reuse. *Desalination and Water Treatment*. 53(2013): 309-318. DOI: 10.1080/19443994.2013.838526
- Kuswinarni, F. 2007. Kajian Teknis Pengelolaan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu. *Tesis*. Program Studi Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.

- Larangahen, A., Bagau, B., Imbar, M.R., dan Liwe, H. 2017. Pengaruh Penambahan molases terhadap kualitas fisik dan kimia silase kulit pisang sepatu (*Mussa paradisiaca formatypica*). *Jurnal Zootek*. 37(1): 156-166.
- Lawrence, J., Giurea, R., and Bettinetti, R. 2024. The impact of seasonal variations in rainfall and temperature on the performance of wastewater treatment plant in the context of environmental protection of Loko Como, a tourist region in Italy. *Applied Sciences*. 14(11721): 1-25. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142411721>
- Macarie, H., and Le Mer, J. 2006. Overview of the biological processes available for the treatment of sugarcane mill wastewater. *International Sugar Journal*. 108(1292): 413-439. DOI: <https://hal.science/hal-00744628v3>
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2016. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia nomor 68 tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik. Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 13 hlm.
- Menteri Lingkungan Hidup. 2014. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup. 83 hlm.
- Metcalf, and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Fourth Edition)*. New York : McGraw Hill Companies.
- Moussa, A.W.N., Sawadogo, B., Konate, Y., Sidibe, S.D.S., and Heran, M. 2023. Critical state of the art of sugarcane industry wastewater treatment technologies and perspective of sustainability. *Membranes*. 13(709): 1-26. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes13080709>
- Mubin, F., Binilang, A., dan Halim, F. 2016. Perencanaan Sistem Pengelolaan air Limbah Domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*. 4(3): 211-223.
- Muharja, M., Darmayanti, R.F., Widjaja, A., Firmansyah, A., dan Karima, N. 2022. Simulasi kenaikan kapasitas produksi gula pada proses karbonatasi di PT. Industri Gula Glenmore menggunakan perangkat lunak aspen plus. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 11(1): 125-131. DOI: <https://dx.doi.org/10.23887/jst-undiksha.v11i1>
- Ningrum, S.A. 2018. Analisis kualitas badan air dan kualitas air sumur di sekitar pabrik gula Rejo Agung Baru kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 10(1): 1-12.
- Nurjanah, S., Zaman, B., dan Syukur, A. 2017. Penyisihan BOD dan COD limbah cair industri karet dengan sistem biofilter aerob dan plasma *dielectric barrier discharge* (DBD). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 6(1): 1-14. DOI: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan>

- Paramitadevi., Y.V., Nofriana, R., dan Yulisa, A. 2017. Penerapan Produksi bersih dalam upaya penurunan timbulan limbah cair di pabrik gula tebu. *Jurnal Presipitasi: Media komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*. 14(2): 54-61.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2021. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia. 483 hlm.
- Rahardjo, P.N. 2017. Evaluasi dan perencanaan awal untuk meningkatkan efektifitas IPAL sistem anaerobik PKS PT. Deli Muda Nusantara. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 18(1): 19-28.
- Ramadhani, A., dan Purnama, V. 2022. Analisis kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada air sungai Batang Masumai Kabupaten Merangin Di UPTD Laboratorium dinas lingkungan hidup. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 7(2): 36-43.
- Ramayanti, D., dan Amna, U. 2019. Analisis Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan pH (*potential Hydrogen*) limbah cair di PT. Pupuk Iskandar Muda (PT. PIM) Lhokseumawe. *Quimica: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*. 1(1): 16-21.
- Rhofita, E.I., dan Russo, A. E. 2019. Efektivitas kinerja instalasi pengolahan air limbah (IPAL) Industri Gula di Kabupaten Kediri dan kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 20(2): 235-242.
- Rusdiana, E., Mu'tamar, M.F.F., dan Hidayat, K. 2020. Analisis faktor-faktor penjernihan limbah cair unit pengolahan limbah cair industri gula (Studi kasus PG XYZ). *Agroindustrial Technology Journal*. 4(1): 1-15. DOI <http://dx.doi.org/10.21111/atj.v4i1.4093>
- Samina., Setiani, O., dan Purwanto. 2013. Efektivitas instalasi pengolahan air limbah (IPAL) domestik di kota Cirebon terhadap penurunan pencemaran organik dan E-Colli. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 11(1): 36-42.
- Setiani, A. 2022. Proses Pengolahan Tebu Menjadi Gula Kristal Putih Pada PT. Perkebunan Nusantara XIV Unit Pabrik Gula Camming Bone. *Laporan Kuliah Kerja Praktek*. Politeknik ATI Makassar. Makassar. 66 hlm.
- Shalindry, R.O., Rochmadi., dan Budhijanto, W. 2015. Penguraian limbah organik secara aerobik dengan aerasi menggunakan *Microbubble Generator* dalam kolam dengan imobilisasi bakteri. *Jurnal Rekayasa Proses*. 9(2): 58-64.
- Sharma, C., and Kumar, V. 2015. Analysis of the volume of the main water and wastewater in a sugar manufacturing process followed by the suggestion regarding the reutilization of the waste water. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 5(3): 1757-1761. DOI: <http://inpressco.com/category/ijcet>

- Simbolon, R.H.T., Harahap, R., dan Simbolon, R. 2021. Analisa Pengolahan air limbah pabrik kelapa sawit PT. Hutabayu Marsada kecamatan Hutabayu Raja kabupaten Simalungun. *SEMNAS TEK UISU*. 217-221.
- SNI. 2009. *Air dan limbah-Bagian 73: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (chemical oxygen demand/COD) dengan refluks tertutup secara Titrimetri*. SNI 6989.73:2009. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta. 7 hlm.
- SNI. 2019. *Air dan air limbah-Bagian 2: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (chemical oxygen demand/COD) dengan refluks terbuka secara Titrimetri*. SNI 6989.15:2019. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta. 10 hlm.
- SNI. 2019. *Air dan air limbah-Bagian 2: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (chemical oxygen demand/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri*. SNI 6989.2:2019. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta. 10 hlm.
- SNI. 2020. *Gula Kristal Putih*. SNI 3140-3:2020. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta. 47 hlm.
- Tiwari, A., and Sahu, O. 2017. Treatment of food-agro (sugar) industry wastewater with copper metal and salt: Chemical oxidation and electro-oxidation combined study in batch mode. *Water Resources and Industry*. 17(2017): 19-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2016.12.001>
- Tranggono., Firnanda, L.A., Nurfiyanti, W.P., Zahara, A.F.A., Angelina, V., dan Nagara., N.P. 2023. Faktor-faktor yang mempengaruhi rendemen tebu yang masih belum memenuhi kebutuhan gula nasional. *AZZAHRA: Scientific Journal of Social Humanities*. 1(1): 63-72.
- Turk, S., and Asci, Y. 2023. Color and chemical oxygen demand removal using homogeneous and heterogeneous fenton oxidation of sugar industry wastewater. *Desalination and Water Treatment*. 306(2023): 112-121. DOI: 10.5004/dwt.2023.29825
- Ulinuha, I.P. 2016. Analisis Pengendalian Kualitas Air Limbah Industri di Pabrik Gula Tjoekir Kabupaten Jombang. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 49 hlm.
- Ummah, M., dan Hidayah, H.A.N. 2018. Efektifitas instalasi pengolahan air limbah industri gula PT. X di kabupaten Kediri Jawa Timur. *Window of Health: Jurnal Kesehatan*. 1(3): 260-268. DOI: <http://jurnal.fkmumi.ac.id/index.php/woh/article/view/woh1314>
- Widarto, Y.E. 2020. Analisis penyakit kardiovaskular menggunakan metode Korelasi Pearson, Spearman dan Kendall. *Jurnal Saintekom*. 10(2): 119-127.
- Yanti, C. A., dan Akhri, I. J. 2021. Perbedaan uji korelasi Pearson, Spearman dan Kendall Tau dalam menganalisis kejadian diare. *Jurnal Endurance: Kajian Ilmiah Problema Kesehatan*. 6(1): 51-58. DOI:

<http://doi.org/10.22216/jen.v6i1.5256>

- Yasser, M., Asfar, A.M.I.T., Rianti, M., dan Budianto, E. 2019. Diferensiasi produk gula merah tebu menjadi gula cair dan gula rencengan kombinasi. *Journal of Dedicators Community*. 1-10. DOI: 10.340001/jdc.v3i3.1021
- Yuliandari, P. 2017. Kajian Penerapan Produksi Bersih di Stasiun Gilingan pada Proses Produksi Gula (Studi Kasus di PT. PG. Rajawali II Unit PG. Tresna Baru, Jawa Barat). *Tesis*. Fakultas Teknologi. Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor. 118 hlm.
- Zulfarina., Sayuti, I., dan Putri, H.T. 2013. Potential Utilization of Algae *Chlorella pyrenoidosa* for Rubber Waste Management. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. 511-520.