

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

1. Penelitian dari (Lisa Desembra, Syarifuddin, 2018) berjudul Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Gabungan Aerasi Dan Adsorpsi Dalam Menurunkan Kadar BOD, COD serta TSS di Industri Tahu Pela Mampan Kecamatan Mampang Prapatan Jakarta Selatan Tahun 2018. Mempunyai tujuan guna mengevaluasi metode kombinasi aerasi dan adsorpsi untuk membuat berkurang kadar BOD, COD, serta TSS di Industri Tahu Pela Mampan, Kecamatan Mampang Prapatan, Jakarta Selatan pada tahun 2018. Alat yang dipakai pada penelitian ini ialah *beaker glass* yang dilengkapi dengan aerator sebagai sumber oksigen selama 100 menit. Waktu aerasi bervariasi antara 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, dan 100 menit. Adsorpsi dilaksanakan dengan menambahkan 100 gram arang batok kelapa per liter ke dalam setiap *beaker glass* berisi air limbah tahu. Dalam uji pendahuluan, prosedur awal dimulai dengan memasukkan 100 gr/l adsorben arang batok kelapa ke dalam limbah cair tahu. Selanjutnya, dilanjutkan pada proses aerasi dalam variasi waktu berbeda – beda dengan replikasi sebanyak 5 kali untuk setiap variasi waktu. Setelah menyelesaikan prosedur ini, dilaksanakan pemeriksaan kadar BOD, COD, serta TSS.

Hasil pemeriksaan sebelum perlakuan ialah kadar BOD (6244 mg/l), COD (33800 mg/l), serta TSS (7100 mg/l) yang masih melebihi baku mutu Peraturan Gubernur DKI Jakarta No 69/2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair Tahu. Setelah perlakuan 100 menit kadar BOD (31,13%) rata – rata 4300,4 mg/l. COD 60 menit memberikan pengaruh nyata (42,95%) rata – rata penurunan 19283,6 mg/l. TSS 20 menit efektif menurunkan kadar TSS limbah tahu sebesar (26,11%), kadar TSS dalam limbah cair tahu mengalami penurunan dengan rata-rata penurunan kadar COD 5246,2 mg/l. Kesimpulan peneliti ini

menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif yang signifikan antara waktu perlakuan serta penurunan BOD dan COD pada air limbah cair tahu. Waktu perlakuan yang optimal dalam menurunkan BOD ialah 100 menit sebesar 4300,4 mg/l, dan waktu perlakuan yang efektif dalam penurunan kadar COD ialah 60 menit sebesar 19283,6 mg/l. Namun, tidak ada hubungan pada waktu perlakuan serta penurunan kadar TSS. Saran peneliti ini yakni mengencerkan limbah tahu terlebih dahulu dan memakai metode lain seperti flokulasi untuk menurunkan kadar TSS.

2. Dari penelitian (Adeko R, 2018) yang memuat informasi mengenai Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Aerasi Untuk Menurunkan Kadar BOD. Tujuan peneliti ini untuk mengetahui seberapa besar BOD yang bisa diturunkan. Peneliti ini memakai desain *quasi experiment, pre-post test*. Penelitian ini memakai instrumen dan bahan berupa kontainer plastik berukuran 90 liter, aerator, pompa air, selang, dan pecahan batu bata sebagai medianya. Variasi ketebalan media yang dipakai ialah 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, dengan waktu kontak 3 hari, 6 hari, dan 9 hari. Pengukuran BOD dilaksanakan pada hari ke 3, 6, dan 9 sebelum dan setelah perlakuan. Selain itu, hasil pengukuran tersebut akan dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang telah ditetapkan dalam PerMenLH RI No. 15 Tahun 2014.

Hasil penelitian ini kadar BOD sebelum perlakuan 229,5 mg/l, dari 3 perlakuan tersebut penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan hari ke 9 dan ketebalan media 20 cm (71,24%). Hasil uji statistik Kruskal Wallis menunjukkan penurunan BOD berada di bawah NAB pada ketebalan 10 cm pada hari ke 6, serta penurunan kadar BOD 82 mg/l (64,27%). Kesimpulan akhir dari penelitian ini ialah tidak ada perbedaan kadar BOD antara ketebalan media 10 cm, 20 cm, dan 30 cm serta lama waktu kontak dan penurunan kadar BOD paling besar pada ketebalan media 10 cm hari ke 6 ialah 82 mg/l (64,27%). Saran peneliti ini ialah bakteri spesifik yang mempunyai kemampuan yang

lebih efisien dalam mengolah limbah air tahu bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.

Tabel II.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan dan Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Peneliti Terdahulu dan Sekarang
1.	(Lisa Desembra, Syarifuddin, 2018)	Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Gabungan Aerasi Dan Adsorpsi Dalam Menurunkan Kadar BOD, COD serta TSS di Industri Tahu Pela Mampan Kecamatan Mampang Prapatan-Jakarta Selatan Tahun 2018	Untuk mengevaluasi metode gabungan aerasi dan adsorpsi untuk membuat berkurang kadar BOD, COD, serta TSS di Industri Tahu Pela Mampan, Kecamatan Mampang Prapatan, Jakarta Selatan pada tahun 2018. Alat yang dipakai ialah beaker glass yang dilengkapi dengan aerator sebagai sumber oksigen selama 100 menit. Variasi waktu aerasi yang diterapkan ialah 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, dan 100 menit. Adsorpsi dilaksanakan dengan menambahkan 100 gram arang batok kelapa per liter ke dalam setiap beaker glass berisi air limbah tahu. Dalam uji pendahuluan, langkah	Hasil penelitian sebelum perlakuan ialah kadar BOD (6244 mg/l), COD (33800 mg/l), serta TSS (7100 mg/l) yang masih melebihi baku mutu Peraturan Gubernur DKI Jakarta No 69/2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair Tahu. Setelah perlakuan 100 menit kadar BOD (31,13%) rata – rata 4300,4 mg/l. COD 60 menit memberikan pengaruh nyata (42,95%) rata – rata penurunan 19283,6 mg/l. TSS 20 menit efektif menurunkan kadar TSS limbah tahu sebesar (26,11%), kadar TSS dalam limbah cair tahu mengalami penurunan dengan rata-	Terdapat Perbedaan 1 variasi Waktu Aerasi yakni 35 jam dan alat aerator yang dipakai, jumlah replikasi peneliti sekarang yakni 16 replikasi dengan total 32 jumlah sampel (sebelum dan sesudah) dan alat aerasi memakai kontainer plastik ukuran 80 liter yang disalurkan memakai selang pada aerator

			<p>pertama ialah menambahkan 100 gram arang batok kelapa per liter ke dalam limbah cair tahu, diikuti pada proses aerasi selama berbagai durasi waktu dengan lima kali replikasi untuk setiap durasi. Setelah prosedur ini selesai, dilaksanakan pengujian kadar BOD, COD, serta TSS.</p>	<p>rata penurunan kadar COD 5246,2 mg/l. Kesimpulan peneliti ini memperlihatkan bahwasanya ada hubungan positif signifikan antara waktu perlakuan serta penurunan BOD dan COD pada air limbah cair tahu. Waktu perlakuan yang optimal dalam menurunkan BOD ialah 100 menit sebesar 4300,4 mg/l, dan waktu perlakuan yang efektif dalam penurunan kadar COD ialah 60 menit sebesar 19283,6 mg/l. Namun, tidak ada hubungan pada waktu perlakuan serta penurunan kadar TSS. Saran peneliti ini yakni mengencerkan limbah tahu terlebih dahulu dan memakai metode lain seperti flokulasi untuk</p>	
--	--	--	---	---	--

				menurunkan kadar TSS.	
2.	(Adeko R, 2018)	Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Aerasi Untuk Menurunkan Kadar BOD	Tujuan peneliti ini untuk mengetahui seberapa besar BOD yang bisa diturunkan. Peneliti ini memakai desain <i>quasi experiment, pre-post test</i> . Penelitian ini memakai instrumen dan bahan berupa kontainer plastik berukuran 90 liter, aerator, pompa air, selang, dan pecahan batu bata sebagai medianya. Variasi ketebalan media yang dipakai yakni 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, dengan waktu kontak 3 hari, 6 hari, dan 9 hari. Pengukuran BOD dilaksanakan pada hari ke 3, 6, dan 9 sebelum dan setelah perlakuan. Selain itu, hasil pengukuran tersebut akan dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang telah ditetapkan dalam PerMenLH RI No.	Hasil penelitian ini kadar BOD sebelum perlakuan 229,5 mg/l, dari 3 perlakuan tersebut penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan hari ke 9 dan ketebalan media 20 cm (71,24%). Hasil uji statistik Kruskal Wallis menunjukkan penurunan BOD berada di bawah NAB pada ketebalan 10 cm pada hari ke 6, serta penurunan kadar BOD 82 mg/l (64,27%). Kesimpulan akhir dari penelitian ini ialah tidak ada perbedaan kadar BOD antara ketebalan media 10 cm, 20 cm, dan 30 cm serta lama waktu kontak dan penurunan kadar BOD paling besar pada ketebalan media 10 cm hari ke 6 ialah 82 mg/l	Terdapat perbedaan pada waktu kontak aerasi yakni 35 jam, kontainer plastik ukuran 80 liter, dan aerator merk yamano ACO-003.

			15 Tahun 2014.	(64,27%). Saran peneliti ini ialah bakteri spesifik yang mempunyai kemampuan yang lebih efisien dalam mengolah limbah air tahu bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.	
3.	(Danis Adilla, 2024)	Perbedaan kadar BOD pengaruh proses aerasi dalam pengolahan limbah cair industri tahu	Tujuan Untuk mengetahui Perbedaan kadar BOD pengaruh proses aerasi dalam pengolahan limbah cair industri tahu. Peneliti ini memakai <i>quasi exsperiment, one group pre-posttest design</i> dan alat aerator yang dipakai merk yamano-ACO-003 dengan waktu aerasi 35 jam, karena kondisi air limbah yang berbeda.	-	1. Terdapat Perbedaan penelitian (Lisa Desembra, Syarifuddin, 2018) dengan penelitian sekarang yakni Waktu Aerasi]dalam waktu 35 jam dan alat aerator yang dipakai, jumlah replikasi peneliti sekarang yakni 16 replikasi dengan total 32 jumlah sampel (sebelum dan sesudah) dan alat aerasi memakai kontainer plastik ukuran 80 liter yang disalurkan memakai selang pada aerator.

					2. Terdapat perbedaan penelitian (Adeko R, 2018) dengan penelitian sekarang yakni pada waktu kontak aerasi 35 jam, kontainer plastik ukuran 80 liter, dan aerator merk yamano ACO-003.
--	--	--	--	--	--

B. Dasar Teori Yang Sesuai

1. Pengertian Limbah Tahu

Limbah tahu ialah sisa dari berbagai proses pembuatan tahu, antara lain pencucian, perendaman, penggumpalan, dan pencetakan (Burhan *et.al.*, 2021). Sisi protein yang tidak terkoagulasi tidak mengendap selama proses penyelesaian, zat lain yang larut dalam air juga terdapat dalam limbah cair tahu yang dihasilkan (Burhan *et.al.*, 2021).

Industri tahu menghasilkan limbah baik dalam bentuk padat maupun cair, limbah padat tersebut berasal dari proses penyaringan serta penggumpalan, dan limbah cair tersebut berasal dari proses fermentasi. Air limbah dari pencucian, pemasakan, pengepresan, dan pencetakan tahu. (Rahayu, 2015).

Satu di antara penyebab pencemaran lingkungan ialah limbah cair dari industri. Pencemaran ini bisa memberikan dampak yang signifikan, khususnya terhadap sistem perairan di sekitar kawasan industri. Sifat – sifat cairan limbah ini bergantung pada proses pembuatan yang dilaksanakan. Limbah cair hasil proses pemasakan perlu diolah terlebih dahulu, sebelum dibuang ke perairan. Sedangkan limbah cair hasil pencucian dan perendaman mempunyai tingkat pencemaran yang lebih rendah sehingga masih aman dibuang ke air. Pabrik tahu, misalnya, seringkali membuang limbahnya langsung ke sungai melalui saluran yang telah disediakan. Namun, air limbah ini tidak akan menjadi masalah jika aliran sungai cukup deras, lancar, serta mempunyai pengenceran yang cukup, sehingga lingkungan tetap terjaga. (Agustina, 2020).

2. Sumber Limbah Tahu

Di dalam buku (Nurhasan, 1991 : 14 - 15) berjudul Penanganan Air Limbah Pabrik Tahu Air. Air limbah tahu bermula dari proses pembuatan, diawali dengan pencucian bahan baku, dilanjutkan dengan penggumpalan tahu. Penyortiran biasanya dilaksanakan dengan mencuci berulang kali benda yang terikat hingga mengapung dan

dibuang, kemudian proses perendaman mengubah komposisi air secara bertahap. Selama proses penggilingan, pemasakan bubur kedelai, serta pembuangan kotoran, air yang tidak terkumpul terbuang sia - sia.

3. Karakteristik Limbah Tahu

Secara umum karakteristik air limbah tahu dikategorikan mengacu sifat fisik atau kimia (Sayow *et al.*, 2020). Buku yang ditulis oleh (Nurhasan, 1991) berjudul Penanganan Air Limbah Pabrik Tahu pada halaman 13 memuat uraian tentang karakteristik air limbah tahu:

a. Temperatur

Temperatur air limbah pabrik tahu biasanya lebih tinggi dari temperatur air pada umumnya karena proses penggumpalan tahu selalu mencapai suhu 60–80 derajat celsius. Suhu limbah tidak bisa dikurangi dengan mencuci dengan air dingin selama proses. Sisa susu yang tidak menggumpal menjadi tahu disebut limbah panas. Limbah ini biasanya berwarna kuning muda dan berasa asam (kecut) ketika diperam dalam beberapa hari.

b. Warna

Air limbah berwarna coklat kekuningan dan suspensi berwarna putih. Zat terlarut dan tersuspensi akan mengalami perubahan komposisi biologis serta kimia akibat proses degradasi biologis serta kimia. Pada proses ini kandungan oksigen pada air limbah ialah nol, sehingga air limbah menjadi berwarna hitam dan rusak.

c. Bau

Bau air limbah industri berasal dari proses degradasi protein yang difasilitasi oleh bakteri alami. Ketika saluran atau badan air berubah an-aerob, baunya menyengat karena degradasi protein dan karbohidrat, sehingga menghasilkan bau H₂S.

d. Kekeruhan

Kekeruhan disebabkan oleh zat organik atau zat terlarut yang tersuspensi dalam limbah tahu atau kedelai yang tumpah atau zat organik terlarut yang berubah menjadi emulsi keruh.

e. Kebutuhan Oksigen Bio Kimia (KOB) atau *Bio Chemical Oxygen Demand* (BOD)

Padatan dalam air limbah terdiri dari komponen organik dan anorganik, termasuk karbohidrat, lemak, protein, dan minyak. Karbohidrat dan protein biasanya lebih rentan terhadap degradasi biologis, hal ini menghasilkan amonia, sulfat, dan asam lainnya. Sebaliknya, lemak lebih sulit dirusak dengan cara biologis, namun jika terdapat asam organik, asam lemak bisa dipecah menjadi gliserol. Adanya lemak pada limbah ditunjukkan dengan banyaknya material terapung berupa sampah.

Untuk menentukan jumlah bahan organik yang terlarut dalam air limbah dipakai nilai B.O.D yakni kebutuhan oksigen kimia bahan biologis, atau K.O.B. B.O.D nilainya ialah total volume oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang bisa terbiodegradasi dalam air limbah. Nilai BOD biasanya ditetapkan dalam mg/l atau ppm (bagian per juta) dan biasanya ditetapkan dalam satuan beban, yakni gram atau kilogram per. satuan pengukuran.

a. Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) atau *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Parameter dalam air limbah terutama terdiri dari zat organik, zat ini tidak bisa terurai secara hayati. Selain itu, zat bisa diubah menjadi bentuk teroksidasi melalui cara kimia, termasuk asam yang berasal dari $K_2Cr_2O_7$, seperti SO_3 (sulfit), NO_2 (nitrit), dan zat pereduksi lainnya. COD biasanya lebih tinggi dari BOD, yakni antara dua dan tiga kali lipat.

f. pH

Mikroba yang memecahkan bahan organik memengaruhi pH air limbah; air limbah cenderung asam, dan zat terlepas dengan mudah menjadi gas.

Berbagai mikroorganisme yang berbasah dasar air antara lain jamur, alga, bakteri, protozoa, dan virus yang dibudidayakan di limbah organik. Hal ini menyebabkan air limbah menjadi tidak aman untuk dipakai dan dikonsumsi. Karena konsentrasi dan kualitas limbah tertentu bisa menyumbang dampak negatif pada lingkungan dan masyarakat di sekitarnya, hal seperti ini seringkali tidak diinginkan oleh masyarakat. Untuk mengatasi dampak negatif ini, pengelolaan limbah diperlukan. Jenis limbah sering kali mengandung logam beracun, partikel padat, nutrisi, bakteri patogen, parasit, dan senyawa organik yang bisa terbiodegradasi yang mudah menguap, dan sulit terurai (Listyaningrum, 2022).

4. Jumlah Limbah Yang Dihasilkan Oleh Produksi Tahu

Terdapat sekitar 84.000 perusahaan industri, dengan kapasitas produksi tahunan sebesar 2,6 juta ton. Volume limbah cair yang dihasilkan setiap tahunnya ialah 20 juta meter kubik, serta emisi karbon dioksida sekitar 1 juta ton (Nasir *et al.*, 2015).

Sumber cairan yang terbuang dari industri tahu banyak yang berupa cairan kental yang dipisahkan dari wheynya, inilah massa tahu. Tingkat produksi yang tinggi biasanya menghasilkan limbah dalam jumlah besar, dan cairan yang dihasilkan berawal dari proses pencucian, perebusan, pengepresan, serta pencetakan (Murwanto, 2018).

Industri memproduksi limbah cair sekitar 15–20 liter/kg bahan baku kedelai (Alam, 2010).

Industri tahu putih berkapasitas produksi harian sebanyak <100 kilogram bisa mengeluarkan limbah cair sebanyak 150-430 liter, dan industri dengan kapasitas produksi harian >100 kilogram bisa

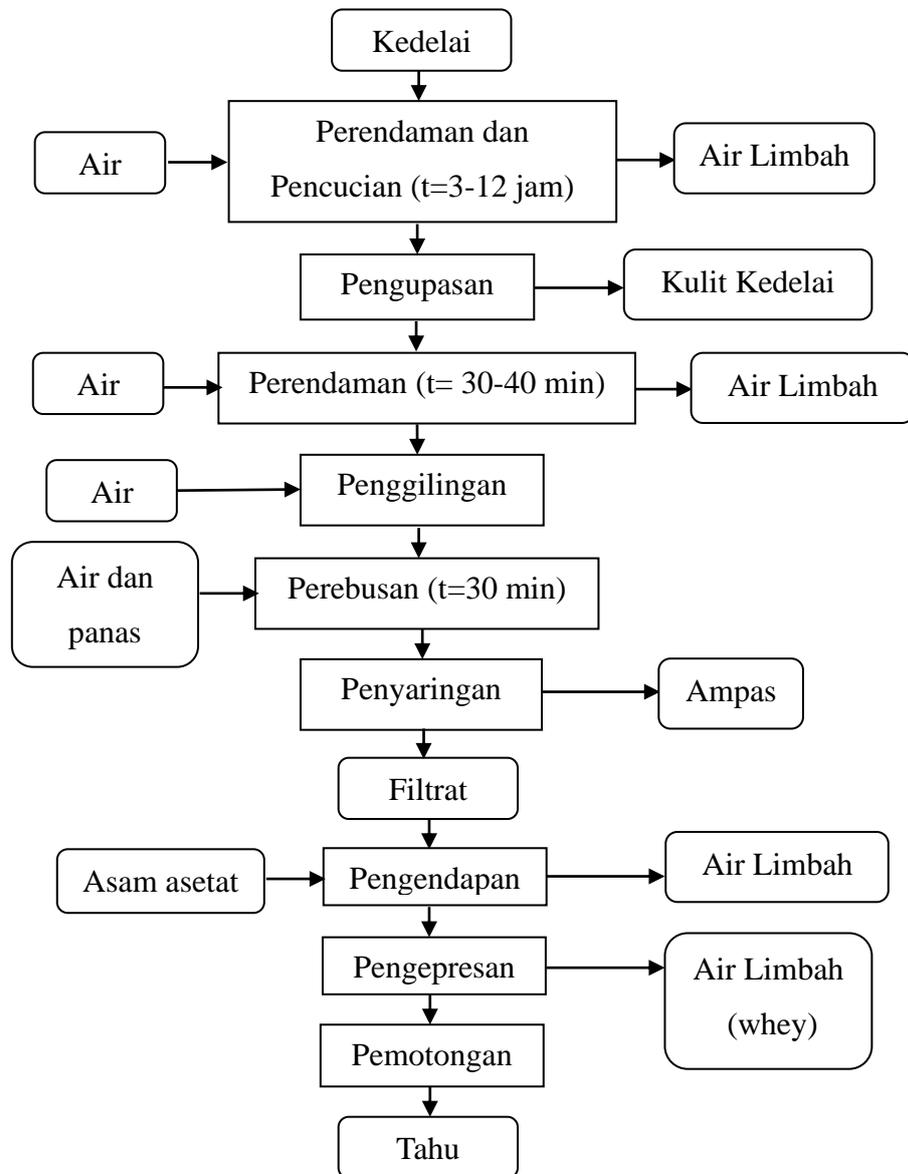
mengeluarkan limbah cair >1.000 liter. Industri tahu kuning dengan kapasitas produksi harian <100 kilogram bisa mengeluarkan 460 sampai 780 liter limbah cair, dan industri dengan kapasitas produksi harian >100 kilogram bisa mengeluarkan >2.000 liter limbah cair (Puspitaningrum, 2022).

Menurut penelitian (Pradana *et al.*, 2018) menunjukkan bahwa industri tahu mengolah 15 – 20/kilogram kacang kedelai dalam membuat tahu setiap hari. Limbah yang diproduksi dari pemrosesan tahu sejumlah dua hingga tiga bak besar yang berukuran ± 200 liter per hari untuk dibuang ke sungai.

5. Proses Pembuatan Tahu

Masyarakat Indonesia sangat menyukai makanan yang berawal dari kedelai seperti tahu dan tempe, karena keduanya merupakan sumber protein yang baik. Industri tahu merupakan bagian dari industri makanan dan bertanggung jawab atas Sebagian besar produk tahu yang diproduksi di Indonesia. Namun industri ini juga mengeluarkan air limbah yang mencemari ekosistem sekitarnya. Industri menyadari bahwa air diperlukan dalam berbagai proses seperti pemilahan, perendaman, pengupasan, pencucian, penggilingan, dan perebusan. Secara umum proses pembuatan tahu ialah dengan mengekstraksi protein dari kedelai kemudian dikumpulkan hingga membentuk padatan protein . (Sayow *et al.*, 2020).

Secara umum tahapan pada proses pembuatan tahu menurut (Sayow *et al.*, 2020) Proses awal membersihkan kedelai, merendamnya dalam air selama 4-10 jam, mencucinya dengan air, memakai penggiling untuk menggiling kedelai menjadi bubur kedelai, kemudian merebusnya selama 5 menit, menyaring susu kedelai dengan kain saring., melaksanakan proses penggumpalan, dan terakhir melaksanakan pengepresan dan pencetakan. Berikut proses pembuatan tahu menurut (Puspitaningrum, 2022).



Gambar II.1 Proses Pembuatan Tahu

6. Parameter Limbah Tahu

a. BOD (*Chemical Oxygen Demand*)

1) Pengertian BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan istilah yang mengacu pada volume oksigen yang diperlukan mikroorganisme guna memecah bahan organik dalam air. Hal ini menunjukkan bahwa organisme membutuhkan zat organik

didalam sumber makanan dan energi melalui proses oksidasi. Pengujian BOD dipakai untuk mengetahui tingkat pencemaran yang ditimbulkan oleh air limbah perumahan dan industri. Tes ini membantu mengetahui tingkat kontaminasi yang disebabkan oleh air. (Listyaningrum, 2022).

BOD merupakan volume oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam air lingkungan untuk penguraian atau perubahan limbah organik menjadi energi. Jika sisa oksigen terlarut berkurang, hal ini menandakan konsumsi oksigen tinggi yang berarti terdapat bahan limbah yang membutuhkan oksigen dalam jumlah besar (Hartono *et al.*, 2019).

Kadar BOD yang tinggi menunjukkan bahwa organisme bekerja lebih keras untuk menguraikan bahan organik, sehingga terdapat lebih banyak bahan organik di dalam air. Akibatnya oksigen kelarutan dalam air berkurang. Ketika oksigen terlarut habis, bakteri aerobik kehilangan kemampuan untuk memecah bahan organik. Bakteri mati dalam kondisi ini. Bakteri an-aerob mengambil alih dan menguraikan bahan organik di dalam air sehingga menimbulkan bau tidak sedap seperti tengik atau busuk . (Agustina, 2020).

2) Dampak BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Jika limbah dibuang tanpa melalui proses kontaminasi, bakteri bisa menguraikannya sehingga menyebabkan kualitas air atau sungai menjadi buruk. Kadar limbah organik dan oksigen berkurang dalam air. Jika oksigen yang ada di dalam air berkurang dan kemudian bakterinya habis maka bakteri aerob akan mati, begitu pula bakteri an-aerob akan menguraikan produk limbah yang terdapat di dalam air. (Nirwana, 2019). Dekomposisi zat organik merupakan proses alami di mana zat organik mencemari badan air. Bakteri memakai oksigen terlarut dalam air, yang mengakibatkan

kematian ikan dan timbulnya bau busuk di dalam air. (Wicakso *et al.*, 2018).

3) Cara Pengurangan BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Pengurangan kadar BOD bisa dilaksanakan dengan metode yakni:

- a) Biosulfa merupakan produk yang dipakai untuk mengubah zat organik sederhana yang tidak menyumbang dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, menghilangkan limbah berbau, dan meningkatkan kualitas pada air bersih. Produk Biosulfa terdiri dari bakteri aerob aktif yang bisa hidup dengan baik pada kondisi oksigen yang sangat rendah. (Hartono *et al.*, 2019).
- b) Proses koagulasi-flokulasi memakai bahan kimia PAC atau bahan alami merupakan metode yang dipakai dalam pengolahan air limbah guna menurunkan kadar BOD. Proses ini melibatkan pencampuran bahan kimia (koagulan) dengan air limbah akibatnya terbentuk campuran yang mudah mengendap. (Hidayatullah *et al.*, 2023).
- c) Proses Aerasi mempunyai tujuan untuk meningkatkan kadar oksigen dalam limbah cair dengan menghilangkan zat pencemar, untuk mengurangi atau menghilangkan konsentrasi zat pencemar. Zat pencemar tersebut bisa berupa gas, cairan, ion, atau campuran bahan koloid. (Nirwana, 2019).
- d) Filtrasi ialah metode pemecahan cairan (larutan) dan padatan, yang merupakan teknik pemisahan fisik. Filtrat disebut cairan yang melewati proses penyaringan. (Ma'ruf *et al.*, 2021).

7. Penanganan Air Limbah Tahu

Mengacu buku Pengolahan Air Limbah Pabrik Tahu (Nurhasan, 1991: 16 – 17), air limbah dari pabrik tahu ialah jenis limbah yang terdiri dari bahan tumbuhan yang mudah mengalami pembusukan. Secara fisik serta kimia limbah ini bisa terurai di lingkungan atau bereaksi dengan zat lain. Zat lain bisa membahayakan tanaman dan organisme akuatik jika terserap ke dalam tanah dan meresap ke dalam air sumur.

Pengolahan air limbah yang mengandung bahan kimia organik biasanya dilaksanakan dengan cara penyaringan atau pemisahan padatan sebelum pengolahan air limbah lebih lanjut. Hal ini dikarenakan pengurangan jumlah bahan kasar (padat) pada air limbah bisa mengurangi tingkat polutan BOD dan COD. Polutan organik dalam air limbah biasanya diolah:

a. Metode fisik

Umumnya, metode fisik dipakai pada awal pengolahan. Misalnya, air limbah dibersihkan dengan cara menyaringnya secara bertahap dari filter kasar hingga filter halus. Sedimentasi juga dilaksanakan dengan memperlambat aliran sampah sehingga benda berat dan padat bisa tetap berada di dalam tangki sedimentasi.

b. Metode kimia

Metode kimia melibatkan penggunaan bahan kimia dalam pengolahan air limbah. Contohnya termasuk proses seperti netralisasi, koagulasi, penyerapan, klorinasi dan ozonasi.

c. Metode biologis (reaksi biologis)

Ada beberapa jenis metode ini, antara lain proses lumpur aktif, lapisan gandum (filter flute), laguna, tangki kedap udara (an-aerob), dan target pertukaran gas dan massa (lumpur).

8. Pengolahan Air Limbah Industri Tahu

Dalam Perencanaan harus melihat data pabrik untuk mengetahui proses atau kualitas limbah tahu, kemudian ada tahap pengolahan pada air limbah industri tahu yakni, Nurhasan, (1991 : 29 – 35):

a. Pengolahan awal

Mempunyai tujuan untuk menghilangkan benda padat dan kasar, membuat pengendalian lebih mudah, dan benda padat yang terendap diperiksa secara berkala untuk dibersihkan. Untuk benda berat, sistem pengendap gravitasi juga diperlukan. Bak kontrol ialah istilah umum untuk bak ini.

b. Bak Pengumpul

Sebelum tahu diolah secara hayati, air buangan ditampung dalam bak pengumpul untuk meningkatkan kualitas air limbah tahu. Proses penampungan ini dirancang untuk mengontrol suhu air limbah tahu sehingga tidak terlalu tinggi karena waktu tampung yang direncanakan untuk satu siklus kerja atau satu hari kerja, dan juga untuk menghindari beban polutan zat organik yang tidak rata.

c. Bak Kedap Udara (An-aerob)

Bak kedap udara atau bebas oksigen, yang dipakai, untuk memecah bahan polutan terberat dari limbah tahu. Lama dan pendeknya waktu tinggal dalam bak kedap ini bervariasi tergantung pada bentuk reaktor yang mengatur aliran tersebut.

d. Bak Pengolah Lanjut

Karena pengolahan an-aerob membuat beberapa zat organik tidak terpecah secara sempurna, dan masih ada polutan organik sekitar 10–5% yang perlu diolah lagi untuk menjadi sempurna. Satu di antara kelemahan sistem ini ialah terikutnya ion sulfida dari pemecahan protein, yakni ion sulfida dengan kadar sekitar 0,2 hingga 0,3 mg/l, yang bisa menyebabkan kematian pada ikan.

e. Tempat Penampungan Gas Methan

Gas methan ditampung dari bak an-aerob dalam drum yang diapungkan dalam air sebagai seal gas. Selanjutnya, gas methan

dimasukkan ke dalam pipa paralon diameter 1/2 inci dengan kran dan disalurkan ke kompor gas melalui pipa plastik. Untuk mencegah gas sulfida terikut, larutan besi atau larutan kapur harus digelembungkan.

9. Metode Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand)

a. Metode Koagulasi

Koagulasi ialah tahap pencampuran yang dipakai dalam pengelolaan limbah. Cara ini dinilai murah dan aman. Dalam proses ini, bahan kimia yang disebut koagulan atau pengendap ditambahkan ke dalam air mentah dalam waktu singkat dengan kecepatan putaran yang sangat tinggi. (Murwanto, 2018). Proses koagulasi didasarkan pada prinsip bahwa partikel padat yang bermuatan negatif dalam air mentah yang menyebabkan menghindari satu sama lain, sehingga tetap tersuspensi di air. Langkah ini bisa dilaksanakan dengan menambahkan bahan koagulan atau bahan kimia bermuatan positif ke dalam air kemudian mengaduk air dengan cepat. (Andriansyah, 2020). Bahan koagulan memakai:

1. Tawas (Aluminium Sulfat)

Tawas ialah senyawa aluminium sulfat dengan rumus $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Cara pembuatan tawas dilaksanakan dengan melarutkan bahan Al_2O_3 dalam larutan asam yang mengandung belerang. Tawas berbentuk kristal oktahedral atau kubus dan tidak berwarna. Ciri - ciri tawas ialah larut dalam air dan tidak bisa dicampur dengan alkohol. Tawas tetap stabil di udara terbuka. Senyawa ini bersifat asam, tetapi tidak mengubah zat menjadi basa karena sifatnya yang amfoter. Satu di antara tujuan tawas ialah untuk mengurangi kekeruhan selama proses pengendapan. Tetapi, tawas juga mempunyai kekurangan, ialah serpihan - serpihan yang mudah pecah di

dalam air, sehingga membuat air menjadi asam. (Huda *et al*, 2023).

Tawas ialah senyawa kristal yang juga dikenal sebagai aluminium sulfat. Sering dipakai sebagai antiperspirant atau pembuat kristal untuk mengurangi produksi keringat. Tawas juga dipakai dalam pemurnian air untuk membantu melarutkan partikel kecil yang mencemari air. (Huda *et al*, 2023)..

2. Kapur

Kapur ialah bahan mudah larut dan menghasilkan gugus hidroksil $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Terdapat 2 jenis kapur yang umum dipakai yakni CaO dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Untuk itu, kapur juga bisa bereaksi dengan alkil karbonat dan mengatur pH Jeruk nipis yang bersifat basa juga bisa menghasilkan panas tinggi. Kapur bekerja dengan cara bereaksi dengan alkil karbonat dan mengatur pH. Kapur atau kalsium oksida (CaO) merupakan senyawa kimia yang umum dipakai dalam banyak aplikasi. Satu di antara kegunaannya ialah produksi kapur sirih yang dipakai untuk menaikkan pH air dalam proses penjernihan air. Kapur juga dipakai di bidang pertanian sebagai pupuk dan dalam proses pembuatan baja serta sebagai bahan bangunan dalam konstruksi. (Huda *et al*, 2023).

3. Superfluc

Polydiallylammonium klorida atau PolyDADMAC ialah polielektrolit dengan muatan positif (kation). PolyDADMAC merupakan satu di antara bahan dalam pembuatan flok yakni superflok. PolyDADMAC merupakan polimer dengan kepadatan muatan tinggi, sehingga bisa secara efektif mengikat partikel tersuspensi dalam flokulasi untuk menghilangkan warna, menghilangkan alga dan bahan organik.

b. Metode Aerasi

Metode aerasi merujuk pada satu di antara cara paling umum yang diterapkan pada mengolah limbah cair. Tujuan dari metode ini ialah menambahkan oksigen pada limbah cair untuk mengurangi konsentrasi polutan. Proses ini melibatkan berbagai bahan seperti gas, cairan, ion dan koloid. Bakteri yang terlibat dalam proses pembongkaran memerlukan udara sebagai sumber konsumsinya agar bisa aktif mengonsumsi zat-zat organik yang terkandung dalam limbah. Bakteri pembusuk bisa mengubah bahan sederhana seperti CO_2 , CO dan H_2O menjadi bentuk yang lebih aman. (Nirwana, 2019). Oksigen bisa ditambahkan ke air limbah dengan dua cara (Nirwana, 2019):

1) Menambahkan udara ke air limbah

Hal ini dilaksanakan dengan memakai nozzle atau benda berpori di tengah tangki aerasi. Tujuan dari proses ini ialah untuk meningkatkan kandungan oksigen murni, sehingga kemungkinan terjadinya penggabungan gelembung – gelembung dalam air limbah dan penambahan oksigen bisa ditingkatkan. Suara yang terdengar merupakan hasil dari sumber bunyi luar, bunyi ini dipadukan dengan bunyi air limbah dengan memakai pompa bertekanan.

2) Mendorong air ke atas, air akan berinteraksi dengan oksigen.

Saat turbin ditempatkan di atas saluran pembuangan, saluran pembuangan akan terangkat dan langsung berinteraksi dengan udara sekitar.

Ada beberapa jenis sistem aerasi yang berbeda yang dipakai dalam proses pengolahan limbah cair. Tipe yang paling umum dipakai seperti berikut, Purwanto, (2006: 66 - 72):

1) *Cascade Aeration* yakni aerasi bertingkat yang dipakai jika ada tempat terbatas dan kondisi hidrolis yang memungkinkan aliran gravitasi. Sistem aerasi ini memakai energi hidrolik (*total head*) untuk menurunkan suhu reaktor dan melaksanakan fungsinya.

- 2) *Mechanical Aerator* yakni dua jenis utama peralatan aerator mekanis yang umum dipakai dalam postaerasi ialah aerator permukaan berkecepatan rendah dan turbin tenggelam (aerator tenggelam). Jika tidak memerlukan transfer oksigen, jenis ini dilaksanakan karena murah.
- 3) *Diffused-Air Aeration* yakni Di dalam proses pengolahan, sistem difusi aerasi ditempatkan lebih dalam, bahkan mungkin tenggelam. Dengan *diffuser porous*, efisiensi transfer oksigen bisa meningkat 5–8%, dan dengan diffuser berporositas halus, 15–25%.

c. Metode Filtrasi

Filtrasi ialah proses pemisahan cairan (larutan) dan padatan, yang merupakan teknik pemisahan fisik. Filtrat ialah campuran zat – zat yang telah mengalami proses penyaringan, sebaliknya residu ialah bagian padat campuran yang tertinggal pada saringan. Terdapat beberapa jenis filtrasi dasar, antara lain filtrasi umum, filtrasi dingin, filtrasi vakum, filtrasi hampa, filtrasi panas, dan berbagai proses lainnya. Semua jenis filtrasi ini memanfaatkan gravitasi untuk membedakan campuran. Setelah campuran disebarkan ke saringan, seperti kertas saring, berat cairan ditarik ke bawah oleh gravitasi. Cairan akan mengalir di bawah filter, sementara padatan akan tertinggal di dalam filter. (Ma'ruf *et al.*, 2021).

Konsep dasar filtrasi ini sederhana, hal ini didasarkan pada penghilangan partikel padat dari campuran larutan. Akibatnya, derajat kemurnian cairan yang disaring bergantung pada kualitas pori - pori (filter) yang dipakai. Semakin lama durasi pengambilan sampel dan durasi pengadukan, maka semakin banyak pula sedimen yang dihilangkan oleh alat filtrasi, sehingga metode filtrasi yang diinginkan, yakni residunya (ampas), memerlukan langkah pengeringan untuk menguapkan seluruh cairan dalam

padatan. Terdapat dua sistem teknologi umum untuk filtrasi ialah aliran dari atas ke bawah (downflow) serta aliran dari bawah ke atas (upflow). Sistem downflow lebih bertenaga karena harus membersihkan endapan pasir yang tinggi pencemaran air. (Ma'ruf *et al.*, 2021).

Untuk mencegah beban pasir menjadi terlalu berat selama periode kekeruhan air yang tinggi, seperti saat hujan, diperlukan peralatan awal seperti tangki pengendapan awal atau filter "Up Flow" yang memakai berikil atau batu pecah, dan pasir kuarsa atau silika. Air mengalir ke filter utama dari bawah ke atas (Up Flow). Setelah proses pengolahan, air bersih dialirkan dari tangki penyaring pasir Up-Flow dan ditampung dalam tangki penyimpanan. Air tersebut kemudian didistribusikan ke konsumen secara gravitasi atau pompa. (Ma'ruf *et al.*, 2021).

Prinsip filtrasi dengan berbagai jenis media dan filter. Prosedur pengaliran air pada berbagai jenis filter (Setyanigtyas, 2021):

- 1) Filter pasir lambat memakai mekanisme filter biologis, sedangkan filter pasir cepat memakai mekanisme perangkap mekanis, artinya bahan filter mengikat partikel karena ukuran partikel lebih besar daripada ukuran filter pori - pori media.
- 2) Filtrasi membran dipakai untuk memisahkan molekul dan ion (*Driving force*). Kekuatan pendorong seperti konsentrasi, potensial listrik, dan perbedaan tekanan diperlukan untuk mempengaruhi filtrasi ini.
- 3) Penggunaan filter karbon aktif pada proses adsorpsi tujuannya untuk menghilangkan bahan organik dari air.

Terdapat beberapa faktor yang berperan dalam mempengaruhi efisiensi proses filtrasi. Faktor – faktor tersebut mencakup debit filtrasi, kedalaman, ukuran dan jenis media, serta kualitas air limbah yang diolah. (Suprihatin, 2009). Pada filtrasi terdapat media – media yang dipakai seperti (Fajri *et al.*, 2017):

1) Pasir kuarsa

Pasir kuarsa merupakan mineral yang banyak terdapat pada kerak benua bumi dan mempunyai berbagai manfaat bagi manusia. misalnya, kaca, keramik, dan juga filter air dibuat dari pasir ini. Kuarsa umumnya mempunyai bentuk prisma heksagonal dengan ujung piramida heksagonal.

2) Ijuk

Ijuk ialah serat yang berwarna hitam dan keras yang melindungi pelepah pohon enau atau daun enau (*Arenga pinnata*) mulai dari bagian bawah batang enau hingga ujungnya. Fungsinya dalam penyaringan air ialah untuk menyaring kotoran – kotoran halus. Ijuk juga berfungsi sebagai penahan pasir halus agar tidak merusak lapisan di bawahnya.

3) Kerikil

Kerikil ialah endapan batuan yang berbentuk bulat yang biasanya bercampur dengan pasir dan tanah liat. Batuan lebih besar dari pasir dan lebih kecil dari kerikil. Batuan ini mempunyai tekstur halus dan berbentuk bulat karena pecahan batuan gunung tersebut terseret ke laut, bercampur dan terkikis oleh air laut selama ribuan tahun. Kerikil berfungsi sebagai lubang mengalirnya air melalui lubang bawah dan sebagai penyaring kotoran kasar.

10. Uji Paired t-test

a. Definisi Paired t-test

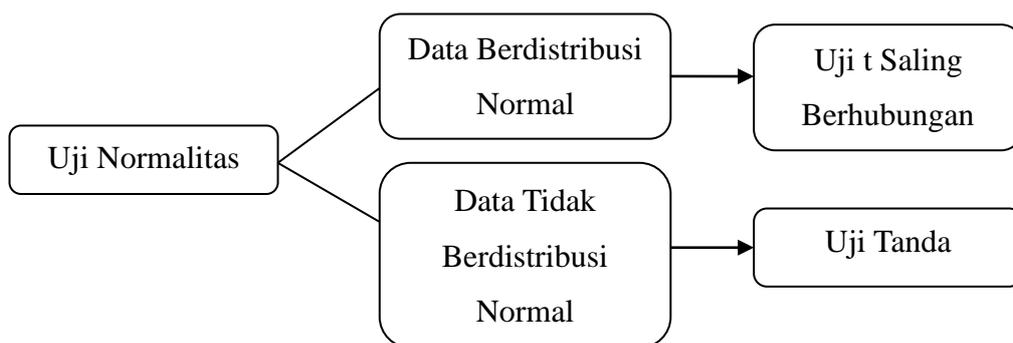
Uji t-test ialah bagian dari uji statistik parametrik, yang mengasumsikan bahwa data diambil dari sampel acak dan berdistribusi normal dengan varians homogen. Uji t diterapkan guna membandingkan rata-rata dua kelompok, sedangkan uji t-test paired diterapkan guna membandingkan data dari dua sampel yang berkaitan, artinya terdapat dua kumpulan data dalam satu sampel. Metode ini paling sering disebut sebagai rancangan *pre-post test*.

Memakai uji t berpasangan untuk mengetahui seberapa efektif suatu perlakuan terhadap ukuran variabel tertentu, dipakai paired t-test. Handoko, (2012:55-56).

Maka sebab itu subjek dari pengamatan pertama sama dengan subjek dari pengamatan kedua. Ini menunjukkan bahwa akan menghasilkan dua kelompok data. Uji-t dipakai guna menganalisis rata-rata dua kelompok. Untuk rancangan penelitian eksperimen (*one grup pre – posttest design*), uji ini dirancang sebagai satu kelompok sebelum dan sesudah uji. Namun, pada penelitian deskriptif, sampel bisa diberikan dengan dua jenis pengamatan atau lebih dari satu (Sari, 2022).

b. Jenis Paired t-test

Dalam konsep dua sampel yang berkaitan, terdapat dua jenis data yakni data yang berdistribusi normal dan data yang berdistribusi tidak normal. Uji t sampel berhubungan yang cocok dipakai untuk data yang berdistribusi normal dan uji tanda dipakai untuk data yang berdistribusi tidak normal. Seperti terlihat pada diagram berikut (Sari, 2022):



Gambar II.2 Bagan Jenis Data Uji Paired t-test

1) Data Berdistribusi Normal

Berikut rumus uji t yang dipakai untuk dua sampel yang saling berhubungan (Sari, 2022):

$$t = \frac{\bar{D}}{s_D/\sqrt{n}} \text{ dengan } S_D = \sqrt{\frac{\sum(D_i - \bar{D})^2}{n-1}}$$

Gambar II.3 Rumus Paired t-test

Keterangan:

\bar{D} = rata – rata data skor sebelum dan sesudah

S_D = simpangan baku dari selisih data skor sesudah dan sebelum

n = jumlah data yang berpasangan

D_i = selisih data skor sesudah dan sebelum

2) Data Tidak Berdistribusi Normal

Dua sampel saling berhubungan jika data tidak berdistribusi normal dalam konsep uji -t. Selisih pasangan nilai data sampel dihitung untuk mendapatkan uji tanda. pertama dengan sampel kedua. Setelah itu dihitung banyaknya selisih pasangan data positif dan negatif.

Jika jumlah selisih pasangan data positif dan negatif sama, maka hipotesis nol diterima (Sugiyono, 2015: 167). Dengan kata lain, jika jumlah selisih antara pasangan data positif dan negatif sama, hipotesis nol ditolak (Sari, 2022).

c. Hipotesis Paired t-test

Secara umum hipotesis pada uji paired t-test ialah (Sari,2022):

H_0 : Apabila p value $> \alpha = 5\% = 0,05$ maka tidak ada perbedaan perlakuan antara sebelum dan sesudah.

H_1 : Apabila p value $< \alpha = 5\% = 0,05$ maka terdapat perbedaan perlakuan antara sebelum dan sesudah.

Untuk hipotesis data berdistribusi normal dan data berdistribusi tidak normal, seperti berikut:

1) Data Berdistribusi Normal

H_0 : Tidak ada perbedaan perlakuan antara sebelum dan sesudah.

H_1 : Terdapat perbedaan perlakuan antara sebelum dan sesudah.

Dengan Statistik Uji:

$$t = \frac{\bar{D}}{s_D/\sqrt{n}} \text{ dengan } S_D = \sqrt{\frac{\sum(D_i - \bar{D})^2}{n-1}}$$

Gambar II.4 Rumus Paired t-test

Kriteria uji:

H_0 diterima jika $t \text{ hitung} \leq t \text{ tabel}_{(df = n - 1, 1 - \frac{\alpha}{2})}$

H_1 diterima jika $t \text{ hitung} > t \text{ tabel}_{(df = n - 1, 1 - \frac{\alpha}{2})}$

2) Data Tidak Berdistribusi Normal

H_0 : Tidak ada perbedaan perlakuan antara sebelum dan sesudah.

H_1 : Terdapat perbedaan perlakuan antara sebelum dan sesudah.

Stastik Uji:

Uji Tanda

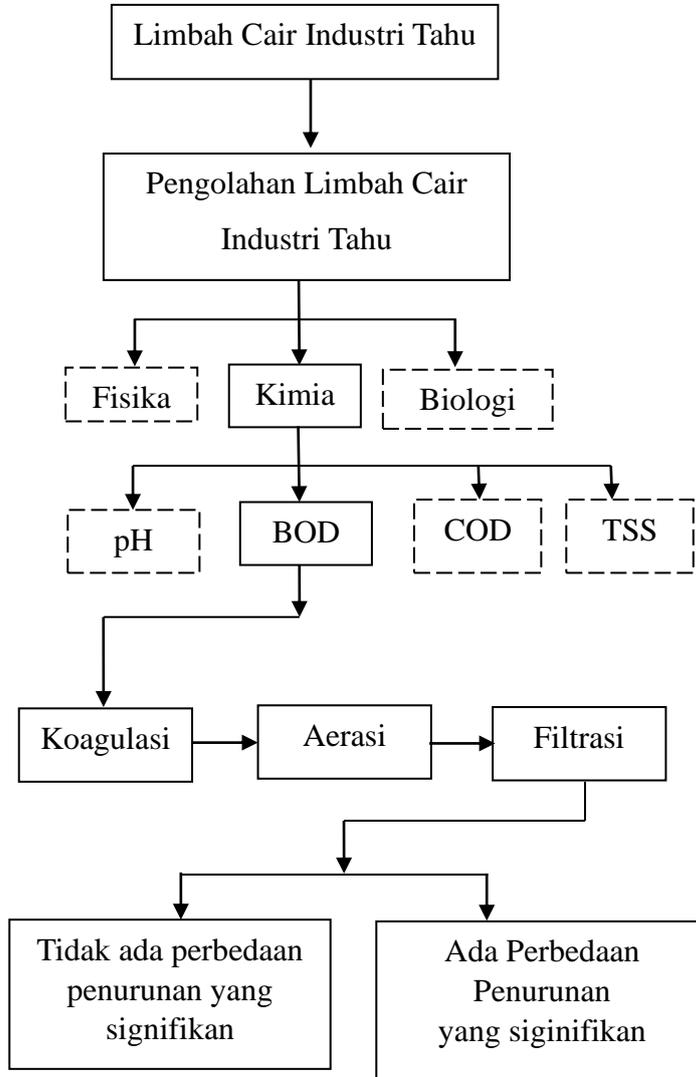
Kriteria Uji:

H_0 diterima apabila $h \geq \text{nilai tabel}_{(df = n, \alpha)}$, dengan h yakni tanda yang paling sedikit antara (+) dan (-)

H_1 diterima apabila $h < \text{nilai tabel}_{(df = n, \alpha)}$

C. Kerangka Teori

Gambar II.5 Kerangka Teori



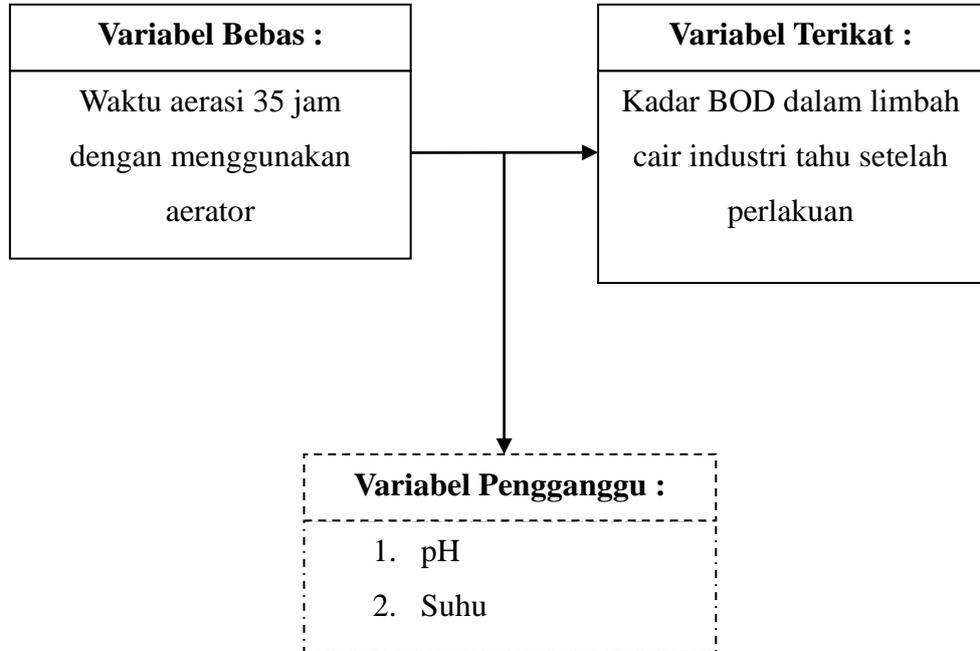
Keterangan

[- - -] : Tidak Diteliti

[] : Diteliti

D. Kerangka Konsep

Gambar II.6 Kerangka Konsep



--

 : diteliti

--

 : tidak diteliti