

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian yang menjadi acuan dalam penelitian yang dilakukan ini. Penelitian – penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

Judul, penulis, tahun terbit.	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Efektivitas <i>screening</i> mengurangi padatan kasar pada sistem IPAL PLTU, Siregar, 2018 .	Studi <i>eksperimental</i>	Penggunaan <i>screening</i> mampu mengurangi kandungan padatan kasar hingga 60% pada tahap awal pengolahan limbah
Optimasi sistem <i>filtrasi</i> pada pengolahan air limbah PLTU, Prasetyo, 2019 .	Studi kasus	Penambahan lapisan media filter meningkatkan efisiensi penyaringan hingga 40% dan menurunkan kandungan TSS (total <i>suspended solid</i>)
Efektivitas Pengolahan Limbah Cair pada Industri Pembangkitan Listrik Tenaga Uap, Astuti, 2019 .	Metode eksperimen dan analisis laboratorium untuk mengukur parameter kualitas air sebelum dan sesudah pengolahan	Pengolahan dengan sistem IPAL efektif dalam menurunkan kadar kontaminan organik, namun diperlukan optimalisasi pada bagian sedimentasi dan <i>filtrasi</i> untuk hasil lebih baik
Analisis Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah pada Industri Energi, Rizal, 2020 .	Studi kasus pada PLTU dengan pendekatan kuantitatif menggunakan analisis data lingkungan dan uji kualitas air limbah	Kinerja IPAL menunjukkan efisiensi tinggi dalam pengurangan kandungan BOD, COD, dan TSS, namun perlu peningkatan dalam penanganan logam berat untuk memenuhi standar baku mutu lingkungan
Evaluasi Kinerja IPAL pada PLTU dan Dampaknya terhadap Kualitas Air Sungai, Susanto, 2021 .	Observasi lapangan, pengambilan sampel air, dan analisis kualitas air di laboratorium	IPAL berhasil menurunkan polutan hingga 80%, namun ditemukan peningkatan kadar nitrogen yang perlu dikendalikan untuk menjaga ekosistem sungai
Optimalisasi Sistem IPAL pada Industri Pembangkit Listrik untuk Menekan Emisi Limbah Cair, Putri, 2022 .	Analisis statistik dengan perbandingan data historis dan simulasi perbaikan sistem	Sistem IPAL dapat dioptimalkan melalui pengaturan laju aliran dan penambahan bahan kimia tertentu, dengan peningkatan efisiensi sekitar 15% dalam pengolahan air limbah

2.2. Instalasi Pengolahan Air Limbah Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Instalasi Pengolahan Air Limbah PLTU adalah sistem pengolahan air limbah yang khusus dirancang untuk menangani limbah cair yang dihasilkan dari proses operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Limbah ini biasanya berasal dari berbagai proses, seperti pendinginan, pembakaran bahan bakar, dan kegiatan *clarifier* merupakan tempat proses sedimentasi yang menggabungkan proses kimia (koagulasi, flokulasi) dan proses (sedimentasi) pada satu unit tangki. *Clarifier* berfungsi untuk mengurangi kandungan TSS dalam air dan dapat menghasilkan air dengan tingkat kejernihan yang tinggi pada *water treatment plant*. *Clarifier* berfungsi untuk mengikat partikel-partikel kecil yang akan menjadi partikel - partikel besar berupa lumpur yang akan terendapkan didasar *clarifier* yang dapat menghasilkan air limbah (Aneke, 2016).

Fungsi Instalasi Pengolahan Air Limbah PLTU adalah sebagai alat untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan selama proses PLTU dan mengurangi pencemaran, menghilangkan atau menurunkan kadar bahan pencemar, seperti logam berat, bahan organik, dan zat kimia (Wang, 2016).

2.2.1. Konsep Dasar IPAL di PT Bakti Nugraha Yuda Energy

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di PT Bakti Nugraha Yuda Energy, dirancang untuk mengelola dan mengolah limbah cair yang dihasilkan dari proses operasional PLTU mengintegrasikan berbagai teknologi pengolahan, seperti pengendapan, filtrasi, dan pengolahan biologis, untuk mengurangi kadar zat pencemar dalam air limbah menggunakan teknologi terbaru dan ramah lingkungan

untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan Instalasi Pengolahan Air Limbah dilengkapi dengan alat pengukuran dan pemantauan untuk memastikan bahwa kualitas air limbah yang diolah memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan (Akanji, 2021).

2.2.2. Fungsi IPAL di PT Bakti Nugraha Yuda Energy

Instalasi Pengolahan Air Limbah bertugas mengolah air limbah yang dihasilkan dari proses pembangkitan listrik, termasuk sistem pendinginan dan proses pembakaran Fungsi utama IPAL untuk menurunkan kadar bahan pencemar seperti logam berat, senyawa organik, dan nutrisi berlebih dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan dalam memenuhi standar kualitas yang dapat digunakan kembali dalam proses industry Memastikan bahwa semua pengolahan limbah cair dilakukan sesuai dengan peraturan dan standar lingkungan yang berlaku, sehingga perusahaan dapat beroperasi secara legal dan bertanggung jawab (Edeh, 2021).

2.3. Limbah Cair

Limbah cair adalah yang berwujud cair terlarut dalam air, selalu berpindah, dan tidak pernah diam. Contoh limbah cair industri adalah bahan kimia, hasil pelarut, air bekas produksi, oli bekas limbah cair yang dihasilkan dalam kegiatan operasi limbah domestik, air larian permukaan, limbah cair proses operasi, sisa atau bekas minyak berupa oli bekas dan ceceran minyak (Apha, 2017).

2.4. Standar Kualitas Air Limbah

Standar baku mutu air limbah industri adalah kriteria yang ditetapkan oleh pemerintah untuk memastikan bahwa air limbah yang dibuang ke lingkungan tidak mencemari sumber daya air dan tidak membahayakan kesehatan manusia serta ekosistem. Di Indonesia, regulasi yang mengatur kualitas air limbah dapat ditemukan dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, serta dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK).

Standar baku mutu yang harus dipenuhi oleh air limbah industri di PT Bakti Nugraha Yuda Energy, air limbah yang dihasilkan dari proses pembangkitan harus memenuhi standar baku mutu tertentu. Berikut adalah beberapa parameter yang umumnya diatur dan nilai maksimum yang diperbolehkan sesuai dengan regulasi (Wibowo, 2019), yaitu sebagai berikut :

1. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Standar maksimum BOD adalah 30 mg/l. BOD mengukur jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air. Nilai yang tinggi menunjukkan adanya pencemaran organik.

BOD atau *Biological Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik. Ditegaskan lagi, bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organicmatter*). Prinsip pengukuran BOD pada dasarnya cukup

sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO1) dari sampel segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20°C) yang sering disebut dengan DO5. Selisih DO1 dan DO5 (DO1 - DO5) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L) (Atima, 2015).

BOD (*Biological Oxygen Demand*) didefinisikan sebagai oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk memecahkan bahan-bahan organik yang ada di dalam air. Uji BOD dibutuhkan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk maupun perindustrian. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik dibutuhkan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya dari proses oksidasi.

2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Standar maksimum COD adalah 100 mg/l. COD mengukur total bahan organik dalam air yang dapat dioksidasi. Ini termasuk senyawa yang tidak dapat diuraikan secara biologis.

COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat ditera dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk

oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Kelemahannya, senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi, sehingga dalam kasus-kasus tertentu nilai COD mungkin sedikit, over estimate, untuk gambaran kandungan bahan organik (Apha, 2017).

Chemical oxygen demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimiawi atau banyaknya oksigen-oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O . COD merupakan salah satu parameter kunci sebagai pendeteksi tingkat pencemaran air. Semakin tinggi COD, maka semakin buruk kualitas air yang ada.

Reaksi oksigen ini sekitar 85% zat organik yang ada didalam air teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dalam suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri. Secara khusus COD sangat bernilai apabila BOD tidak dapat ditentukan karena terdapat bahan-bahan beracun. Waktu pengukuran COD juga lebih singkat dibandingkan pengukuran BOD. Namun demikian BOD dan COD tidak menentukan hal yang sama dan karena nilai-nilai secara langsung COD tidak dapat dikaitkan dengan BOD. Hasil dari pengukuran COD tidak dapat membedakan antara zat organik yang stabil dan yang tidak stabil. Angka COD juga merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara ilmiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air

3. TSS (*Total Suspended Solids*)

Batas maksimum Total Suspended Solid (TSS) yang diperbolehkan adalah 60 mg/l. TSS mengacu pada partikel padat yang mengambang dalam air, yang jika kadarnya terlalu tinggi dapat mengganggu ekosistem akuatik.

TSS atau total padatan tersuspensi terdiri dari bahan organik dan anorganik yang dapat disaring menggunakan kertas milipore dengan pori-pori 0,45 μm . Keberadaan partikel tersuspensi dalam air berdampak negatif terhadap kualitas air, karena dapat mengurangi penetrasi cahaya matahari ke dalam badan air, meningkatkan tingkat kekeruhan, dan menghambat pertumbuhan organisme produser (Jenkins, 2019).

Sebagai parameter kualitas air, TSS berperan penting dalam menentukan kelayakan ekosistem perairan. Konsentrasi TSS yang tinggi dapat membahayakan kehidupan ikan, menyebabkan infeksi akibat abrasi insang yang parah, serta mengganggu kemampuan ikan dalam mencari makanan. Hambatan yang ditimbulkan oleh partikel tersuspensi juga meningkatkan risiko ikan menjadi mangsa predator. Selain itu, partikel tersuspensi memengaruhi kadar oksigen terlarut dalam air. Cahaya matahari yang diserap oleh partikel ini meningkatkan suhu air, yang pada gilirannya menurunkan kapasitas air dalam menyimpan oksigen, sehingga mengganggu kelangsungan hidup spesies yang bergantung pada lingkungan air dingin. Lebih lanjut, keberadaan TSS menghambat proses fotosintesis pada tumbuhan air dengan membatasi cahaya yang dapat menembus perairan, sehingga produksi oksigen dalam ekosistem tersebut turut berkurang.

4. pH

Rentang pH yang ideal untuk air limbah adalah antara 6 hingga 9. Air limbah harus memiliki tingkat keasaman atau kebasaan yang seimbang agar tidak mengganggu keseimbangan ekosistem perairan.

Kadar klorida yang tinggi dapat berdampak negatif pada kehidupan akuatik. Konsentrasi ion hidrogen digunakan sebagai indikator kualitas air, baik untuk air alami maupun air limbah. Tingkat pH yang sesuai sangat penting untuk mendukung kehidupan biologis dalam air. Jika air limbah memiliki pH yang terlalu asam atau basa, proses biologis yang berperan dalam penjernihan air akan terhambat, sehingga memperumit pengolahan limbah. Pengukuran pH air dilakukan menggunakan pH-meter (Eddy, 2014).

5. TDS

Batas maksimum Total Dissolved Solids (TDS) berkisar antara 2000 hingga 3000 mg/L. TDS mengukur jumlah partikel terlarut dalam air, yang dapat berupa logam maupun mikroorganisme.

TDS merupakan parameter yang menunjukkan konsentrasi zat terlarut, baik organik maupun anorganik, seperti garam dan senyawa lainnya, dalam suatu larutan. Pengukuran TDS dilakukan menggunakan TDS meter, yang menyatakan jumlah zat terlarut dalam satuan Part Per Million (PPM) atau setara dengan milligram per liter (mg/L). Secara umum, zat yang terlarut dalam air harus mampu melewati saringan dengan diameter 2 mikrometer (2×10^{-6} meter). Salah satu penerapan utama pengukuran TDS adalah dalam penilaian kualitas cairan, terutama dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah (Eddy, 2014).

Total Dissolved Solids (TDS) atau total zat padat terlarut merupakan ukuran kandungan zat terlarut dalam air, baik yang bersifat organik maupun anorganik, seperti garam dan mineral. TDS mencakup berbagai senyawa organik dan anorganik yang larut dalam air, termasuk mineral dan garam.

TDS adalah komponen yang umum ditemukan dalam berbagai jenis limbah, meskipun sering kali tidak dianalisis secara mendetail, baik dalam hal kandungan kimia maupun tingkat toksisitasnya. Parameter ini mencerminkan konsentrasi ion-ion utama dalam air tawar, seperti natrium, kalium, kalsium, magnesium, klorida, sulfat, dan bikarbonat.

2.5. Implementasi di PT Bakti Nugraha Yuda Energy

PT Bakti Nugraha Yuda Energy, memastikan bahwa semua air limbah yang dihasilkan dari proses operasional memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh regulasi pemerintah. Beberapa langkah yang diambil secara rutin yaitu dengan melakukan pengujian kualitas air limbah untuk memastikan bahwa semua parameter berada dalam batas yang ditentukan Menggunakan teknologi pengolahan limbah yang sesuai untuk mengurangi kandungan pencemar dalam air limbah, seperti pengolahan biologis, kimia, atau fisik yang mendokumentasikan hasil pengujian dan pengolahan air limbah untuk kepatuhan terhadap regulasi dan transparansi kepada pemangku kepentingan (García, 2018).

2.6. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kinerja IPAL di PT Bakti Nugraha Yuda Energy

Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di PT Bakti Nugraha Yuda Energy, dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dapat dikategorikan menjadi tiga aspek utama, fisik, kimia, dan biologi. Pemahaman tentang faktor-faktor ini sangat penting untuk memastikan efektivitas pengolahan limbah cair yang dihasilkan oleh proses pembangkit listrik (Wang, 2017).

- **Faktor Fisik**

Instalasi Pengolahan Air Limbah secara optimal sangat penting agar dapat menangani volume air limbah yang dihasilkan oleh PLTU. Kapasitas sistem harus sesuai dengan fluktuasi beban limbah, sehingga tidak terjadi penumpukan yang dapat mengurangi efektivitas pengolahan seperti penyaringan dan pengendapan harus berjalan efektif untuk menghilangkan partikel besar dan padatan tersuspensi. Jika tidak, material ini dapat mengganggu proses pengolahan berikutnya. Suhu dan kecepatan aliran air limbah yang masuk ke IPAL dapat mempengaruhi proses pengolahan. Suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat reaksi kimia dan biologi yang diperlukan untuk penguraian zat pencemar (González, 2018).

- **Faktor Kimia**

Konsentrasi bahan pencemar yang terdapat dalam limbah cair sangat berpengaruh terhadap proses pengolahan. Limbah yang mengandung zat berbahaya atau senyawa beracun memerlukan perlakuan khusus agar tidak mencemari lingkungan. pH yang tidak sesuai (terlalu asam atau basa) dapat

menghambat aktivitas mikroorganisme dalam proses biologis. Selain itu, kadar nutrisi seperti nitrogen dan fosfor juga harus berada dalam batas optimal untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme dalam proses pengolahan, seperti koagulan dan flokulan, harus dilakukan dengan tepat. Pemilihan bahan kimia yang sesuai dapat meningkatkan efisiensi pengendapan, tetapi penggunaan yang berlebihan dapat mencemari limbah yang telah diolah (Gonzales, 2015).

- **Faktor Biologi**

Aktivitas mikroorganisme dalam sistem sangat penting untuk proses biologis. Mikroorganisme yang efektif dapat menguraikan bahan organik dalam air limbah. Faktor-faktor seperti suhu, pH, dan ketersediaan nutrisi dapat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme ini berada dalam sistem pengolahan (retention time) juga berpengaruh waktu yang cukup memungkinkan mikroorganisme melakukan penguraian secara optimal, sementara waktu yang terlalu singkat dapat mengakibatkan pengolahan yang tidak sempurna dalam sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah dapat meningkatkan kemampuan pengolahan, karena variasi spesies dapat mengatasi berbagai jenis bahan pencemar yang berbeda (Hariyadi, 2016).

2.7. Limbah dan Karakteristik Limbah

Secara sederhana limbah cair dapat didefinisikan sebagai air buangan yang berasal dari aktivitas manusia dan mengandung berbagai polutan yang berbahaya baik secara langsung maupun dalam jangka panjang. Berdasarkan sumbernya, limbah cair dapat dibedakan atas limbah rumah tangga dan limbah

industri, sedangkan polutan yang terdapat dalam limbah dapat dibedakan atas polutan organik dan polutan anorganik dan umumnya terdapat dalam bentuk terlarut atau tersuspensi. Polutan yang terdapat dalam limbah cair merupakan ancaman yang cukup serius terhadap kelestarian lingkungan, karena di samping adanya polutan yang beracun terhadap biota perairan, polutan juga mempunyai dampak terhadap sifat fisika, kimia, dan biologis lingkungan perairan. Dengan kata lain, perubahan sifat-sifat air akibat adanya polutan dapat mengakibatkan menurunnya kualitas air sehingga berdampak negatif terhadap kelestarian ekosistem perairan dalam berbagai aspek. Limbah cair dapat didefinisikan sebagai sampah berwujud cair yang dihasilkan dari proses industri atau kegiatan lain yang dilakukan oleh manusia. Limbah cair dapat dibedakan menjadi beberapa golongan berdasarkan asal limbahnya yaitu, limbah rumah tangga, limbah pertanian, dan limbah industry.

Sifat fisika yang berkaitan dengan pencemaran air adalah suhu, warna, bau, rasa dan kekeruhan. Suhu air limbah umumnya lebih tinggi dibandingkan suhu air normal, karena kadar oksigen terlarut dalam limbah lebih rendah dari pada kadar oksigen terlarut pada air normal. Timbulnya warna pada air disebabkan oleh adanya bahan organik terlarut dan tersuspensi termasuk diantaranya yang bersifat koloid. Dengan demikian, diketahui bahwa intensitas warna berbanding lurus dengan konsentrasi polutan dalam limbah, yang artinya intensitas warna dapat memperlihatkan kualitas suatu limbah. Bau dan rasa pada air limbah timbul karena adanya penguraian bahan-bahan organik terlarut secara mikrobiologis. Kekeruhan adalah ciri lain dari limbah cair yang

disebabkan oleh partikel tersuspensi dalam limbah yang menimbulkan dampak negatif paling nyata yaitu turunnya daya serap air akan cahaya matahari, sehingga proses kehidupan biota perairan terganggu.

Selain sifat fisika, polutan dalam limbah juga akan mempengaruhi sifat kimia air yaitu adanya perubahan derajat keasaman (pH) serta tingginya nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah. Derajat keasaman air merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi aktivitas kehidupan dalam perairan. Terjadinya perubahan pH pada air tercemar adalah akibat dari penguraian berbagai polutan organik yang terdapat dalam limbah, sehingga akan mempengaruhi nilai COD dan BOD. pH, COD dan BOD ketiganya merupakan parameter kualitas limbah karena dapat menyatakan kadar oksigen yang dibutuhkan dalam menguraikan polutan organik dalam limbah.

Di dalam air terdapat berbagai jenis mikroorganisme seperti candawan, alga, bakteri, protozoa, dan virus, yang memanfaatkan bahan organik yang ada dalam limbah sebagai media untuk pertumbuhannya. Hal tersebut mengakibatkan air limbah tidak layak digunakan dan dikonsumsi.

Adanya benda buangan ini seringkali tidak diinginkan masyarakat karena dengan konsentrasi dan kualitas tertentu limbah dapat mengakibatkan dampak negatif bagi lingkungan dan masyarakat disekitarnya, oleh sebab itu diperlukan pengelolaan limbah untuk mengatasi dampak negatif tersebut.

Bahan yang sering ditemukan dalam limbah antara lain senyawa organik yang dapat terbiodegradasi, senyawa organik yang mudah menguap, senyawa

organik yang sulit terurai, logam berat yang toksik, padatan tersuspensi, nutrisi, mikroba patogen, dan parasit.

Mutu air merupakan kondisi kualitas air yang diukur dan diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Secara umum untuk pengelolaan limbah Cair Bagi Kegiatan Industri sebagai monitor terhadap kualitas limbah cair tersebut apakah telah layak dan diperbolehkan untuk dibuang pada badan air, maka hendaklah sesuai dengan baku mutu limbah cair dari menteri lingkungan hidup dan kebijakan daerah setempat dimana industri tersebut berada. Parameter limbah cair yang harus diperhatikan dan diuji sebelum dibuang ke lingkungan diantaranya yaitu pH (*Potential Hydrogen*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), DO (*Dissolved Oxygen*), padatan tersuspensi (TSS) dan kekeruhan air, dan Warna (Budiarto, 2016).

- Pengertian Efisiensi

Efisiensi IPAL mengacu pada kemampuan sistem pengolahan limbah dalam menurunkan konsentrasi polutan hingga memenuhi standar kualitas yang ditentukan. Beberapa parameter utama untuk mengevaluasi efisiensi ini meliputi: *Biological Oxygen Demand* (BOD), yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air; *Chemical Oxygen Demand* (COD), yang mengukur oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik, baik yang mudah maupun sulit terurai; *Total Suspended Solid* (TSS), yang mencerminkan jumlah partikel

padat yang tersuspensi dalam air limbah; serta pH, yang menggambarkan tingkat keasaman atau kebasaan air limbah (Heizer, 2014).

- Pengertian efektivitas

Efektivitas merujuk pada sejauh mana IPAL berhasil mencapai target pengolahan limbah sesuai dengan standar baku mutu lingkungan. Parameter yang digunakan untuk menilai efektivitas biasanya mencakup kemampuan IPAL dalam memenuhi baku mutu lingkungan, seperti BOD kurang dari 30 mg/L dan COD kurang dari 100 mg/L (berdasarkan peraturan yang berlaku di Indonesia). Selain itu, persentase penurunan BOD, COD, TSS, dan parameter lain juga menjadi indikator penting (Render, 2014).

- Pengertian Efektiv

Efektiv adalah ukuran seberapa baik suatu proses atau sistem mencapai tujuan, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Kemampuan IPAL untuk, faktor efektivitas, indikator efektivitas IPAL, manfaat efektivitas IPAL (Heizer, 2014).

- Pengertian efisien

Efisiensi dalam IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) merujuk pada kemampuan sistem dalam mengolah air limbah agar memenuhi standar lingkungan dengan penggunaan sumber daya seminimal mungkin. Tingkat efisiensi IPAL dapat dinilai dari berbagai aspek, seperti efektivitasnya dalam menurunkan kadar pencemar seperti BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solids*), nitrogen, fosfor, dan zat berbahaya lainnya.

Selain itu, efisiensi juga dapat dilihat dari seberapa hemat energi yang digunakan dalam proses pengolahan, termasuk operasional pompa, aerasi, serta metode biologis atau kimiawi yang diterapkan. Penggunaan bahan kimia seperti koagulan, flokulan, dan desinfektan juga harus dioptimalkan agar tidak berlebihan.

Faktor lain yang berperan adalah biaya operasional, di mana IPAL yang efisien mampu berfungsi dengan pengeluaran seminimal mungkin dibandingkan dengan manfaat yang dihasilkan. Selain itu, kemampuan dalam mendaur ulang air hasil olahan (reuse), menghasilkan biogas, atau memanfaatkan lumpur sebagai pupuk atau sumber energi juga menjadi indikator penting efisiensi IPAL.

- Pengertian metode screening filtrasi

Metode Screening filtrasi adalah proses pengolahan limbah cair secara fisika, yang diawali dengan proses penyaringan awal/screening dan dilanjutkan penyaringan lanjut/filtrasi.

Pengolahan secara fisika dapat memisahkan kandungan bahan limbah dengan cara mekanis atau langsung, tanpa penambahan bahan kimia serta penghancuran biologis. Secara rinci proses pengolahan limbah cair/sebagai berikut.

1. Screening atau penyaringan awal

Tahap pertama pengolahan limbah cair secara fisika adalah penyaringan awal atau screening. Tujuannya adalah untuk menyaring atau menghilangkan sampah dan benda padat yang berukuran besar, seperti krikil, kayu, dahan, daun, bangkai hewan, botol, plastik, kaleng, dan jenis sampah lain dari buangan industri.

Umumnya setiap sistem pengolahan limbah cair mempunyai alat screening yang dinamakan bar screen. Alat tersebut terbuat dari logam atau besi berongga dan terletak di area aliran masuk limbah cair. Sampah-sampah besar pada limbah cair akan tersaring di sana sebelum menuju area utama kolam penampungan.

Selanjutnya sampah padatan yang terjebak di permukaan bar screen akan di buang secara manual, sehingga limbah cair dapat melalui proses penyaringan berikutnya tanpa mengalami hambatan di sepanjang saluran air. Bar screen juga dapat mencegah rusaknya peralatan pengolahan limbah seperti pompa.

2. Filtrasi atau penyaringan

Limbah cair juga bisa melalui penyaringan lanjutan berupa filtrasi. Tujuan dari filtrasi adalah untuk menyisahkan padatan yang berukuran lebih kecil, sulit mengendap dalam waktu singkat, dan konsentrasi padatan yang tidak terlalu tinggi. Filtrasi bisa dilakukan di tahap awal atau akhir pengolahan limbah cair secara fisika.

Proses penyaringan padatan kecil menggunakan media filter berupa bahan padat seperti pasir, batu bara, krikil, batu gamping, abu layang, dan dolomit

padatan pada air limbah akan terpisahkan dan tertahan pada permukaan dan pori-pori media filter tersebut. Namun, media filter tidak akan ikut larut bersama air limbah.

Ada pula metode filtrasi yang menggunakan membran, yaitu ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis. Prinsipnya hampir sama, hanya saja ukuran pori membrannya sedikit berbeda. Metode ini cocok untuk air yang terkontaminasi tinggi, karena mampu menghasilkan air dengan tingkat kemurnian yang tinggi.

Teknologi membran ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, dan nanofiltrasi di tujukan untuk penggunaan produktif, seperti air proses, air irigasi, atau air yang akan dialirkan ke alam terbuka. Sementara reverse osmosis dimanfaatkan untuk proses pengolahan air yang akan dijadikan sebagai sumber air minum.