

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri

Air limbah dari industri pengolahan kopi merupakan salah satu jenis limbah cair yang menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan karena memiliki kandungan yang kompleks dan sulit diuraikan secara alami. Limbah cair dari industri ini umumnya mengandung senyawa organik dan anorganik yang cukup tinggi, terutama dari sisa-sisa proses pencucian, fermentasi, dan pengolahan biji kopi. Limbah padat dari industri kopi meliputi ampas kopi, yang merupakan sisa hasil dari proses penyeduhan atau ekstraksi kopi dengan kandungan organik tinggi seperti lignin, selulosa, dan protein. Limbah ini memiliki potensi sebagai pupuk karena kaya akan nutrisi seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Selain itu, terdapat kulit buah kopi yang dihasilkan dari proses pengupasan dan pengeringan, yang memiliki kandungan serat tinggi berupa karbohidrat dan senyawa fenolik. Namun, jika dibiarkan membusuk, limbah padat ini dapat menghasilkan bau busuk yang mencemari lingkungan. Limbah cair dari industri kopi memiliki ciri fisik seperti warna cokelat gelap atau keruh serta bau tidak sedap akibat dekomposisi bahan organik. Secara kimia, limbah ini bersifat asam dengan pH rendah berkisar antara 3-5, memiliki kandungan COD dan BOD yang tinggi, serta mengandung zat organik kompleks seperti kafein, tanin, dan asam organik, juga nutrisi seperti amonium, nitrat, fosfat, dan kalium. Secara biologis, limbah cair ini mengandung mikroorganisme, terutama dari proses fermentasi, yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik.

Komponen utama yang menjadi perhatian adalah pH yang asam, Total Suspended Solids (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), serta kandungan amonium (NH_4) dan Nitrit (NO_2). Kandungan zat-zat ini, jika tidak diolah dengan baik, berpotensi mencemari badan air di sekitarnya, mengurangi kualitas air, dan merusak ekosistem perairan. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, parameter-parameter seperti pH, TSS, BOD, COD, Amonium, dan

Nitrit pada limbah cair industri kopi sering kali melebihi baku mutu yang ditetapkan, sehingga pengolahan yang tepat sangat diperlukan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Berikut merupakan karakteristik spesifik dari parameter tersebut:

2.1.1 Derajat Keasaman (pH)

pH adalah ukuran keasaman atau kebasaan suatu larutan yang dinyatakan dalam skala logaritmik dari 0 hingga 14, yang menunjukkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan. Pada skala ini, pH kurang dari 7 menunjukkan sifat asam, pH 7 bersifat netral, dan pH lebih dari 7 menunjukkan sifat basa atau alkali. Nilai pH yang ekstrem, baik terlalu asam maupun terlalu basa, dapat berdampak negatif pada lingkungan, seperti pada limbah industri yang membutuhkan pengelolaan khusus berdasarkan tingkat keasaman atau kebasaannya. Selain itu, pH berperan penting bagi organisme hidup karena banyak yang membutuhkan rentang pH tertentu untuk bertahan hidup, seperti tanah untuk pertumbuhan tanaman yang idealnya berada di kisaran pH 5,5–7,5. Pengaruh pH juga terlihat dalam proses biologis dan kimia, seperti fermentasi atau pengolahan limbah, sehingga pemantauan pH menjadi penting dalam berbagai bidang, termasuk pengelolaan lingkungan, kualitas air, dan proses industri.

Pada industri kopi, tingkat keasaman atau pH limbah cair sering kali berada dalam kisaran yang sedikit asam, seperti yang tercatat pada pH 5,32. Hal ini lebih rendah dari rentang pH yang ideal untuk keberadaan kehidupan biologis, yaitu antara 6 hingga 9. Kondisi pH yang rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan kesulitan dalam proses pengolahan limbah secara biologis, karena mikroorganisme yang digunakan dalam pengolahan limbah cenderung lebih efisien bekerja pada pH netral atau sedikit basa. Jika pH limbah cair tidak disesuaikan terlebih dahulu, maka dapat memengaruhi pH air alami saat dibuang ke badan air, yang berisiko mengganggu ekosistem air Pribadi, (R. N., & Hadi, S., 2022).

Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, batas pH yang diterima untuk limbah cair industri kopi dan tekstil adalah antara 6 hingga 9 mg/L. Oleh karena itu, penting bagi industri kopi untuk mengolah limbahnya sebelum dibuang agar tidak merusak kualitas air alami. Salah satu cara yang umum digunakan untuk menyesuaikan pH limbah cair adalah dengan menggunakan bahan pengatur pH, seperti kapur untuk menaikkan pH atau asam untuk menurunkannya, tergantung pada kondisi limbah cair tersebut (Sugiarto, D., 2020).

2.1.2 Total Suspended Solids (TSS)

TSS adalah padatan yang tersuspensi di dalam air. Tersuspensi adalah kondisi di mana partikel-partikel padat kecil terdistribusi secara merata di dalam cairan tanpa larut, sehingga tetap mengambang atau melayang-layang dalam medium cair tersebut. Partikel ini tidak larut karena ukuran dan sifat kimianya, tetapi juga tidak mengendap sepenuhnya selama periode waktu tertentu, kecuali jika ada gangguan atau perlakuan khusus seperti sedimentasi atau sentrifugasi.

Partikel tersuspensi biasanya terdiri dari bahan organik, seperti sisa tumbuhan atau mikroorganisme, dan bahan anorganik, seperti pasir, tanah liat, atau partikel logam. Ukuran partikel-partikel ini biasanya lebih besar dibandingkan molekul atau ion dalam larutan sejati, tetapi cukup kecil sehingga gerakan cairan (misalnya turbulensi atau aliran) dapat mempertahankan partikel-partikel ini dalam suspensi.

Keberadaan partikel tersuspensi dapat memengaruhi sifat fisik, seperti kekeruhan air, serta sifat kimia dan biologis suatu cairan, sehingga menjadi parameter penting dalam analisis kualitas air atau limbah. Contoh partikel tersuspensi dalam kehidupan sehari-hari adalah lumpur dalam air sungai atau debu yang melayang dalam udara.

TSS (Total Suspended Solids) dalam limbah cair industri kopi mencakup padatan yang dapat disaring, yang terdiri dari partikel-partikel organik dan anorganik yang ada dalam air limbah. TSS ini biasanya terbentuk

selama proses pengolahan kopi, seperti pencucian biji kopi, pengolahan pasca-panen, dan proses fermentasi. Partikel-partikel ini dapat mengendap dan membentuk lapisan sludge, yang memerlukan pengolahan untuk mencegah pencemaran lingkungan.

TSS dalam limbah industri kopi dapat mencapai angka tinggi, dengan rata-rata konsentrasi 1475 mg/L, melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Oleh karena itu, pengolahan limbah dengan teknologi yang tepat sangat diperlukan untuk menurunkan konsentrasi TSS dalam limbah cair kopi agar memenuhi persyaratan lingkungan (Novita, D., et al., 2019).

2.1.3 BOD

BOD (Biochemical Oxygen Demand) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air selama periode waktu tertentu, pada suhu 20°C. Bahan organik yang diuraikan oleh BOD (Biochemical Oxygen Demand) adalah senyawa organik yang terdapat dalam air dan dapat dipecah oleh mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, dengan menggunakan oksigen. BOD digunakan sebagai indikator untuk mengukur tingkat pencemaran organik dalam air. Mikroorganisme dalam air menguraikan bahan-bahan organik ini dengan menggunakan oksigen dalam proses yang disebut respirasi biologis. Semakin banyak bahan organik yang ada dalam air, semakin tinggi nilai BOD-nya, yang menunjukkan adanya potensi pencemaran organik yang lebih besar. Semakin tinggi nilai BOD, semakin banyak oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai bahan organik.

Biochemical Oxygen Demand (BOD) pada industri kopi merujuk pada jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah selama periode waktu tertentu, biasanya lima hari pada suhu 20°C. Limbah cair dari industri kopi mengandung senyawa organik yang berasal dari sisa pengolahan biji kopi, termasuk pulp dan ampas kopi, yang dapat menyebabkan tingginya nilai BOD. Nilai BOD yang tinggi

menunjukkan adanya konsentrasi bahan organik yang tinggi, yang mempengaruhi kualitas air dengan mengurangi kadar oksigen terlarut (DO), sehingga dapat merusak ekosistem perairan (Boyani, Z., et al., 2023).

Penelitian terhadap limbah cair industri kopi menunjukkan bahwa nilai BOD pada sampel air limbah bisa cukup tinggi, tergantung pada proses pengolahan yang diterapkan. Misalnya, pada limbah air dari kedai kopi, nilai BOD yang diukur lebih besar dari baku mutu yang ditetapkan oleh peraturan lingkungan, menunjukkan tingkat pencemaran yang signifikan (Zaharah, A., et al., 2023). Pengolahan yang tepat, seperti penggunaan karbon aktif atau metode biologis, dapat membantu menurunkan kadar BOD dan memperbaiki kualitas air limbah sehingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan (Sulistia, D., & Septisya, A., 2019).

2.1.4 COD

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik dan anorganik dalam air melalui proses kimiawi. Chemical Oxygen Demand (COD) adalah parameter penting dalam pengelolaan air limbah yang mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air secara kimiawi. Nilai COD mencerminkan tingkat pencemaran organik pada sampel air, baik dari limbah domestik maupun industri. Proses pengukurannya melibatkan oksidator kuat seperti kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dalam lingkungan asam sulfat dengan katalis perak sulfat (Ag_2SO_4). Dalam reaksi ini, bahan organik diubah menjadi karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O), sementara konsumsi oksidator dihitung untuk menentukan COD dalam miligram oksigen per liter (mg/L) (Wojnárovits, L., et al., 2024).

COD sering digunakan sebagai indikator kualitas air karena mencakup bahan organik yang sulit terurai secara biologis. Namun, metode ini memiliki kelemahan, seperti penggunaan bahan kimia berbahaya (contoh: merkuri sulfat) dan durasi analisis yang relatif panjang. Di sisi lain, COD tetap relevan

untuk mengawasi pencemaran di badan air yang lebih tercemar atau mengelola air limbah di instalasi pengolahan limbah (ScienceInfo., 2023).

Dalam limbah industri kopi, COD (Chemical Oxygen Demand) mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan-bahan organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah kopi menggunakan oksidator kuat, seperti kalium dikromat, dalam kondisi laboratorium. Limbah kopi, baik cair maupun padat, mengandung berbagai bahan organik seperti kafein, asam organik, gula, dan senyawa fenolik, yang dapat mengonsumsi banyak oksigen ketika terurai.

Dalam limbah industri kopi, COD (Chemical Oxygen Demand) mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik dan anorganik dalam limbah menggunakan oksidator kuat, seperti kalium dikromat. Limbah kopi, baik cair maupun padat, mengandung berbagai bahan organik seperti kafein, asam organik, gula, dan senyawa fenolik yang dapat mengonsumsi banyak oksigen saat terurai. Nilai COD yang tinggi dalam limbah kopi menunjukkan tingkat polusi organik yang besar, yang bisa mencemari sumber air jika tidak dikelola dengan baik. Faktor yang mempengaruhi COD dalam limbah kopi meliputi kandungan bahan organik, senyawa fenolik, serta kotoran anorganik lainnya. Mengukur COD sangat penting karena memberikan informasi tentang seberapa besar potensi pencemaran yang dapat ditimbulkan oleh limbah kopi, serta membantu industri kopi dalam merancang sistem pengolahan limbah yang efektif, seperti koagulasi-flokulasi atau biofiltrasi, untuk mengurangi dampak lingkungan.

2.1.5 Amonium (NH_4^+)

Amonium (NH_4^+) adalah ion poliatomik bermuatan positif yang terdiri dari satu atom nitrogen (N) dan empat atom hidrogen (H). Amonium (NH_4^+) adalah ion amina yang terbentuk dari amonia (NH_3) dalam larutan berair. Amonium bersifat asam lemah dan merupakan salah satu bentuk nitrogen

yang mudah diakses oleh tumbuhan, sehingga sering digunakan sebagai sumber nitrogen dalam pertanian. Ion ini biasanya dihasilkan dari dekomposisi bahan organik, limbah domestik, dan aktivitas pertanian seperti aplikasi pupuk. Dalam sistem perairan, amonium dapat diubah menjadi nitrit melalui proses nitrifikasi di bawah kondisi aerobik. Namun, dalam konsentrasi tinggi, amonium dapat menyebabkan polusi air yang memicu eutrofikasi, mengurangi kualitas air, dan berbahaya bagi kehidupan akuatik karena sifatnya yang toksik dalam bentuk bebas (amonias).

Amonium (NH_4^+) salah satu bentuk nitrogen yang umum dijumpai dalam limbah cair, termasuk dari industri kopi. Dalam konteks limbah cair industri kopi, amonium dapat berasal dari residu proses fermentasi dan degradasi bahan organik seperti pulp dan kulit kopi. Konsentrasi amonium yang tinggi dalam limbah cair industri kopi dapat menjadi tantangan lingkungan, karena senyawa ini dapat berkontribusi pada pencemaran air dan eutrofikasi jika dibuang tanpa pengolahan yang memadai (Rinawati, R., et al., 2023).

Pengolahan limbah cair yang mengandung amonium sering kali melibatkan proses biologis seperti anaerobic digestion atau unit seperti Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), yang efektif dalam mengurangi senyawa nitrogen, termasuk amonium dan nitrit. Selain itu, integrasi proses aerobik dan anaerobik dapat digunakan untuk lebih meningkatkan efisiensi pengolahan, terutama dalam menurunkan kadar nitrogen total yang relevan untuk memenuhi standar baku mutu air limbah industri (Ridwan, et al., 2023). Pengolahan limbah cair yang mengandung amonium dapat dilakukan menggunakan Proses aerob dan anaerob. Pada proses anaerob, mikroorganisme mengubah amonium menjadi gas nitrogen bebas (N_2) melalui denitrifikasi, tanpa memerlukan oksigen. Proses ini efektif namun lebih lambat dan bisa menghasilkan bau. Sebaliknya, pada proses aerob, mikroorganisme mengubah amonium menjadi nitrat (NO_3^-) dengan bantuan oksigen, yang memerlukan pasokan oksigen yang kontinu. Dalam beberapa kasus, kedua proses ini bisa digabungkan untuk meningkatkan efisiensi

pengolahan, di mana limbah diproses terlebih dahulu secara anaerob untuk mengurangi amonium, lalu dilanjutkan dengan proses aerob untuk menyelesaikan penguraian. Biofilter yang digunakan sebagai media mikroorganisme memberikan solusi biologis yang ramah lingkungan untuk mengurangi pencemaran amonium dalam limbah cair.

Dalam konteks air limbah industri kopi, **N Total** (Total Nitrogen) dan **Amonium** (NH_4^+) memiliki hubungan yang erat karena keduanya merupakan bagian dari siklus nitrogen. N Total mencakup semua bentuk nitrogen dalam air, baik organik maupun anorganik, termasuk nitrogen organik seperti protein dan senyawa organik lainnya, serta nitrogen anorganik seperti amonium (NH_4^+) nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-). Di sisi lain, amonium adalah salah satu bentuk nitrogen anorganik yang sering ditemukan dalam air limbah industri kopi, terutama sebagai hasil degradasi bahan organik.

Limbah industri kopi umumnya mengandung bahan organik dalam jumlah besar, seperti sisa biji kopi, kulit, dan pulp. Bahan organik ini terdegradasi melalui proses biologis oleh mikroorganisme, yang menghasilkan amonium melalui proses amonifikasi. Sebagai salah satu komponen N Total, konsentrasi amonium mencerminkan tahap awal dekomposisi bahan organik. Selanjutnya, amonium dapat mengalami transformasi menjadi nitrit dan nitrat melalui proses nitrifikasi dalam kondisi aerob. Transformasi ini mengurangi konsentrasi amonium tetapi tidak mengurangi N Total. Sebaliknya, dalam kondisi anaerob, nitrat dapat direduksi kembali menjadi gas nitrogen (N_2) melalui proses denitrifikasi, yang mengurangi jumlah N Total dalam limbah.

Kehadiran nitrogen, baik dalam bentuk amonium maupun total nitrogen, dapat menimbulkan dampak lingkungan seperti eutrofikasi jika air limbah dilepaskan tanpa pengolahan. Oleh karena itu, pengolahan limbah seperti metode biologis anaerob, misalnya Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), sering digunakan untuk mengurangi amonium dan N Total secara signifikan. Dalam proses ini, senyawa organik dan amonium dapat diubah menjadi gas nitrogen, sehingga mengurangi potensi polusi.

Pengukuran N Total dan amonium penting dilakukan untuk memantau dan mengevaluasi kualitas air limbah. Konsentrasi amonium biasanya menjadi indikator tahap awal penguraian nitrogen organik, sedangkan perbandingan antara amonium dan N Total digunakan untuk menilai efektivitas proses pengolahan, seperti nitrifikasi dan denitrifikasi. Dengan pengelolaan yang tepat, kualitas air limbah industri kopi dapat memenuhi standar lingkungan yang ditetapkan.

2.1.6 Nitrit (NO_2^-)

Nitrit (NO_2^-) adalah senyawa anorganik yang termasuk dalam kelompok ion nitrogen oksida. Senyawa ini bersifat oksidator lemah dan dapat mengalami oksidasi menjadi nitrat (NO_3^-). Nitrit umumnya ditemukan dalam lingkungan sebagai produk antara dalam siklus nitrogen, terutama selama proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Sumber utama nitrit di lingkungan berasal dari dekomposisi bahan organik, limbah industri, dan penggunaan pupuk kimia. Dalam konsentrasi rendah, nitrit adalah bagian alami dari proses biogeokimia, tetapi dalam jumlah tinggi, nitrit dapat bersifat toksik bagi organisme akuatik dan manusia, terutama karena kemampuannya mengganggu kapasitas darah untuk mengikat oksigen.

Nitrit dalam limbah cair industri kopi merupakan salah satu senyawa yang terbentuk dalam proses pengolahan kopi, terutama dari ampas kopi yang kaya akan nitrogen. Nitrit adalah bentuk tereduksi dari nitrat yang sering kali ditemukan dalam limbah cair sebagai hasil dari aktivitas mikroorganisme yang mengolah bahan organik. Dalam industri kopi, proses fermentasi dan dekomposisi bahan-bahan organik dapat menghasilkan nitrit, yang pada konsentrasi tinggi dapat berbahaya bagi kualitas air dan ekosistem perairan. Nitrit dapat menyebabkan penurunan kualitas air dengan mengurangi oksigen terlarut (DO), yang dapat mengganggu kehidupan akuatik. Selain itu, nitrit dalam konsentrasi tinggi juga berpotensi beracun bagi manusia, karena dapat

menyebabkan methemoglobinemia (penurunan kemampuan darah untuk mengangkut oksigen) (Irmanto, Y., & Suyata., 2023).

Pengolahan limbah cair yang mengandung nitrit (NO_2^-) menggunakan bioreaktor aerob dan anaerob melibatkan proses biologis yang memanfaatkan mikroorganisme untuk mengurangi kandungan nitrit. Pada tahap anaerob, bakteri denitrifikasi mengubah nitrit menjadi gas nitrogen (N_2), yang aman dilepaskan ke udara, tanpa memerlukan oksigen. Sedangkan pada tahap aerob, bakteri nitrifikasi mengubah nitrit menjadi nitrat (NO_3^-) dengan bantuan oksigen. Proses ini terjadi dalam bioreaktor yang dilengkapi dengan media yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Pengolahan dengan kombinasi aerob-anaerob dapat meningkatkan efisiensi, dengan tahap anaerob mengurangi nitrit secara langsung, dan tahap aerob menyelesaikan konversi menjadi nitrat. Metode ini efektif untuk mengurangi dampak pencemaran nitrit dalam limbah cair, mengurangi kebutuhan energi, dan ramah lingkungan.

Beberapa penelitian telah mengeksplorasi pengolahan limbah cair kopi untuk mengurangi kandungan nitrit. Salah satunya adalah dengan menggunakan adsorben, seperti karbon aktif dari ampas kopi, yang dapat mengurangi kadar nitrit secara signifikan melalui proses adsorpsi. Penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif dari ampas kopi dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi nitrit dalam limbah cair industri kopi, menjadikannya alternatif yang ramah lingkungan dalam pengolahan limbah cair industri kopi dan mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem (Astutik, I., 2015).

Dalam air limbah industri kopi, **N Total** (Total Nitrogen) dan **Nitrit** (NO_2^-) memiliki hubungan penting sebagai bagian dari siklus nitrogen. N Total mencakup semua bentuk nitrogen yang terdapat dalam air limbah, baik organik maupun anorganik, seperti nitrogen organik (protein dan senyawa organik lainnya) serta nitrogen anorganik (amonium, nitrit, dan nitrat). Nitrit sendiri adalah bentuk nitrogen anorganik antara yang terbentuk selama proses

nitrifikasi, yaitu oksidasi biologis dari amonium (NH_4^+) menjadi nitrit, yang kemudian dapat dioksidasi lebih lanjut menjadi nitrat (NO_3^-).

Nitrit berperan sebagai senyawa perantara dalam transformasi nitrogen. Dalam proses pengolahan air limbah, nitrit biasanya ditemukan dalam konsentrasi rendah karena sifatnya yang tidak stabil. Nitrit dapat dengan cepat teroksidasi menjadi nitrat di bawah kondisi aerob. Namun, dalam kondisi tertentu, seperti lingkungan yang kekurangan oksigen, konsentrasi nitrit dapat meningkat. Sebaliknya, dalam kondisi anaerob, nitrit dapat direduksi menjadi gas nitrogen (N_2) melalui proses denitrifikasi, yang berkontribusi pada pengurangan N Total dalam air limbah.

Dalam limbah industri kopi, nitrit dan N Total sering dipantau untuk mengevaluasi kualitas limbah dan efektivitas pengolahan. Konsentrasi nitrit yang tinggi dapat mengindikasikan adanya gangguan pada proses nitrifikasi atau kondisi lingkungan yang tidak optimal, seperti rendahnya oksigen terlarut. Hubungan antara konsentrasi nitrit dan N Total juga dapat memberikan gambaran tentang sejauh mana transformasi nitrogen terjadi dalam sistem pengolahan, termasuk efisiensi nitrifikasi dan denitrifikasi.

Pengelolaan parameter ini penting untuk memastikan air limbah yang dihasilkan memenuhi standar lingkungan. Tingginya kadar nitrit dan N Total dapat menyebabkan masalah lingkungan, seperti eutrofikasi, jika limbah dilepaskan ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai. Oleh karena itu, metode pengolahan seperti reaktor biologis aerob dan anaerob sering digunakan untuk mengoptimalkan transformasi nitrogen dan menurunkan konsentrasi nitrit serta N Total.

2.2 Bangunan Pengolahan

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang

dengan baik agar dapat menurunkan beban pencemar secara efektif. Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri Kopi ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah pH, BOD, COD, TSS, Nitrit (NO_2^-), dan Amonium (NH_4^+). Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok/tingkatan pengolahan diantaranya adalah:

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Pengolahan pendahuluan merupakan tahap awal dalam proses pengolahan air limbah yang digunakan untuk menghilangkan pengotor tertentu maupun untuk menstabilkan air limbah sehingga mampu diterima pada unit pengolahan berikutnya (Hidayah, et al., 2023). Selain itu pre-treatment juga berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan air limbah dari unit operasi produk industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan air limbahnya. Unit pengolahan air limbah secara umum dalam pengolahan pendahuluan (pretreatment) diantaranya adalah intake & screening, Bak Ekualisasi dan Netralisasi.

1. Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang digunakan untuk menyalurkan atau mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan lainnya. Saluran pembawa biasanya terbuat dari beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini di atas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m).

Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Sedangkan saluran tertutup (pipe flow) adalah sistem saluran yang

permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.

Pada IPAL Industri Kopi menggunakan Saluran Tertutup. Saluran tertutup digunakan pada pengolahan air limbah industri kopi untuk mengurangi emisi bau yang berasal dari senyawa organik mudah terdekomposisi dalam limbah cair, seperti asam organik dan kafein, yang sering menghasilkan bau tidak sedap ketika terpapar udara bebas. Selain itu, saluran tertutup juga berfungsi untuk mencegah kontaminasi silang dari lingkungan sekitar, seperti masuknya material eksternal, debu, atau sampah, yang dapat memengaruhi kualitas pengolahan limbah. Keamanan dan estetika lingkungan industri juga meningkat dengan penggunaan saluran tertutup, mengurangi risiko kecelakaan akibat paparan langsung. Terakhir, saluran ini memungkinkan pengendalian aliran air limbah yang lebih baik, menjaga efisiensi pengolahan dengan meminimalkan penguapan cairan yang dapat memengaruhi parameter kualitas limbah cair (Widjaja et al., 2019)



Gambar 2. 1 Saluran Tertutup dan Saluran Terbuka

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/TyqoSzkSKLMh2qxb9> dan <https://images.app.goo.gl/dGpuVp9inWNZ5wmf6>)%20)

Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

- 1) Kecepatan aliran (v) = 0,3 m/s – 2,4 m/s
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 316)
- 2) Free board = 5%-30%
(Sumber: Chow, 1959, Open Channel Hydraulics, hal 159. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)
- 3) Koefisien Manning (n) untuk bahan saluran beton = 0,013
(Sumber: Chow, 1959, Open Channel Hydraulics, hal 111. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)
- 4) Slope Pipa = 2-3%
(Sumber: Hakimhomint. 2017. Standar Kemiringan Pipa Air Kotor. <https://hakimhomint.wordpress.com/2017/10/23/standar-kemiringan-pipa>)

Tabel 2. 1 Nilai Koefisien Kekasaran Manning

Bahan Batas	n Manning
Kayu yang diketam (diserut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,025
Tanah	0,025
Tanah dengan batu-batu atau rerumputan	0,035
Kerikil	0,029

(Sumber: Kamiana, 2019, Hidraulika II)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q(m^3/s)}{v(m/s)}$$

Keterangan:

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = Debit limbah (M³/detik)

V = Kecepatan air fluida dalam saluran pembawa (m/detik)

(Sumber: Chow, 1959. Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Hal 5)

- Ketinggian Total

H total = H + free board

H total = H + (20% x H)

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m), freeboard = 20% dari ketinggian total.

- Cek Kecepatan (V)

$$V = \frac{Q(m^3 \text{ detik})}{A(m^2)}$$

Keterangan:

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

Q = Debit Limbah (m³/detik)

V = Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/detik)

- Headloss Saluran (Hf)

Hf = n x L

Keterangan:

Hf = Headloss saluran (m)

n = Koefisien Manning

L = Panjang saluran (m)

2. Unit Screen

Screening merupakan unit pertama yang digunakan pada pengolahan air limbah. Screening digunakan dalam menghilangkan sampah padat seperti kertas, plastik, atau kain yang dapat merusak dan menyumbat aliran air, pipa dan pompa. (United States Environmental Protection Agency, 2000). Fungsi dari screen adalah:

- a. Menyaring benda-benda padat dan kasar yang ikut terbawa dalam air buangan agar benda-benda tersebut tidak mengganggu aliran dalam saluran dan membahayakan atau merusak alat-alat, misalnya pompa, valve dan lainnya, serta mengganggu proses pengolahan air buangan. Benda-benda padat dan kasar ini antara lain plastik, batang kayu kecil, logam dan sebagainya.

- b. Mencegah timbulnya kerusakan atau penyumbatan (clogging) pada saluran dan pompa

Mencegah timbulnya kerusakan atau penyumbatan (clogging) pada saluran dan pompa

- a. Kerusakan pada alat pengolahan
- b. Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
- c. Kontaminasi pada aliran air (Metcalf & Eddy, 2003).

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe screen, diantaranya coarse screen, fine screen, dan microscreen. Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inch). Sedangkan fine screen mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inch). Microscreen pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari effluent. (Metcalf & Eddy, 2003).

Screen biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. Screen pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi. (Metcalf & Eddy, 2003). Berikut ini tipe-tipe dari Screen:

a. Coarse Screen (Saringan Kasar)

Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Dalam pengolahan air limbah, screen ini digunakan untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Menurut metode pembersihannya saringan kasar dibedakan menjadi 2, yaitu secara manual dan mekanik, di mana desain pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin.



Gambar 2. 2 Bar Screen Manual

(Sumber: <https://www.indiamart.com/proddetail/manual-bar-screen-15447659648.html>)

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain screen dengan pembersihan manual maupun mekanis adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Kriteria Pembagian Screen

Parameter	U.S Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran batang				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	23 – 38
Jarak antar batang	1,0 – 2,0	0,6 – 3,0	25 – 50	15 - 75
Parameter lain				
Kemiringan thd	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30

Parameter	U.S Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
vertikal (derajat)				
Kecepatan	1,0 – 2,0 ft/s	2,0 - 3,25 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1,0 m/s
<i>Headloss</i>	6 m	5 – 24 m	150 mm	150 – 600 mm

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004, *WWET and Reuse 4th edition*)

b. Fine Screen (Saringan Halus)

Penyaring halus (Fine Screen) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan bar screen) dan pada pengolahan primer. (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dan Biological Oxygen Demand (BOD) pada air buangan). Fine Screen juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses selanjutnya.



Gambar 2. 3 Fine Screen

(Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/fine-bar-screen10313991573.html>)

Penyaring halus (Fine Screen) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (Preliminary Treatment) adalah seperti ayakan kawat

(static wedge wire), drum putar (rotary drum) atau seperti anak tangga (step type). Penyaring halus (Fine Screen) pada umumnya memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2 – 6,0 mm.

c. Micro Screen

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat/material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi microscreen berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%. Prinsip yang digunakan pada jenis screen ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan microscreen tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20-40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50 mm. Untuk bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (Metcalf & Eddy, 2003).

Pada Perencanaan IPAL menggunakan Model Coarse screen. Bar screen tipe coarse screen digunakan di saluran terbuka industri kopi karena kemampuannya untuk menyaring padatan kasar seperti daun, ranting, dan benda lainnya. Hal ini penting untuk mencegah kerusakan pada peralatan pengolahan berikutnya. Coarse screen memiliki jarak antar batang yang lebih besar dibandingkan fine screen, sehingga lebih mudah dibersihkan, baik secara manual maupun otomatis, serta memiliki biaya operasional yang lebih rendah. Selain itu, coarse screen cocok untuk diaplikasikan di saluran terbuka karena memanfaatkan gravitasi dalam proses pemisahan padatan, sehingga lebih hemat energi (Raharjo, 2020). Dengan demikian, kombinasi sistem saluran tertutup dan coarse screen memberikan efisiensi dan efektivitas dalam pengolahan awal limbah cair industri kopi.

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung screen pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

- Tinggi bar screen

$$\text{Tinggi bar screen} = H \text{ saluran} + (\text{fb} \times H_{\text{saluran}})$$

Keterangan:

H = tinggi

Fb = freeboard

- Jumlah Batang Kisi (n)

$$W_s = (n+1) \times r + (n \times d)$$

Keterangan:

W_s = Lebar saluran (m)

n = Jumlah batang

r = Jarak antar kisi (m)

d = Lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan kisi (W_c)

$$W_c = W_s - (n \times d)$$

Keterangan:

W_c = Lebar bukaan screen

n = Jumlah batang

d = Lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi (γ) $\gamma = h + \text{freeboard}$

Keterangan:

H = Kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (P)

$$P = \gamma \sin \alpha$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (x)

$$x = P \cdot \cos \alpha$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

- Kecepatan Melalui Kisi (V_i)

$$V_i = Q W_c \times h$$

Keterangan:

Q = debit inlet air limbah (m³/s)

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

H = tinggi muka air (m)

- Headloss Non-Clogging

$$H_f = 1 C \times (V_i^2 - V^2) \times g$$

- Headloss Saat Clogging

$$H_f = 1 C_c \times (V_i^2 - V^2) \times g$$

Keterangan:

C = koefisien saat non clogging (0,7)

C_c = koefisien saat clogging(0,6)

V_i = kecepatan yang melalui screen (m/s)

V = kecepatan awal (m/s)

g = gravitasi bumi (9,81 m/s)

(Sumber: Metchalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 320)

2.2.2 Pengolahan Pertama (Primary – Treatment)

Pengolahan pertama (primary treatment) dalam konteks pengolahan air limbah adalah tahap awal dalam proses pengolahan limbah yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan zat-zat padat dan kotoran yang ada dalam air limbah, sebelum melanjutkannya ke tahap pengolahan lanjutan (sekunder atau tersier). Pada pengolahan Industri Unit pengolahan air limbah Industri Kopi dalam Pengolahan Pertama (Primary - Treatment) diantaranya adalah Bak Ekualisasi, Netralisasi, Koagulasi Flokulasi, dan Sedimentasi

3. Bak Ekualisasi

Kualitas dan kuantitas air limbah yang dihasilkan suatu industri bervariasi setiap waktunya, hal ini dapat mempengaruhi perancangan instalasi, kebutuhan bangunan, mesin, lahan, biaya operasional, dan kualitas hasil pengolahan. Bak ekualisasi berfungsi untuk menyeragamkan debit air limbah domestik yang berfluktuasi pada kondisi puncak dan minimum agar dapat meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari karakteristik air limbah yang diolah agar memberikan kondisi optimum pada proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan tipe bak equalisasi tergantung pada kuantitas limbah dan perubahan aliran limbah. Bak Equalisasi harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi dan untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak pengumpul atau saluran. Pertimbangan menggunakan bak ekualisasi dalam sistem ialah untuk meningkatkan kinerja pengolahan biologi karena akan mengurangi potensi efek shock loading serta dapat menstabilkan pH (Metcalf & Eddy, 2004).

Tujuan proses ekualisasi untuk mengolah limbah industry, yaitu:

- a. Mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah shock loading pada proses biologis.
- b. Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia yang disyaratkan untuk proses netralisasi.
- c. Meminimumkan aliran pada proses pengolahan fisik - kimia dan mengetahui rata-rata kebutuhan bahan kimia.
- d. Memberikan kapasitas untuk mengontrol aliran limbah.
- e. Mencegah tingginya konsentrasi bahan berbahaya yang masuk pada proses pengolahan biologis.

Seperti yang disebutkan di atas bak ekualisasi sangat efisien karena di dalam proses pengoperasiannya bisa mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia yang dibutuhkan dalam unit netralisasi. Pencampuran selalu diberikan pada proses equalisasi dan untuk mencegah pengendapan zat padat pada dasar bak. Pada proses pencampuran, oksidasi

dapat mengurangi bahan organik atau BOD oleh udara dalam air limbah dari proses pencampuran dan aerasi. Metode yang digunakan pada proses pencampuran antara lain:

a. Distribution of inlet flow and baffle

Distribusi aliran inlet dan baffle merujuk pada cara aliran air limbah didistribusikan ke dalam unit pengolahan dan bagaimana baffle (penghalang atau pembatas) digunakan untuk mengarahkan aliran tersebut.

b. Turbine mixing

Turbine mixing adalah metode pencampuran menggunakan turbin atau baling-baling berputar di dalam sebuah tangki atau reaktor.

c. Diffused Air Aeration

Diffused air aeration adalah proses aerasi di mana udara atau oksigen disebarkan ke dalam air limbah melalui sistem diffuser, yaitu perangkat yang memungkinkan udara dibubuhkan dalam bentuk gelembung-gelembung kecil.

d. Mechanical Aeration

Mechanical aeration adalah metode aerasi yang menggunakan peralatan mekanik, seperti aerator berputar atau kompresor, untuk mengalirkan udara atau oksigen ke dalam air limbah. Berbeda dengan diffused air aeration yang menggunakan gelembung udara, mechanical aeration bekerja dengan memanfaatkan mesin untuk menciptakan turbulensi di permukaan air, yang meningkatkan transfer oksigen ke dalam air.

Penggunaan diffused air aeration dalam pengolahan air limbah sangat penting untuk meningkatkan efisiensi transfer oksigen, mendukung proses biologis, dan memastikan kualitas air yang lebih baik setelah pengolahan. Sistem ini memberikan keuntungan dalam hal efisiensi energi, pengendalian proses yang lebih baik, dan kemudahan dalam pemeliharaan, yang menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk sistem pengolahan limbah berbasis aerobik.

Tabel 2. 3 Data Kriteria Desain Bak Ekualisasi

Bagian – bagian	Besaran (satuan)	Sumber
Kedalaman air minimum	1,5 - 2 m	Metcalf & Eddy, 2004
Kemiringan dasar bak	40 - 100 mm/m diameter	Qasim, 1985

Volume bak equalisasi dapat dihitung menggunakan 2 pendekatan, yaitu berdasarkan pola debit harian (flow balance) dan berdasarkan pola beban massa untuk polutan tertentu (composition balance). Flow balance digunakan saat komposisi air limbah masuk relative konstan namun debit air limbah berfluktuasi seiring dengan waktu. Sedangkan composition balance berlaku sebaliknya. Metode flow balance adalah yang paling sering digunakan dengan menggunakan diagram Rippl dimana volume kumulatif di plotkan terhadap waktu.

Proses ekualisasi bekerja dengan cara menampung air limbah yang masuk ke dalam tangki atau kolam ekualisasi untuk menstabilkan fluktuasi aliran dan konsentrasi bahan pencemar. Air limbah yang memiliki variasi dalam hal volume dan konsentrasi polutan, seperti BOD, COD, atau TSS, akan dicampur di dalam tangki untuk meratakan kondisi tersebut. Tangki ekualisasi dirancang dengan kapasitas yang cukup untuk menampung aliran air limbah dalam jumlah besar, memberikan waktu tinggal yang cukup untuk mengurangi fluktuasi aliran yang tajam. Aliran yang tinggi atau konsentrasi yang sangat tinggi dicampur dengan air limbah yang lebih bersih atau lebih rendah konsentrasinya, sehingga tercipta kondisi yang lebih seragam dan stabil. Proses pengendapan juga dapat terjadi di tangki ekualisasi, di mana padatan yang lebih berat akan mengendap di dasar tangki. Setelah itu, air limbah yang sudah lebih homogen dan terkendali akan diteruskan ke tahap pengolahan selanjutnya, seperti pengolahan biologis atau fisik-kimia. Dengan cara ini, ekualisasi memastikan bahwa sistem pengolahan limbah dapat beroperasi dengan lebih efisien dan stabil, mengurangi risiko overloading pada unit pengolahan dan meningkatkan kualitas air limbah yang dihasilkan.

Bak ekualisasi di desain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak ekualisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2004). Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- Volume Bak Ekualisasi

$$V = Q \times td$$

Keterangan:

Q = Debit (m³/detik)

Td = Waktu detensi (detik)

- Dimensi bak ekualisasi

$$V = L \times B \times H$$

Keterangan:

V = Volume bak ekualisasi (m³)

L = Panjang bak ekualisasi (m)

B = Lebar bak ekualisasi (m)

H = Tinggi bak ekualisasi (m)

- Kedalaman Total

$$H \text{ Total} = H + Fb$$

Keterangan:

H total = Kedalaman total (m)

H = Ketinggian air dalam bak ekualisasi (m)

Fb = Freeboard 5% – 30%

Apabila dalam bak ekualisasi terjadi penghomogenan debit limbah, maka diperlukan sistem pengadukan, dapat menggunakan sistem aerasi. Untuk menghitung daya blower yang digunakan rumus sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2004)

- Daya Blower

$$\text{Daya Blower (Pw)} = \frac{w \times R \times T1}{2550 \times n \times e} \times \frac{(P1)}{(P2)} - 1$$

Keterangan:

W = Berat aliran udara

R = Konstanta gas universal untuk udara (J/mole.K (SI units) atau ft.lb/(lb air).°R (US unit)

T1 = Temperatur absolut inlet = 20 °C = 16 °R

P2 = Tekanan absolut outlet

P1 = Tekanan absolut inlet

n untuk single stage centrifugal blower = 0,283

Faktor konversi ft.lb/s ke hp = 550

Efisiensi (E) = 0,7 – 0,9

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, hal. 441)

- Luas permukaan

$$A = \frac{Q}{V}$$

Keterangan:

Q = Debit air (m³/s)

A = Luas permukaan (m²)

V = Kecepatan (m/s)

- Diameter pipa outlet

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Keterangan:

A = Luas permukaan (m²)

D = Diameter (m)

- Cek kecepatan (v cek) pipa outlet

$$V = \frac{Q}{A}$$

Keterangan:

A = Luas permukaan (m²)

V = Kecepatan (m/s)

- Hf pipa

$$H_f \text{ mayor} = \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times (D)^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

Keterangan:

Q = Debit air (m³/s)

A = Luas permukaan (m²)

D = Diameter pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

Bak ekualisasi digunakan dalam pengolahan air limbah industri kopi untuk mengatasi fluktuasi karakteristik limbah, baik dari segi debit maupun konsentrasi polutan. Limbah cair dari proses pengolahan kopi, seperti pencucian biji, fermentasi, dan pengeringan, cenderung memiliki variasi volume dan kandungan bahan organik, seperti kafein, tanin, dan senyawa organik lainnya. Bak ekualisasi membantu mencampur air limbah dari berbagai sumber agar memiliki karakteristik yang seragam sebelum masuk ke tahap pengolahan berikutnya, sehingga meningkatkan efisiensi unit pengolahan utama seperti sedimentasi, filtrasi, atau bioreaktor. Selain itu, bak ekualisasi juga berfungsi sebagai penyangga (buffer) untuk menghindari kejutan hidrolis (hydraulic shock) dan beban pencemar yang terlalu tinggi pada sistem pengolahan biologis. Dengan adanya aerasi di dalam bak ekualisasi, pengendapan bahan organik di dasar bak dapat dicegah, sekaligus mengurangi pembentukan bau yang tidak sedap akibat aktivitas anaerobik (Sutrisno et al., 2021). Dengan demikian, bak ekualisasi menjadi elemen penting dalam menjaga stabilitas dan keberlanjutan proses pengolahan limbah cair industri kopi.

Keunggulan utama dari pemisahan bak ekualisasi dan bak netralisasi terletak pada fleksibilitas operasional, efisiensi proses, dan kemudahan pemeliharaan. Bak ekualisasi memiliki fungsi khusus untuk menstabilkan aliran dan konsentrasi limbah sebelum masuk ke tahap pengolahan berikutnya, sehingga volume dan desainnya dapat disesuaikan secara optimal tanpa harus bergantung pada kebutuhan proses netralisasi. Sementara itu, bak netralisasi dapat difokuskan sepenuhnya untuk mengatur

pH limbah tanpa terganggu oleh fluktuasi aliran yang mungkin terjadi pada bak ekualisasi. Dari segi efisiensi, menjaga kestabilan pH menjadi lebih mudah jika kedua proses ini dilakukan secara terpisah karena dalam satu bak gabungan, pencampuran yang tidak merata dapat menghambat efektivitas netralisasi. Selain itu, pemisahan juga mempermudah pemeliharaan karena masalah pada salah satu bak tidak akan memengaruhi fungsi bak lainnya, sehingga operasional secara keseluruhan dapat berjalan lebih lancar dan efisien.

Penempatan bak sedimentasi di bawah tanah dan bak clarifier di atas tanah dalam instalasi pengolahan air limbah umumnya didasarkan pada prinsip desain dan kebutuhan operasional. Bak sedimentasi sering ditempatkan di bawah tanah untuk memanfaatkan gravitasi secara optimal dalam proses pemisahan partikel padat dari air limbah. Dengan posisi ini, limbah cair dari proses sebelumnya dapat mengalir secara alami ke bak sedimentasi tanpa memerlukan banyak energi tambahan untuk pemompaan. Selain itu, bak bawah tanah juga membantu menjaga stabilitas suhu, yang penting untuk efisiensi sedimentasi, serta menghemat ruang di permukaan. Sementara itu, bak clarifier biasanya berada di atas tanah untuk mempermudah akses pemantauan, pengendalian, dan perawatan sistem. Posisi ini juga memungkinkan air hasil sedimentasi dipompa atau dialirkan ke tahap berikutnya tanpa hambatan, serta memudahkan pembuangan lumpur yang dihasilkan ke sistem pengolahan lumpur secara terpisah. Kombinasi penempatan ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi operasional sekaligus mengurangi kebutuhan energi dan ruang pada keseluruhan instalasi.

Perbedaan bentuk antara bak sedimentasi yang berbentuk rectangular (persegi panjang) dan bak clarifier yang berbentuk circular (lingkaran) berkaitan dengan fungsi dan mekanisme kerja masing-masing bak dalam instalasi pengolahan air limbah. Bak sedimentasi rectangular dirancang untuk proses pemisahan partikel padat yang bergantung pada aliran laminar dan gravitasi. Bentuk persegi panjang memungkinkan aliran air limbah

bergerak secara linier dan terkontrol, memberikan waktu yang cukup untuk partikel padat mengendap di dasar bak sepanjang jalur aliran. Desain ini cocok untuk menangani volume besar limbah dengan efisiensi pengendapan yang baik.

Sebaliknya, bak clarifier berbentuk circular dirancang untuk pengolahan akhir atau penyempurnaan pemisahan partikel. Bentuk lingkaran memungkinkan distribusi aliran yang lebih merata dari pusat ke tepi, memaksimalkan proses pemisahan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal atau aliran radial. Selain itu, desain circular memudahkan pengumpulan lumpur di tengah bak, yang biasanya dilengkapi dengan mekanisme scrapper untuk memindahkan lumpur ke saluran pembuangan. Kombinasi kedua bentuk ini memastikan setiap bak menjalankan fungsinya secara optimal dalam sistem pengolahan air limbah.

4. Netralisasi

Air baku dapat bersifat asam atau basa, maka sebelum dilanjutkan ke badan air atau ke unit pengolahan selanjutnya harus dalam keadaan optimal atau netral. Larutan dikatakan asam apabila memiliki nilai pH kurang dari 7, dikatakan netral apabila pH bernilai 7, dan dikatakan basa apabila memiliki nilai pH lebih dari 7. Proses netralisasi bertujuan untuk menetralkan derajat keasaman (pH) pada air dengan penambahan bahan kimia dan dosis yang sesuai (Metcalf & Eddy et al., 2007).

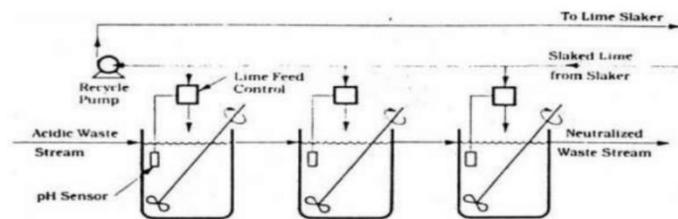
- Larutan dikatakan asam bila : $H^+ > H$ dan $pH < 7$
- Larutan dikatakan netral bila : $H^+ = H$ dan $pH = 7$
- Larutan dikatakan basa bila : $H^+ < H$ dan $pH > 7$

Proses netralisasi dalam pengolahan air limbah bertujuan untuk menyesuaikan pH udara limbah agar berada dalam rentang netral (pH 6-8), yang aman untuk proses pengolahan lanjutan dan lingkungan. Manfaat utama netralisasi adalah mencegah kerusakan pada unit pemrosesan berikutnya akibat pH yang ekstrem, seperti korosi atau pengendapan zat kimia yang tidak

diinginkan. Selain itu, netralisasi meningkatkan efisiensi proses koagulasi-flokulasi dan pengolahan biologi, karena mikroorganisme pada unit bio reaktor bekerja optimal pada pH netral. Dengan netralisasi, risiko dampak negatif terhadap lingkungan akibat pembuangan limbah dengan pH ekstrem juga dapat diminimalkan (Metcalf & Eddy, 2003).

NaOH digunakan dalam proses netralisasi karena kemampuannya untuk menaikkan pH dengan cepat dan efektif, kemudahan penggunaannya, serta biaya yang relatif murah. Proses netralisasi ini penting untuk mengurangi keasaman dalam air limbah dan memastikan air tersebut dapat diterima oleh sistem pengolahan limbah selanjutnya atau dibuang dengan aman ke lingkungan.

Adapun prinsip pencampuran di dalam bak netralisasi seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 4 Bak Netralisasi
(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007)

Agen netralisasi yang digunakan dalam proses netralisasi air limbah atau bahan kimia. Agen netralisasi adalah bahan yang ditambahkan ke dalam larutan atau limbah untuk menyeimbangkan pH, sehingga larutan tersebut mencapai pH netral (sekitar 7). Adapun agen netralisan yang biasa digunakan untuk proses netralisasi secara umum beserta klasifikasinya adalah sebagai berikut:

1. Senyawa basa
 - a. Lime dalam bentuk apapun (Senyawa Basa Kuat)
 - b. Natrium Hidroksida (NaOH) (Senyawa Basa Kuat)
 - c. Magnesium Hidroksida ($Mg(OH)_2$) (Senyawa Basa Sedang)
 - d. Natrium Karbonat (Na_2CO_3) (Senyawa Basa Lemah)

- e. Natrium Bikarbonat (NaHCO_3) (Senyawa Basa Lemah)
2. Senyawa asam
- a. Asam Sulfat (H_2SO_4) (Senyawa Asam Kuat)
 - b. Karbon Dioksida (CO_2) (Senyawa Asam Lemah) (W. Eckenfelder, 2000).

Dalam proses netralisasi, terdapat dua sistem yang digunakan dalam menjalankan prosesnya. Sistem-sistem tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- Sistem batch biasa digunakan pada air yang memiliki debit lebih kecil dari 380 m³/hari.
- Sedangkan sistem continue membutuhkan pengaturan tingkat keasaman (pH). Apabila udara diperlukan untuk proses pengadukan, maka aliran udara minimum yang dibutuhkan berkisar antara 1-3 ft³ /mm.ft² atau 0,3-0,9 m³/mm.m² dengan kedalaman 9 ft (2,7 m). Apabila sistem pengadukan dilakukan secara mekanis, maka daya yang dibutuhkan berkisar antara 0,2-0,4 hp/ribu.gal (0,04 - 0,08 kW/m³) (W. Eckenfelder, 2000).

Pada perancangan bangunan air minum kali ini, bahan kimia yang akan dipakai ialah alum. Proses penetralan umumnya dilakukan dengan pengadukan di dalam bak pencampur dengan waktu detensi berkisar antara 5-30 menit, dan biasanya dilengkapi dengan kontrolir pH. Berikut merupakan rumus-rumus yang diperlukan dan perhitungan netralisasi:

a) Bak Pembubuh

- Dosis NaOH

$$\text{Dosis} = \frac{q \text{ (mg)}}{v.\text{air (L)}} \times \frac{1}{EM \left(\frac{g}{mol}\right)} \times \frac{1}{1000 \left(\frac{mg}{g}\right)}$$

- Kebutuhan NaOH

$$\text{NaOH} = \text{Dosis NaOH} \times Q \text{ air limbah}$$

- Kebutuhan air pelarut

$$Q_1 \times N_1 = Q_2 \times N_2$$

- Volume total
 $V_{tot} = Q_{total} \times T_d$
 Keterangan :
 Q = debit air
 T_d = waktu detensi
- Dimensi tangka
 $V = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times h$
 Keterangan :
 d = diameter tangka
 h = tinggi tangki
- Suplai tenaga ke air
 $P = G^2 \times \mu \times V$
 Keterangan:
 G = gradien kecepatan
 μ = viskositas dinamik
 V = volume tangka
- Diameter *impeller*
 $Di = \left(\frac{P}{KT.n^3.\rho} \right)^{\frac{1}{5}}$
- Lebar impeller
 $Wi = 1/10 \times Di$
 Keterangan:
 Di = diameter impeller
- Cek bilangan Reynold
 $Nre = \frac{(Di)^2.n.p}{\mu}$
 Keterangan:
 Di = diameter impeller
 μ = viskositas dinamik
 n = kecepatan putaran paddle

b) **Bak Netralisasi**

- Volume tangka netralisasi

$$V. \text{ Tangki} = Q \times T_d$$

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{Air}} + V_{\text{Pembubuh}}$$

- Dimensi tangki netralisasi

$$V = 1/4 \times \pi \times d^2 \times h$$

$$H_{\text{total}} = H + \textit{Freeboard}$$

- Suplai tenaga ke air

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

$$H_{\text{total}} = H + \textit{Freeboard}$$

- Suplai tenaga ke air

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Cek Di

$$\text{Cek Di} = \frac{D_i}{D} \times 100\%$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller

D = diameter tangki

- Menghitung ukuran baffle pada tangka

$$\text{Baffle} = 10\% \times DT$$

- Cek nilai bilangan Reynold

$$N_{re} = \frac{(D_i)^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

- Luas penampang pipa

$$A = \frac{Q}{V}$$

Keterangan:

Q = debit air

V = volume tangki

- Diameter pipa outlet

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

- Cek kecepatan pipa outlet

$$V = \frac{Q}{A}$$

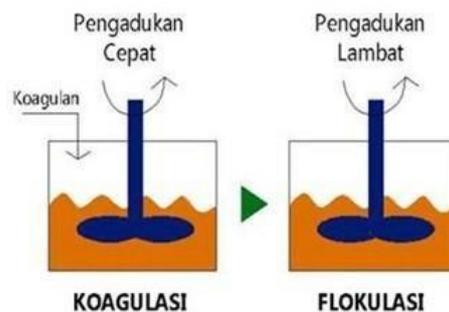
Keterangan:

Q = debit air

A = luas

5. Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi dan Flokulasi adalah proses pembentukan flok dengan penambahan pereaksi kimia ke dalam air baku atau air limbah supaya menyatu dengan partikel tersuspensi sehingga terbentuk flok yang nantinya akan mengendap. Koagulasi adalah proses pengadukan cepat dengan penambahan koagulan, hasil yang didapat dari proses ini adalah destabilisasi koloid dan suspended solid, proses ini adalah awal pembentukan partikel yang stabil. Flokulasi adalah pengadukan lambat untuk membuat kumpulan partikel yang sudah stabil berkumpul dan mengendap pada bak sedimentasi (Masduqi & Assomadi, 2016).



Gambar 2. 5 Koagulasi dan Flokulasi

(Sumber : <https://www.temukanpengertian.com/2015/05/pengertian-metode-desinfeksi.html>)

Reaktor koagulasi-flokulasi berfungsi untuk menghilangkan partikel tersuspensi, warna, dan senyawa organik dalam air limbah industri kopi melalui penambahan bahan kimia seperti koagulan (misalnya PAC) dan flokulan. Proses koagulasi menyebabkan partikel kecil membeku menjadi gumpalan (flok) yang lebih besar, sedangkan flokulasi mempermudah flok tersebut mengendap dalam tahap sedimentasi berikutnya. Dalam pengolahan limbah kopi, proses ini sangat penting untuk mengurangi Total Suspended Solids (TSS) dan beban organik awal, sehingga meningkatkan efisiensi pengolahan biologi pada tahap selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003).

Ketika memasuki proses koagulasi, terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & Assomadi, 2016). Bila koagulan ditambahkan ke dalam air, reaksi yang terjadi antara lain:

- Pengurangan zeta potensial (potensial elektrostatis) hingga suatu titik dimana gaya van der Waals dan agitasi yang diberikan menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung serta membentuk flok;
- Agregasi partikel melalui rangkaian inter partikulat antara grup-grup reaktif pada koloid;
- Penangkapan partikel koloid negatif oleh flok-flok hidroksida yang mengendap.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi antara lain:

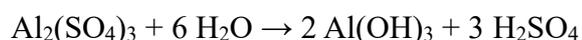
- Kualitas air meliputi gas-gas terlarut, warna, kekeruhan, rasa, bau, dan kesadahan;

- Jumlah dan karakteristik koloid;
- Derajat keasaman air (pH);
- Pengadukan cepat, dan kecepatan paddle;
- Temperatur air;
- Alkalinitas air, bila terlalu rendah ditambah dengan pembubuhan kapur;
- Karakteristik ion-ion dalam air.

Koagulan merupakan bahan kimia yang dibutuhkan untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya (secara gravitasi). Kekeruhan dan warna dapat dihilangkan melalui penambahan koagulan atau sejenis bahan-bahan kimia antara lain. (Metcalf & Eddy, 2004). Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

a) Koagulan Aluminium Sulfat (Alum) – $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$

Aluminium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan ini biasanya disebut tawas, bahan ini dipakai karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Koagulan ini membutuhkan kehadiran alkalinitas dalam air untuk membentuk flok. Dalam reaksi koagulasi, flok alum dituliskan sebagai $Al(OH)_3$. Mekanisme koagulasi ditentukan oleh pH, konsentrasi koagulan dan konsentrasi koloid. Koagulan dapat menurunkan pH dan alkalinitas karbonat. Rentang pH agar koagulasi dapat berjalan dengan baik antara 4,5 – 7 (Eckenfelder, 2000). Adapun reaksi dasarnya adalah sebagai berikut :



b) Koagulan Ferric Chloride ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)

Dalam pengolahan air penggunaannya terbatas karena bersifat korosif dan tidak tahan untuk penyimpanan yang terlalu lama.

c) Koagulan Ferrous Sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)

Dikenal sebagai Copperas, bentuk umumnya adalah granular. Ferrous Sulfate dan lime sangat efektif untuk proses penjernihan air dengan pH tinggi ($\text{pH} > 10$).

- d) Koagulan Chlorinated Copperas ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$), $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
 Dibuat dengan menambahkan klorin untuk mengoksidasi Ferrous Sulfate. Keuntungan penggunaan koagulan ini adalah dapat bekerja pada jangkauan pH 4,8-11.
- e) Koagulan Sodium Aluminate (NaAlO_2)
 Digunakan dalam kondisi khusus karena harganya yang relatif mahal. Biasanya digunakan sebagai koagulan sekunder untuk menghilangkan warna dan dalam proses pelunakan air dengan lime soda ash.
- f) Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC)
 Polimer aluminium merupakan jenis baru sebagai hasil riset dan pengembangan teknologi air sebagai dasarnya adalah aluminium yang berhubungan dengan unsur lain membentuk unit berulang dalam suatu ikatan rantai molekul yang cukup panjang, pada PAC unit berulangnya adalah Al-OH. PAC menggabungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung efisien. Namun terdapat kendala dalam menggunakan PAC sebagai koagulan aids yaitu perlu pengarahan dalam pemakaiannya karena bersifat higroskopis.

Tabel 2. 4 Jenis-Jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium sulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot X$ $\text{H}_2\text{O } x =$ 14,16,18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium aluminate	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Polyaluminium Chloride, PAC	$Al_n(OH)_mCl_3$ n-m	Cairan, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferric sulfate	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal halus	Asam	4 – 9
Ferri klorida	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kristal halus	Asam	> 8,5

PAC digunakan dalam proses koagulasi-flokulasi karena kemampuannya yang lebih tinggi dalam mengikat partikel kecil, membentuk flok yang lebih besar dan kuat, serta efisiensinya dalam bekerja pada pH rendah. Selain itu, PAC memerlukan dosis yang lebih rendah, mengurangi produksi lumpur, dan lebih hemat biaya dalam pengolahan air limbah. Semua keuntungan ini membuat PAC menjadi koagulan pilihan dalam banyak aplikasi pengolahan air dan limbah.

Pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan pada proses koagulasi dan flokulasi. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Berikut ini adalah penjelasannya :

a) Pengadukan cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Waktu pengadukan cepat dari 20-60 detik, dengan gradien kecepatan 700- 1000/s. Pengadukan cepat

dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan baffle basins (Masduqi & Assomadi, 2016).

b) Pengadukan lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Waktu pengadukan cepat dari 15- 30 menit, dengan gradien kecepatan 20-70/s. Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik dan pengadukan hidrolis (Masduqi & Assomadi, 2016).

Berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis. Berikut ini adalah penjelasannya:

a) Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metoda pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam impeller, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling- baling).

b) Paddle impeller

Paddle impeller biasanya memiliki dua atau empat blades. Blades dapat berbentuk pitch atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter paddle impeller biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar paddle biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak paddle yaitu 50% dari diameter di atas dasar tangki. Kecepatan paddle berkisar antara 20- 150 rpm. Paddle impeller tidak seefisien turbin, karena tidak menghasilkan banyak turbulensi dan gaya geser (Masduqi & Assomadi, 2016).

c) Propeller impeller

Propeller impeller memiliki dua atau tiga blades. Pitch didefinisikan sebagai jarak cairan bergerak secara aksial selama satu revolusi. Biasanya pitch adalah 1,0 atau 2,0 dan diameter propeller maksimum

18 inchi. Kecepatan propeller biasanya 400 – 1750 rpm. Agitator propeller sangat efektif dalam tangki besar, karena kecepatan tinggi (Masduqi & Assomadi, 2016).

Tabel 2. 5 Kriteria Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi	Ket
Paddle	20-150 rpm	diameter: 50-80% lebarbak lebar: 1/6 – 1/10 diameter paddle	
Turbine	10-150 rpm	diameter: 30-50% lebarbak	
Propeller	400-1750 rpm	diameter: maks. 45 cm	Jumlahpitch 1-2 buah

(Masduqi & Assomadi, 2016:113)

Tabel 2. 6 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (detik ⁻¹)
20	1000
30	900
40	790
50 ≥	700

((Masduqi & Assomadi, 2016:114))

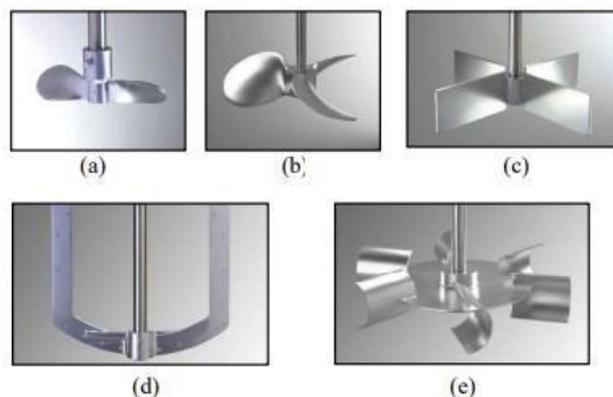
Power yang dihasilkan dari berbagai impeller dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan yang di kembangkan oleh Rushton. Daya tangki tidak sama, sesuai dengan nilai konstanta impeller, KT dan KL.

Tabel 2. 7 Konstanta KT dan KL

Jenis Impeller	KT	KL
<i>Propeller, pitch of 1, 3 blades</i>	41,0	0,32
<i>Propeller, pitch of 2, 3 blades</i>	43,5	1,00
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	60,0	5,31
<i>Turbine, 6 flat blades, vaned disc</i>	65,0	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70,0	4,80
<i>Fan turbine, 6 blades at 45o</i>	70,0	1,65
<i>Shroude turbine, 6 curved blades</i>	97,5	1,08
<i>Shroude turbine, eith stator, no baffles</i>	172,5	1,12
<i>Flat paddles, 2 blades (single paddle), Di/Wi = 4</i>	43,0	2,25
<i>Flats paddles, 2 blades, Di/Wi = 6</i>	36,5	1,70
<i>Flats paddles, 2 blades, Di/Wi = 8</i>	33,0	1,15
<i>Flats paddles, 4 blades, Di/Wi = 6</i>	49,0	2,75
<i>Flats paddles, 6 blades, Di/Wi = 8</i>	71,0	3,82

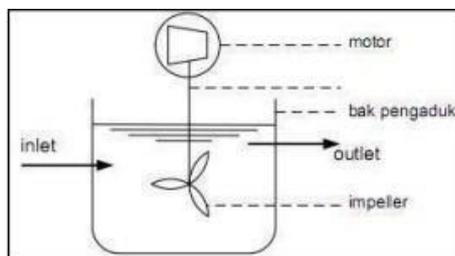
((Masduqi & Assomadi, 2016:118))

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan td . Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II, dan G di kompartemen III yang paling kecil. Pengadukan mekanis umumnya digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi hingga membentuk roda (paddle wheel), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



Gambar 2. 6 (a) 2 blade impeller (b) 3 blade impeller (c) 4 blade impeller (d) Anchor Type Impeller (e) Agitator Impeller

(Sumber: <https://www.directindustry.com/prod/lightnin/product-24564-59977.html>)



Gambar 2. 7 Pengadukan Cepat dengan Pengadukan Mekanis

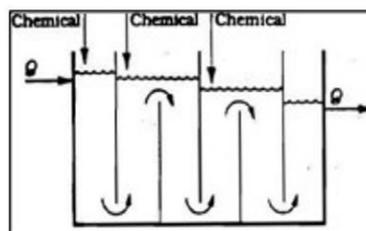
(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2016)

d) Pengadukan Hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolis yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolis. Energi

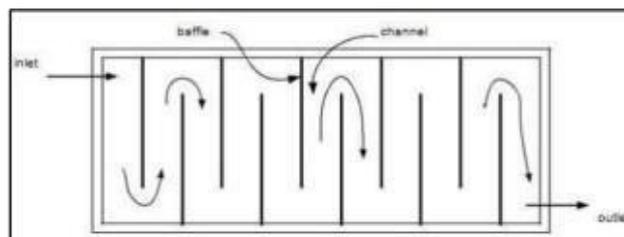
hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran.

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (headloss) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolik, dan parshall flume. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat/baffle channel, perforated wall, gravel bed dan sebagainya (Masduqi & Assomadi, 2016).



Gambar 2. 8 Baffle Basin Rapid Mixing

(Masduqi & Assomadi, 2016)



Gambar 2. 9 Baffle Channel untuk Pengadukan Lambat

(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2016)

e) Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.

Rumus-Rumus yang Digunakan :

- Kebutuhan Koagulan Harian

Kebutuhan koagulan = Dosis Koagulan x Kadar Koagulan

Keterangan:

Kebutuhan koagulan = Jumlah koagulan dibutuhkan (kg/hari)

Dosis koagulan = Dosis optimum koagulan (mg/L)

- Volume Koagulan

$$V \text{ koagulan} = \frac{\text{Kebutuhan koagulan}}{\rho}$$

Keterangan:

Kebutuhan koagulan = Jumlah koagulan dibutuhkan (kg/hari)

ρ = Massa jenis koagulan (kg/m^3)

- Debit koagulan per hari

$$Q \text{ Koagulan} = \frac{\text{Kebutuhan koagulan}}{\rho \text{ koagulan}} \times T_d$$

Keterangan:

Q koagulan = Debit koagulan (L/hari)

Kebutuhan koagulan = Jumlah koagulan dibutuhkan perhari (kg/hari)

ρ koagulan = Massa jenis koagulan (kg/L)

T_d = Periode / lama pelarutan (hari)

- Debit air pelarut

$$Q \text{ Pelarut} = \frac{100 - \% \text{ Pelarutan}}{\% \text{ koagulan}} \times Q \text{ Koagulan}$$

Keterangan:

Q air pelarut = Air yang dibutuhkan melarutkan koagulan (m³ /hari)

Kadar air pelarut = Persen kandungan air dalam larutan

Q koagulan = Debit koagulan per hari (m³ /hari)

- Total debit tangki pembubuh

$$Q \text{ Total} = Q \text{ Koagulan} + Q \text{ air pelarut}$$

Keterangan:

Q koagulan = Volume koagulan per hari (m³ /hari)

Q pelarut = Volume air pelarut per hari (m³ /hari)

- Volume tangki pembubuh (pembubuhan dilakukan 1 hari)

$$V = Q \text{ total} \times T_d$$

Keterangan:

Q total = Debit total tangki pembubuh (m³/hari)

T_d = Periode / lama pelarutan (hari)

- Kedalaman air pada bak pembubuh

$$V = \frac{1}{2} \times \pi \times D^2 \times H$$

Keterangan:

V = Volume tangki pembubuh (m³)

D = Diameter tangki pembubuh (m)

H air = Kedalaman air dalam bak pembubuh (m)

- Supply tenaga ke air/ daya pengaduk

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Keterangan:

P = Supply tenaga ke air (Watt)

G = Gradien kecepatan (L/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak pembubuh (m³)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards, Paul A., 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 187. Boston: PWS Publishing Company)

- Jarak impeller dengan dasar (H_i)

$$H_i = \% \times D_i$$

Keterangan:

H_i = Jarak impeller dengan dasar (m)

D_i = Diameter impeller % = Persentase diameter (30 – 50% D_i)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 184. Boston: PWS Publishing Company)

- Cek diameter impeller

$$\text{Cek } D = \frac{D_{\text{Impeller}}}{D_{\text{Tangki}}} \times 100 \%$$

Keterangan:

D_{impeller} = Diameter impeller tangki (m)

D_{tangka} = Diameter tangki (m)

Cek D harus memenuhi range 30-50%

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 185. Boston: PWS Publishing Company).

- Lebar Impeller

$$W_i = 1/3 \times D_{\text{Tangki}}$$

Keterangan:

W_i = Lebar impeller (m)

D_{tangki} = Diameter tangki (m)

Lebar impeller = 1/6 – 1/10

- Cek bilangan Reynold

$$\text{Cek } N_{re} = \frac{(D_i)^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

Keterangan:

N_{re} = bilangan Reynold

D_i = Diameter impeller/pengaduk (m)

μ = Kecepatan putaran (rps)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

Bilangan reynold dalam pengadukan cepat = $N_{re} > 10000$

Turbulen

Bilangan reynold dalam pengadukan cepat lambat = $N_{re} < 2000$

Laminer

6. Bak Pengendapan 1 (Sedimentasi)

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Proses ini sangat umum digunakan pada instalasi pengolahan air minum. Aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah:

- Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat.
- Pengendapan air yang telah melalui proses prasedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat.
- Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan desinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa dosing oleh alum, soda, NaCl, dan chlorine.
- Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan.

Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah:

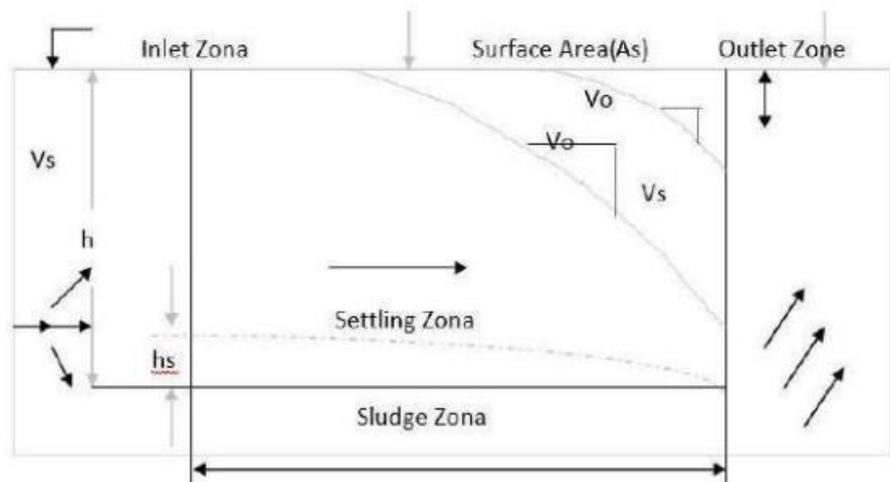
- Pengendapan Tipe I (Free Settling)
- Pengendapan Tipe II (Flocculent Settling).
- Pengendapan Tipe III (Zone/Hindered Settling).
- Pengendapan Tipe IV (Compression Settling).

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona:

1. Zona Inlet.
2. Zona Outlet.
3. Zona Settling.
4. Zona Sludge

Reaktor sedimentasi, atau bak pengendapan, berfungsi untuk memisahkan partikel padatan tersuspensi (Total Suspended Solids/TSS) dan flok yang terbentuk selama proses koagulasi-flokulasi dari air limbah industri kopi. Partikel berat mengendap ke dasar bak, sedangkan air limbah yang telah terklarifikasi mengalir ke tahap pengolahan berikutnya. Dalam pengolahan limbah kopi, sedimentasi berperan penting dalam mengurangi beban polutan organik dan padatan sebelum memasuki bio reaktor, sehingga meningkatkan efisiensi proses biologis. Proses ini juga membantu memenuhi standar baku mutu efluen dengan mengurangi parameter seperti TSS dan COD (Tchobanoglous et al., 2014).

Adapun zona-zona tersebut dapat digambarkan seperti di bawah ini:



Gambar 2.10 Zona pada bak sedimentasi

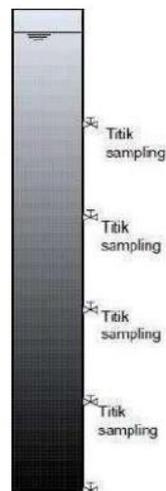
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Dimana pada setiap zona terjadi proses-proses sebagai berikut :

- Zona Inlet = Terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)

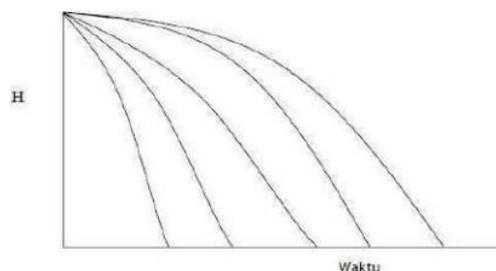
- Zona Settling = Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya
- Zona Sludge = Sebagai ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.
- Zona Outlet = Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

Kecepatan pengendapan partikel tidak bisa ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besarnya partikel yang mengendap di uji dengan column setting test dengan multiple withdraw ports. Dengan menggunakan kolom pengendapan tersebut, sampling dilakukan pada setiap port pada interval waktu tertentu, dan data removal partikel diplot pada grafik.



Gambar 2.11 Kolom Test Sedimentasi Tipe II

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)



Gamabar 2.12 Grafik Iso-removal

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Grafik isoremoval dapat digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu. Titik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tersebut. Dapat menentukan kedalaman H1, H2, H3.

Grafik isoremoval juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan surface loading atau overflow rate bila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu. Langkah yang dilakukan adalah:

1. Menghitung penyisihan total pada waktu tertentu, minimal sebanyak tiga variasi waktu. (mengulangi langkah di atas minimal dua kali)
2. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan waktu pengendapan (sebagai sumbu x)
3. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan overflow rate (sebagai sumbu x)

Kedua grafik ini digunakan untuk menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi (t_d) dan overflow rate (V_o) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen di laboratorium (secara batch). Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain bak pengendap (aliran kontinu) setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor scale up. Untuk waktu detensi, faktor scale up yang digunakan pada umumnya adalah 1,75 dan untuk overflow rate, faktor scale up yang digunakan pada umumnya adalah 0,65 (Reynolds & Richards, 1982).

Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan :

- a. Horizontal - flow Sedimentation

Desain yang baik pada bangunan ini dapat mengurangi lebih dari 95% dari kekeruhan air. Bentuknya yang persegi Panjang yang tanpa menggunakan alat pengambil lumpur mekanik mempunyai beberapa keuntungan misalnya, mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan kondisi air seperti perubahankekeruhan, laju aliran yang meningkat ataupun debit air yang meningkat secara tiba-tiba. Sedangkan pada bentuk yang circular biasanya menggunakan pengambil lumpur mekanik.

Cara kerja bak sedimentasi bentuk rectangular (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk ke

zona settling melalui baffle/sekat agar alirannya menjadi laminar. Di zona settling partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet. Beberapa keuntungan horizontal-flow dibandingkan dengan up flow adalah Lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air:

- Prosesnya memberikan bentuk yang dapat direncanakan sesuai dengan operasional dan kondisi iklim.
- Biaya konstruksi murah.
- Operasional dan perawatannya mudah.

Adapun kriteria desainnya jumlah air yang akan diolah (Q), waktu detensi, luas permukaan dan kecepatan pengendapan.

b. Upflow Sedimentation

Bangunan tipe ini biasanya digunakan bila debit air konstan dan kualitas kekeruhan tidak lebih dari 900 NTU. Kelemahan dari bangunan ini adalah tidak bisa digunakan bila kapasitasnya berlebih dan memerlukan tenaga ahli untuk mengoperasikannya. Bila dalam suatu bangunan pengolahan air lahannya terbatas bisa digunakan tipe ini untuk bak sedimentasinya karena lahan yang diperlukan untuk bangunan ini relatif kecil.

Semakin besar angka BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air semakin besar (Sugiarto, 2007). Pengotoran air mengandung bahan-bahan organik, merusak kehidupan air serta menimbulkan bau. Salah satu cara untuk menurunkan polutan yaitu dengan teknologi pengolahan yang dapat dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia untuk menetralkan keadaan dan meningkatkan pengurangan dari partikel kecil yang tercampur dilanjutkan dengan proses pengendapan untuk mengurangi bahan organik, proses ini dikenal dengan proses koagulasi yang bertujuan untuk memisahkan koloid yang sangat halus di dalam air, menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat diendapkan, disaring atau diapungkan.

Dalam bangunan sedimentasi ini terdapat kriteria desain yang dapat digunakan dalam mempermudah desain. Adapun kriteria desain tersebut adalah sebagai berikut:

- Kedalaman air = 3 – 4,5 m
- Kecepatan aliran = 0,3 – 1,7 m/min
- Waktu detensi = 1,5 – 4 jam
- Surface loading = 1,25 – 2,5 m³/jam
- Panjang/lebar = minimum $\frac{1}{4}$ - Kedalaman air/panjang = minimum $\frac{1}{15}$
- Weir loading rate = 9 – 13 m³ /m.jam

Bak sedimentasi dapat berupa circular, rectangular atau square dengan kedalaman 2-5 m. Dimana rectangular mempunyai panjang sampai 50 m dan lebar 10 m sedangkan square tank mempunyai panjang \pm 2,5 m. Slope ruang lumpur berkisar antara 2% - 6%, bilangan Reynolds < 2000 agar aliran laminer.

Penggunaan pengendapan 1 dalam bentuk sedimentasi dan pengendapan 2 dalam bentuk clarifier pada alur pengolahan limbah industri kopi memiliki tujuan dan fungsi yang saling melengkapi:

1. Pengendapan 1 (Sedimentasi):

Pengendapan awal digunakan untuk memisahkan partikel tersuspensi yang lebih besar dan flok hasil dari proses koagulasi-flokulasi. Pada tahap ini, sebagian besar Total Suspended Solids (TSS) dan senyawa organik kasar dapat dihilangkan. Tujuan utama adalah mengurangi beban polutan awal agar tidak membebani unit pengolahan lanjutan, seperti bio reaktor. Proses ini dilakukan pada bak sedimentasi dengan desain sederhana, yang fokus pada pemisahan gravitasi.

2. Pengendapan 2 (Clarifier):

Clarifier digunakan pada tahap akhir setelah air limbah melalui proses biologis, seperti bio reaktor anaerobik dan aerobik. Pada tahap ini, clarifier bertugas memisahkan sisa lumpur aktif (biomassa mikroorganisme) yang mungkin terbawa dari proses biologis. Clarifier dirancang untuk memastikan efluen yang dihasilkan memiliki kadar TSS yang sangat rendah

dan sesuai dengan baku mutu. Clarifier juga memungkinkan lumpur aktif yang terendap untuk dikembalikan (recycle) ke bio reaktor untuk mempertahankan konsentrasi mikroorganismenya.

Alasan Penggunaan Kedua Tahap:

- **Efisiensi Pengolahan:** Sedimentasi awal mengurangi beban fisik dan organik sehingga meningkatkan efisiensi proses biologis. Clarifier memastikan hasil akhir memiliki kualitas yang sesuai standar.
- **Desain Fungsional:** Sedimentasi lebih cocok untuk partikel kasar, sedangkan clarifier dirancang untuk menangani partikel halus dan lumpur mikroorganismenya.
- **Pengendalian Biologis:** Clarifier mendukung pengelolaan lumpur aktif yang dapat didaur ulang untuk meningkatkan stabilitas proses biologis.

Kombinasi ini penting dalam pengolahan limbah industri kopi karena karakteristik limbah yang mengandung banyak senyawa organik dan padatan tersuspensi.

2.2.3 Pengolahan Sekunder (Secondary Treatment)

7. Biofilter Anaerobik - Aerobik

Biofilter anaerobik-aerobik adalah sistem pengolahan limbah cair yang memanfaatkan proses biologis dengan menggunakan mikroorganismenya untuk mendegradasi polutan organik dan anorganik dalam dua tahapan: anaerobik (tanpa oksigen) dan aerobik (dengan oksigen). Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan pengolahan limbah dengan memadukan dua kondisi lingkungan berbeda yang mendukung aktivitas spesifik mikroorganismenya.

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi (Marsidi & Herlambang, 2002). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganismenya aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO₂, air, dan amonia. Menurut Casey (2006) dalam Pamungkas (2017), pengolahan air limbah dengan sistem aerobik

dan anaerobik menggunakan biofilter memiliki kesamaan konsep dengan trickling filter. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan keberadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik, sedangkan pada biofilter anaerobik, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).

Dalam pengolahan aerobik-anaerobik menggunakan aerobik biofilter atau trickling filter memanfaatkan teknologi biofilm yang membutuhkan media tumbuh organisme dari materi yang kasar, keras, tajam dan kedap air. Menurut Nusa Idaman Said (2005), Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menerapkan unit pengolahan aerobik ini, antara lain (Said, 2005):

1. Jenis media, bahan untuk media aerobik biofilter harus kuat, keras dan tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan per menit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah batu kali, kerikil, dan sebagainya.
2. Diameter media. Diameter media aerobik biofilter biasanya antara 2,5-3,0. Sebaiknya dihindari penggunaan media dengan ukuran yang terlalu kecil karena akan memperbesar kemungkinan penyumbatan. Makin luas permukaan media maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya.
3. Ketebalan susunan media, ketebalan media aerobik biofilter minimum adalah 1 meter maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka makin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme.
4. pH, pertumbuhan mikroorganisme khususnya bakteri dipengaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik, diusahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH antara 4-9,5, dengan pH yang optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman.
5. Suhu/temperatur. Suhu yang baik untuk mikroorganisme adalah 25-37°C. Selain itu suhu juga mempengaruhi suatu kecepatan dari suatu proses biologis.

Media filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraiannya. Sebuah media filter yang baik memiliki 90- 300 m² luas permukaan setiap m³ volume reaktor. Permukaan yang kasar memiliki luas area yang lebih besar, paling tidak pada fase awal. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Berdasarkan penelitian oleh Said (2005), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon.

Tabel 2. 8 Perbandingan Luas Permukaan media biofilter

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m ² /m ³)
1.	Trickling filter dengan batu pecah	100-200
2.	Modul Honeycomb (sarang tawon)	150-240
3.	Tipe Jaring	50
4	RBC	80 -150

Proses penurunan Biochemical Oxygen Demand (BOD), amonium, dan nitrit pada reaktor biofilter menggunakan media honeycomb memanfaatkan prinsip kombinasi degradasi biologis secara anaerobik dan aerobik. Media honeycomb, yang memiliki struktur berongga dengan luas permukaan yang besar, berfungsi sebagai tempat tumbuhnya biofilm mikroorganisme yang berperan dalam proses pengolahan limbah cair. Proses ini biasanya dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap anaerob dan aerob, untuk mengoptimalkan pengolahan bahan organik serta senyawa nitrogen.

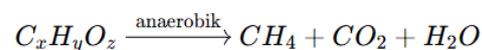
Pada tahap anaerob, air limbah mengalir ke zona tanpa oksigen terlarut. Mikroorganisme anaerobik, seperti bakteri metanogenik, mendegradasi bahan organik kompleks menjadi senyawa sederhana seperti asam lemak volatil dan metana. Proses ini mengurangi sebagian BOD namun tidak mempengaruhi senyawa amonium. Selanjutnya, limbah dialirkan ke tahap aerob, di mana oksigen terlarut diinjeksikan ke dalam reaktor. Pada tahap ini, mikroorganisme aerobik memanfaatkan oksigen untuk mendegradasi bahan organik yang tersisa, sehingga menurunkan BOD secara signifikan.

Proses nitrifikasi juga berlangsung pada tahap aerob. Mikroorganisme seperti *Nitrosomonas* mengoksidasi amonium (NH_4^+) menjadi nitrit (NO_2^-), yang kemudian diubah menjadi nitrat (NO_3^-) oleh *Nitrobacter*. Proses ini efektif karena media honeycomb mendukung pertumbuhan biofilm yang stabil, sehingga mikroorganisme dapat berfungsi dengan efisiensi tinggi. Dengan kombinasi ini, reaktor biofilter berbasis honeycomb mampu menurunkan konsentrasi BOD, amonium, dan nitrit secara simultan, menjadikan limbah cair lebih ramah lingkungan sebelum dibuang ke badan air.

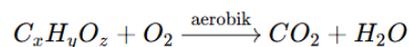
Proses penurunan Biochemical Oxygen Demand (BOD), amonium (NH_4^+), dan nitrit (NO_2^-) pada reaktor biofilter anaerob-aerob dengan media honeycomb melibatkan kombinasi reaksi kimia dan aktivitas mikroorganisme dalam kondisi anaerobik dan aerobik. Berikut adalah penjelasan prosesnya:

1. Penurunan BOD (Tahap Anaerob dan Aerob)

- **Tahap Anaerob:** Dalam zona anaerobik, bahan organik kompleks ($\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$) dalam limbah didegradasi oleh mikroorganisme menjadi senyawa sederhana, seperti asam lemak volatil, karbon dioksida (CO_2), dan metana (CH_4), melalui fermentasi. Reaksi utama dapat ditulis sebagai berikut:



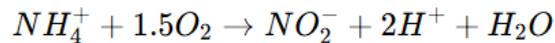
- **Tahap Aerob:** Di zona aerobik, bahan organik yang tersisa dioksidasi oleh mikroorganisme aerobik menjadi karbon dioksida dan air, mengurangi nilai BOD secara signifikan:



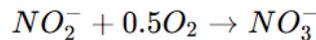
2. Penurunan Amonium (Proses Nitrifikasi)

- Pada tahap aerobik, amonium (NH_4) dioksidasi melalui dua langkah oleh bakteri nitrifikasi:

- Oksidasi amonium menjadi nitrit (NO_2^-) oleh bakteri *Nitrosomonas*:

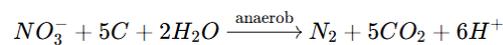


- Oksidasi nitrit menjadi nitrat (NO_3^-) oleh bakteri *Nitrobacter*:



3. Pengurangan Nitrit (Proses Denitrifikasi)

- Dalam kondisi anaerob, nitrat (NO_3^-) atau nitrit (NO_2^-) yang dihasilkan dari proses aerobik sebelumnya dapat direduksi menjadi nitrogen gas (N_2) oleh bakteri denitrifikasi menggunakan bahan organik sebagai donor elektron:

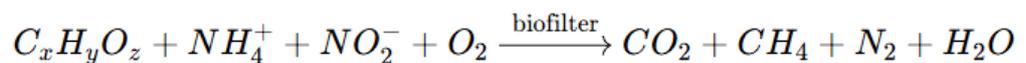


4. Peran Media Honeycomb

Media honeycomb dengan luas permukaan besar memberikan area yang optimal untuk pertumbuhan biofilm mikroorganisme. Biofilm ini memungkinkan terjadinya reaksi kimia secara efisien dengan memisahkan zona anaerob dan aerob dalam satu reaktor.

5. Reaksi Keseluruhan

Proses ini mengkombinasikan degradasi bahan organik dan transformasi nitrogen, yang secara keseluruhan dapat dirangkum menjadi:



Reaktor biofilter anaerob-aerob dengan media honeycomb terbukti efektif dalam menurunkan BOD, amonium, dan nitrit, menjadikan limbah cair lebih aman untuk dilepas ke lingkungan.

Penggunaan biofilter anaerobik dan aerobik untuk menurunkan BOD, amonium, dan nitrit memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan penggunaan UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) atau trickling filter, terutama dalam pengolahan air limbah dengan karakteristik tertentu. Berikut

adalah beberapa alasan mengapa biofilter anaerobik-aerobik lebih dipilih dalam beberapa kondisi:

1. Kombinasi Proses Anaerobik dan Aerobik dalam Satu Sistem

Biofilter anaerobik dan aerobik memanfaatkan dua proses yang berbeda dalam satu unit, yakni degradasi organik dalam kondisi anaerobik (untuk mengurangi BOD) dan nitrifikasi serta pengurangan nitrit dalam kondisi aerobik. Kombinasi kedua proses ini memungkinkan penurunan BOD dan pengolahan nitrogen (ammonium dan nitrit) secara bersamaan dengan efisiensi yang tinggi, sesuatu yang lebih sulit dicapai dengan hanya menggunakan UASB atau trickling filter.

- **Anaerobik:** Pada bagian anaerobik, mikroorganisme menguraikan bahan organik kompleks dalam limbah menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti metana dan karbon dioksida, yang menurunkan BOD secara signifikan.
- **Aerobik:** Pada bagian aerobik, amonium (NH_4^+) dioksidasi menjadi nitrit (NO_2^-) dan kemudian nitrat (NO_3^-) oleh bakteri nitrifikasi. Nitrit yang terbentuk kemudian dapat diolah lebih lanjut menjadi nitrogen gas (N_2) dalam proses denitrifikasi jika terdapat kondisi anaerobik di bagian lain dari sistem.

2. Pengolahan Lebih Cepat dan Lebih Efisien

Biofilter dengan media yang berpori seperti honeycomb atau material serupa memiliki luas permukaan yang besar untuk mendukung perkembangan biofilm mikroorganisme. Biofilm ini meningkatkan kontak antara mikroorganisme dan limbah, mempercepat proses degradasi bahan organik dan nitrifikasi. Sementara itu, UASB dan trickling filter lebih bergantung pada waktu tinggal dan penyebaran mikroorganisme di media pengolahan untuk mencapai degradasi yang efisien. Biofilter dapat bekerja dengan lebih cepat dan efisien dalam mengolah air limbah, karena mikroorganisme lebih terfokus pada media tersebut.

3. Kontrol yang Lebih Baik terhadap Proses

Pada biofilter, kondisi anaerobik dan aerobik dapat dikendalikan dengan lebih baik dibandingkan dengan UASB atau trickling filter. Misalnya, dalam biofilter, pengaturan aliran udara (oksigen) dapat dilakukan secara lebih terkontrol untuk memastikan mikroorganisme aerobik bekerja dengan optimal di zona aerobik, sementara zona anaerobik dipertahankan untuk proses pengurangan BOD dan denitrifikasi. Dalam UASB atau trickling filter, pengaturan kondisi anaerobik dan aerobik lebih sulit, yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan dan penurunan efisiensi pengolahan.

4. Pengolahan Nitrit dan Amonium yang Lebih Efisien

Proses nitrifikasi (konversi amonium menjadi nitrit dan nitrat) pada biofilter aerobik lebih efisien karena mikroorganisme nitrifikasi bekerja lebih optimal dalam kondisi oksigen yang terkontrol. Di sisi lain, UASB umumnya lebih efisien untuk mengolah bahan organik dalam kondisi anaerobik, tetapi tidak dirancang khusus untuk proses nitrifikasi atau pengurangan nitrit. Trickling filter, meskipun dapat mengolah air limbah organik dengan baik, juga memerlukan perhatian khusus untuk proses nitrifikasi, dan dalam beberapa kasus, penurunan nitrit dan amonium dapat lebih lambat dibandingkan dengan biofilter.

5. Pemeliharaan yang Lebih Mudah dan Kontrol Limbah Lebih Baik

Biofilter anaerobik-aerobik relatif lebih mudah dalam hal pemeliharaan dan operasionalnya. Sistem ini memungkinkan pemisahan secara jelas antara zona anaerobik dan aerobik, yang mengurangi risiko gangguan dalam proses pengolahan. Sebaliknya, UASB atau trickling filter memerlukan perawatan yang lebih intensif dalam hal pengelolaan lumpur dan distribusi aliran untuk menjaga kinerja sistem.

6. Kapasitas Penurunan Nitrogen yang Lebih Baik

Proses denitrifikasi yang terjadi dalam zona anaerobik pada biofilter memungkinkan konversi nitrit (NO_2^-) menjadi nitrogen gas (N_2), yang dilepaskan ke atmosfer. UASB dan trickling filter tidak selalu dapat menangani proses denitrifikasi secara efektif, terutama jika kandungan oksigen dalam sistem terlalu tinggi untuk mendukung aktivitas bakteri denitrifikasi.

Meskipun UASB dan trickling filter adalah sistem yang efektif untuk mengurangi BOD dan TSS, biofilter anaerobik-aerobik memberikan keuntungan tambahan dalam hal pengurangan nitrit dan amonium secara lebih efisien. Sistem ini memungkinkan kontrol yang lebih baik atas kondisi anaerobik dan aerobik, serta memberikan pengolahan nitrogen yang lebih baik melalui denitrifikasi. Oleh karena itu, untuk pengolahan air limbah yang mengandung amonium, nitrit, dan BOD tinggi, biofilter anaerobik-aerobik sering lebih disukai karena kemampuannya untuk mengatasi masalah ini secara bersamaan dan lebih efisien.

8. Bak Pengendapan 2 (Clarifier)

Reaktor clarifier adalah unit pengolahan limbah cair yang dirancang untuk memisahkan padatan tersuspensi (Total Suspended Solids atau TSS) dan memperbaiki kualitas air limbah melalui proses sedimentasi. Clarifier bekerja berdasarkan prinsip gravitasi, di mana partikel padatan dalam limbah cair yang memiliki densitas lebih tinggi daripada air akan mengendap ke dasar reaktor, sementara air bersih yang telah terklarifikasi mengalir ke bagian atas dan keluar melalui saluran overflow.

Clarifier biasanya digunakan pada tahap akhir pengolahan fisik atau sebagai bagian dari sistem pengolahan biologis untuk memisahkan lumpur aktif atau padatan dari cairan. Reaktor ini dapat memiliki berbagai desain, termasuk inlet di bagian atas atau bawah, tergantung pada jenis limbah yang diolah dan kebutuhan proses. Komponen utama clarifier meliputi tangki berbentuk bundar

atau persegi panjang, saluran distribusi aliran, zona pengendapan, zona klarifikasi, dan sistem pengumpulan lumpur di dasar tangki.

Clarifier dengan inlet di atas dirancang untuk memanfaatkan aliran vertikal dalam proses pemisahan padatan dan air limbah. Mekanisme utamanya bekerja berdasarkan prinsip sedimentasi, dengan aliran limbah cair masuk dari bagian atas clarifier dan bergerak ke bawah melalui gaya gravitasi. Proses ini memungkinkan padatan tersuspensi (Total Suspended Solids atau TSS) untuk mengendap di dasar tangki, sementara air yang telah terklarifikasi mengalir keluar melalui saluran overflow di bagian atas.

Ketika limbah cair masuk dari inlet di atas, kecepatannya diatur agar cukup rendah untuk menghindari turbulensi yang dapat menghambat proses pengendapan. Limbah cair kemudian menyebar secara merata melalui distributor aliran, memastikan distribusi aliran yang homogen di seluruh area clarifier. Padatan yang lebih berat dari air mulai mengendap ke dasar tangki, membentuk lapisan lumpur (sludge). Lumpur yang terkumpul di dasar clarifier akan dikeluarkan secara berkala melalui saluran pembuangan lumpur.

Air yang telah kehilangan sebagian besar partikel tersuspensi bergerak ke bagian atas tangki, melewati zona klarifikasi. Zona ini dirancang untuk memastikan bahwa partikel-partikel kecil yang mungkin masih tersisa memiliki waktu untuk mengendap sebelum air keluar melalui saluran overflow. Desain ini memungkinkan penghilangan padatan dengan efisiensi tinggi, sehingga air yang keluar dari clarifier memiliki kandungan TSS yang sangat rendah.

Clarifier dengan inlet di atas sering digunakan pada instalasi pengolahan limbah cair domestik maupun industri. Keunggulan desain ini adalah kemampuannya untuk memproses aliran limbah yang besar dengan efisiensi tinggi, sekaligus memanfaatkan gravitasi dan pergerakan alami aliran vertikal untuk mengurangi beban pemompaan atau mekanisme tambahan.

Reaktor clarifier adalah unit pengolahan limbah cair yang dirancang untuk memisahkan padatan tersuspensi (Total Suspended Solids atau TSS) dan

menurunkan Chemical Oxygen Demand (COD) melalui proses fisik dan sebagian biologis. Mekanisme clarifier bekerja dengan prinsip sedimentasi, di mana partikel padatan dalam limbah cair yang memiliki densitas lebih tinggi daripada air akan mengendap ke dasar reaktor akibat gaya gravitasi. Pada tahap awal, limbah cair dialirkan ke dalam clarifier dengan kecepatan aliran yang dirancang sedemikian rupa agar memungkinkan partikel-partikel TSS untuk mengendap tanpa terganggu oleh turbulensi aliran.

Penurunan TSS terjadi ketika partikel tersuspensi mengendap di dasar clarifier, membentuk lumpur yang dapat dikeluarkan secara periodik. Sementara itu, pengurangan COD terutama berasal dari penghilangan bahan organik yang terikat pada partikel-partikel padatan. Beberapa fraksi COD juga dapat berkurang melalui proses biologis dalam lumpur yang mengendap, terutama jika clarifier dirancang dengan zona anoksik di bagian bawahnya. Mikroorganisme yang terdapat dalam lumpur dapat mendegradasi sebagian bahan organik, mengkonversinya menjadi karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4) jika kondisi anaerobik terbentuk.

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri patogen lainnya. Salah satu contoh pengolahan ketiga ini adalah bangunan clarifier. Clarifier sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis. Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing – masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang

blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1 – 2 jam. Kedalaman clarifier rata – rata 10 – 15 feet (3 – 4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter). Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses 65 tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang tertampung di secondary clarifier ini sudah memenuhi baku mutu air limbah sehingga dapat dibuang langsung ke saluran air kotor atau diolah dan dimanfaatkan. Air yang telah diolah dan ditampung di secondary clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll.

Pada secondary clarifier ini tergantung pada kedalaman tangki, bedanya dengan preliminary clarifier yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun masalahnya pada secondary clarifier adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi.

Penggunaan sedimentasi dan clarifier dalam pengolahan air limbah industri kopi sangat penting karena karakteristik air limbah kopi yang mengandung partikel padatan tersuspensi (TSS) dan bahan organik yang cukup tinggi. Berikut adalah beberapa alasan mengapa proses sedimentasi dan clarifier diterapkan pada pengolahan air limbah industri kopi:

1. **Menghilangkan Total Suspended Solids (TSS):** Air limbah industri kopi mengandung banyak partikel padatan yang berasal dari ampas kopi, tanah, sisa biji kopi, dan bahan lainnya yang terbawa selama proses pengolahan. Sedimentasi dalam clarifier memungkinkan padatan ini untuk mengendap di dasar tangki karena perbedaan densitas antara padatan dan air, sehingga

menghasilkan air limbah yang lebih bersih dan mengurangi beban pada tahap pengolahan selanjutnya.

2. **Meningkatkan Kualitas Air:** Proses sedimentasi mengurangi jumlah padatan yang terlarut dan tersuspensi dalam air limbah. Ini penting untuk mengurangi beban BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand), yang merupakan indikator penting dalam penilaian kualitas air. Dengan mengurangi kandungan TSS, proses clarifier juga membantu menurunkan nilai BOD dan COD air limbah industri kopi.
3. **Meningkatkan Efisiensi Proses Pengolahan:** Sebelum masuk ke tahap pengolahan lebih lanjut seperti proses biologis atau filtrasi, clarifier menghilangkan sebagian besar padatan tersuspensi dan material berat yang dapat mengganggu kinerja sistem pengolahan lainnya. Dengan demikian, clarifier mempersiapkan air limbah untuk proses selanjutnya dengan mengurangi beban kerja pada sistem pengolahan lainnya, seperti bioreaktor atau media filtrasi.
4. **Mengurangi Pencemaran Lingkungan:** Air limbah industri kopi yang tidak diolah dengan baik dapat mencemari badan air jika dibuang langsung ke lingkungan. Dengan menggunakan clarifier dan sedimentasi, padatan dan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair dipisahkan dengan efektif, mengurangi potensi pencemaran lingkungan dan mematuhi standar kualitas air yang ditetapkan.
5. **Pemulihan dan Pengolahan Kembali Bahan Organik:** Pada beberapa sistem pengolahan, lumpur yang dihasilkan dari sedimentasi dan clarifier dapat diproses lebih lanjut, misalnya untuk produksi biogas atau untuk digunakan dalam proses pemulihan energi. Hal ini juga membantu mengurangi jumlah limbah yang perlu dibuang.

Dengan demikian, sedimentasi dan clarifier memainkan peran penting dalam tahap awal pengolahan air limbah industri kopi, yang mengarah pada pengolahan lebih lanjut yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

2.2.4 Pengolahan Ketiga

9. Screw Press

Mesin Dewatering Screw Press (DSP) merupakan teknologi mesin yang dirancang untuk pengentalan dan pengeringan lumpur cair lebih efisien yang berasal dari proses pengolahan air limbah kota dan industri (IPAL). Aplikasi khas untuk instalasi pengolahan air limbah termasuk pengeringan lumpur aktif limbah (WS) yang kental atau tidak kental, lumpur yang dicerna dari proses aerobik atau anaerobik, dan lumpur flotasi udara terlarut (DAF). Sistem Screw Press terdiri dari tangki reaksi flokulasi, pencampuran polimer, sistem pencucian eksternal, dan panel kontrol. Drum dibuat dari baja tahan karat menggunakan wedge-wire screen profile khusus dengan permukaan besar untuk mendapatkan karakteristik drainase cairan yang optimal. 66 Adapun manfaat yang dapat dihasilkan dari penggunaan mesin screw press untuk pengolahan lumpur:

- a. Mesin screw press ini berkecepatan lambat dan bekerja pada tekanan yang relatif rendah sehingga biaya pengoperasian rendah karena konsumsi energi yang rendah.
- b. Unit silinder yang tertutup dan kecepatan lari yang rendah dapat mengurangi kebisingan.
- c. Pengoperasian dan perawatan yang mudah dengan operasi mekanis sederhana dan sistem kontrol otomatis yang dapat diprogram sesuai dengan kebutuhan pengguna dan memungkinkan untuk beroperasi selama 24 jam.
- d. Biaya investasi rendah; pemerasan lumpur cocok untuk air kecil hingga menengah dan instalasi pengolahan air limbah dari lumpur biologis tanpa pengaturan pengental lumpur (Sludge Thickening).
- e. Dengan bahan yang andal dan kuat, ini memastikan ketahanan korosi terhadap lumpur agresif, abrasi, dan ideal untuk mengeringkan lumpur berminyak.

Screwpress adalah alat yang digunakan untuk memisahkan air atau cairan dari padatan, terutama dalam pengolahan limbah atau proses industri lainnya. Alat ini bekerja berdasarkan prinsip kompresi mekanis dengan menggunakan sekrup berputar untuk mengurangi kandungan air dalam lumpur atau bahan yang mengandung padatan. Mekanisme kerjanya dapat dijelaskan dalam beberapa tahapan berikut:

1. **Pemasukan Material:** Material yang akan diproses, seperti lumpur atau limbah cair dengan kandungan padatan tinggi, dimasukkan ke dalam ruang pengumpul di bagian awal screwpress. Di sini, material akan dihantarkan ke dalam bagian utama alat.
2. **Pengompresan dengan Sekrup Berputar:** Setelah material masuk ke ruang pengumpul, sekrup yang berbentuk spiral mulai berputar. Sekrup ini terletak dalam sebuah silinder dengan celah yang semakin menyempit ke arah keluaran. Gerakan putaran sekrup akan mendorong material masuk lebih dalam dan mengompresnya.
3. **Pemadatan dan Pemisahan Cairan:** Ketika material bergerak maju melalui sekrup, ruang sempit di sekitar sekrup menyebabkan material terkompresi dengan tekanan yang semakin tinggi. Tekanan ini memaksa cairan (seperti air atau larutan) untuk keluar melalui celah-celah di sekitar silinder dan mengalir keluar dari bagian bawah alat. Proses ini terus berlangsung hingga kandungan air dalam material berkurang secara signifikan.
4. **Pengeluaran Padatan:** Setelah melalui proses kompresi, padatan yang sudah terpisah dari cairan akan keluar melalui ujung keluar screwpress. Padatan ini sering kali berbentuk cake (padatan kental) yang siap untuk dibuang atau diproses lebih lanjut.
5. **Pengeluaran Cairan:** Cairan yang dipisahkan, yang biasanya mengandung air dan sebagian bahan terlarut, akan mengalir keluar melalui saluran

pembuangan cairan yang terpisah. Cairan ini sering kali disebut sebagai filtrat.

Screwpress banyak digunakan dalam aplikasi seperti dewatering lumpur dalam pengolahan limbah cair, pengolahan air, serta dalam industri seperti pengolahan makanan, pulp dan kertas, serta pengolahan air limbah industri. Keunggulannya terletak pada efisiensi pemisahan cairan dan padatan dengan konsumsi energi yang relatif rendah dibandingkan dengan alat pengolahan lainnya, seperti centrifuge.

2.3 Persen Removal

Pada unit bangunan pengolah air limbah terdapat parameter yang akan diproses di dalamnya. Setiap bangunan mengolah parameter yang berbeda sehingga memiliki Removal yang berbeda. Persen Removal berarti besar persentase penghilangan dan / atau pembersihan dan / atau penghapusan nilai atau jumlah parameter dalam satuan persen (%)

Tabel 2. 9 Persen Removal

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/ Literatur
Bak Ekualisasi	BOD	10-20%	Reynolds, Unit Operation & Processes in Env Engineering, 2nd edition : hal 158
Koagulasi & Flokulasi	-	-	
Netralisasi	pH		Qasim "Wastewater treatment and reuse", page 318
Bak Pengendapan 1 (Sedimentasi)	TSS	80 - 90%	Reynold/Richard, Unit Operations and Process in Environmental Engineering, 2nd edition, hal 497
Biofilter Anaerobik	BOD	90 – 95%	Said, Nusa Idaman. 2017. Teknologi

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/ Literatur
			Pengolahan Air Limbah. Hal 305
	COD	80 % -90%	Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.7 N0.2 (2017). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerob Media Plastik Bioball. Hal 55
Biofilter Aerobik	BOD	80 % - 90%	Said, Nusa Idaman. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Hal 305
	Total N	80%-99%	Wang, X. C., & Fu, G. (n.d.). WATER-WISE CITIES AND SUSTAINABLE WATER SYSTEMS.
Clarifier	BOD COD	30%-40% 50%-95%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering ; Treatment and Reuse 4th Edition , 2003, hal 396).
	TSS	60% - 80%	Huisman, L. (1977). Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Page 12
Screwpress	-	-	

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah faktor yang penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan/head tekan (dalam tinggi kolom air) yang tersedia bagi pengaliran. Head ini dapat disediakan oleh beda elevasi (tinggi ke rendah) sehingga air pun akan mengalir secara gravitasi. Jika tidak terdapat beda elevasi yang memadai, maka perlu diberikan head tambahan dari luar, yaitu dengan menggunakan pompa

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen effluen) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

A. Kehilangan Tekanan Pada Bangunan

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu:

1. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
2. Kehilangan tekanan pada bak
3. Kehilangan tekanan pada pintu
4. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus dihitung secara khusus

B. Kehilangan Tekanan Pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup.

1. Kehilangan tekanan pada perpipaan
Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.
2. Kehilangan tekanan pada aksesoris
Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, disini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S .
3. Kehilangan tekanan pada pompa
Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya
4. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungan juga dengan bantuan monogram.

C. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

1. Menentukan ketinggian muka air pada bangunan pengolahan limbah atau air yang merupakan bagian terakhir dari rangkaian proses pengolahan tersebut..
2. Menambahkan faktor kehilangan tekanan yang terjadi antara clear well dengan bangunan pengolahan sebelumnya ke dalam perhitungan ketinggian muka air di dalam clear well agar menghasilkan nilai yang lebih akurat. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum clear well demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama.
3. Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air.

D. Pompa

Pemompaan digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit pengolahan selanjutnya. Untuk mengetahui macam-macam karakteristik pompa bisa dilihat pada tabel, berikut:

Tabel 2. 10 Macam macam karakteristik pompa

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	<ul style="list-style-type: none">• Air limbah sebelum diolah• Penggunaan lumpur kedua

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
		• Pembuangan effluent
	Peripheral	Limbah logam, pasir lumpur, limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, permasalahan zat zat kimia, pengaliran lambat untuk air dan buangan
Posite	Screw	Pasir, pengolahan lumpur pertama dan kedua, air limbah pertama
	Diafragma	Permasalahan zat kimia, limbah logam
	Air Lift	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur kedua
	Pneumatic	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

(Sumber Metcalf and Eddy, 2004, hal : 1469-14)

2.5 BOQ dan RAB

BOQ (daftar kuantitas), adalah perincian seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah pekerjaan konstruksi. Yang terdiri dari pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, pekerjaan MEP (Mekanikal, Elektrikal dan Plumbing), pekerjaan utilitas, lanskap dan sebagainya. Adapun tujuan membuat BOQ : Sebagai perhitungan awal, untuk mengetahui jumlah biaya yang harus disiapkan oleh owner untuk pelaksanaan proyek. sebagai keperluan pelaksanaan proses tender (lelang) proyek, dan sebagai acuan/dasar bagi peserta lelang (kontraktor) untuk mengajukan penawaran harga. Karakteristik BOQ:

1. Dalam BOQ masing-masing item pekerjaan telah tercantum beserta volume
2. Tidak menutup kemungkinan item dan volume pekerjaan tersebut dapat bertambah atau berkurang kemudian hari, yaitu pada saat klarifikasi dan negosiasi harga
3. Dalam BOQ tidak tercantum harga satuan pekerjaan
4. Menghitung volume BOQ berdasarkan gambar rencana
5. Pihak yang menyusun BOQ adalah konsultan perencana.

RAB merupakan daftar harga/perhitungan rincian biaya yang kita anggarkan untuk pelaksanaan sebuah proyek konstruksi. Mencakup keseluruhan biaya yang kita perlukan untuk pengadaan bahan, biaya alat maupun biaya/upah tenaga kerja. RAB dapat meliputi seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah proyek, atau hanya meliputi 1 sub pekerjaan saja. Misalnya RAB sub pekerjaan konstruksi baja, RAB sub pekerjaan instalasi listrik dan seterusnya. Adapun tujuan melakukan penyusunan RAB: Untuk keperluan pengajuan penawaran harga dengan sistem lump sum, sebagai dasar melaksanakan saat klarifikasi dan negosiasi harga, serta pedoman untuk pelaksanaan proyek bilamana kontraktor ternyata menang tender.

6. Dalam RAB telah tercantum seluruh item pekerjaan, volume serta harga satuan pekerjaan
7. Item pekerjaan, volume dan harga satuan yang ada dalam RAB sifatnya mengikat.
8. RAB oleh masing-masing peserta lelang (kontraktor), sehingga volume dan harga satuan pekerjaan pasti berbeda.