

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan (RPH)

Setiap tahapan dalam kegiatan produksi memiliki ciri khas yang berbeda, yang sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan tahapan proses yang digunakan. Perbedaan itu mengakibatkan air limbah yang dihasilkan memiliki susunan, tingkat pencemaran, serta potensi terhadap dampak lingkungan yang bervariasi sesuai dengan jenis industri. Pada Industri Rumah Potong Hewan (RPH), limbah cair biasanya berasal dari proses penyembelihan, pencucian tubuh hewan, dan pembersihan alat, sehingga mengandung kandungan organik yang tinggi, zat padat tersuspensi, serta minyak dan lemak. Sehubungan dengan itu, sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, limbah cair dari industri RPH memiliki karakteristik khusus yang perlu diatur melalui penerapan standar baku mutu tertentu.

2.1.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter penting kualitas air yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerob untuk menguraikan bahan organik melalui proses oksidasi biologis dalam kondisi aerobik. Parameter ini tidak secara langsung menyatakan jumlah bahan organik yang terkandung di dalam air, melainkan menggambarkan kebutuhan oksigen untuk proses penguraian bahan organik yang mudah terurai (*biodegradable organics*). Oleh karena itu, semakin tinggi nilai BOD maka semakin besar pula beban pencemar organik yang terdapat dalam air limbah (Dameanti *et al.*, 2022).

Secara konseptual, BOD digunakan sebagai parameter empiris yang merepresentasikan proses mikrobiologis yang berlangsung di dalam perairan dan menjadi indikator utama dalam menilai tingkat pencemaran air buangan. Pengujian BOD umumnya dinyatakan sebagai BOD₅, yaitu kebutuhan oksigen selama lima hari pada suhu 20 °C dalam kondisi gelap, yang mencerminkan besarnya oksigen

yang dikonsumsi oleh mikroorganisme dalam proses dekomposisi bahan organik (Sawyer & McCarty, 1978; Umayal & Cuvill, 1988).

Pada Industri Rumah Potong Hewan (RPH), air limbah umumnya mengandung konsentrasi bahan organik yang tinggi yang berasal dari darah, sisa jaringan, serta limbah pencucian, sehingga berpotensi menghasilkan nilai BOD yang besar. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan besarnya kebutuhan oksigen untuk proses penguraian bahan organik dan apabila tidak diolah dengan baik dapat menurunkan kadar oksigen terlarut di badan air penerima. Oleh karena itu, PermenLH Nomor 5 Tahun 2014 menetapkan kadar BOD maksimum air limbah RPH yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah 100 mg/L, sehingga diperlukan sistem pengolahan yang efektif untuk menurunkan beban pencemar organik sebelum air limbah dilepaskan ke lingkungan.

2.1.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan parameter kualitas air yang menyatakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi di dalam air limbah. Nilai COD digunakan untuk menggambarkan tingkat kontaminasi bahan organik, di mana semakin tinggi konsentrasi bahan organik maka semakin besar pula nilai COD yang terukur. Penurunan kandungan bahan organik dalam air limbah akan diikuti oleh penurunan nilai COD, meskipun dalam beberapa kondisi, khususnya pada konsentrasi bahan organik rendah, proses pengolahan konvensional tidak selalu efektif dalam menurunkan nilai tersebut secara signifikan (Harahap et al., 2020).

Secara analitis, pengujian COD dilakukan dengan mengoksidasi bahan organik menggunakan oksidator kuat, umumnya kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) dalam suasana asam dengan bantuan katalis perak sulfat dan pemanasan. Pada proses ini, senyawa organik kompleks akan dioksidasi menjadi karbon dioksida (CO_2), air (H_2O), dan ion krom, sehingga besarnya oksigen yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai nilai COD (Anggraini et al., 2023). Dengan demikian, COD mencerminkan jumlah total senyawa organik yang dapat dioksidasi secara kimiawi, termasuk

senyawa yang sulit terurai secara biologis. Peningkatan nilai COD akan menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut di perairan penerima apabila air limbah dibuang tanpa pengolahan yang memadai.

Nilai COD pada umumnya selalu lebih tinggi dibandingkan BOD ultimate, karena COD mengukur seluruh bahan organik yang dapat teroksidasi secara kimia, termasuk senyawa non-biodegradable dan zat anorganik tertentu yang juga bereaksi dengan dikromat (Metcalf & Eddy, 2003). Perbedaan mendasar antara COD dan BOD terletak pada mekanisme oksidasinya, di mana BOD mengandalkan aktivitas mikroorganisme dalam kondisi aerobik, sedangkan COD menggunakan oksidator kimia kuat dalam media asam untuk mengoksidasi bahan organik secara cepat dan menyeluruh (Sperling, 2007). Oleh karena itu, parameter COD sering digunakan sebagai indikator awal beban pencemar organik dan sebagai pelengkap BOD dalam evaluasi kinerja pengolahan air limbah.

2.1.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

Total Suspended Solid (TSS) atau zat padat tersuspensi merupakan partikel padat yang tidak larut dan melayang di dalam air, yang dapat berasal dari material anorganik seperti pasir, lumpur, dan tanah liat, maupun material organik berupa detritus serta komponen biotik seperti mikroorganisme. Pada air limbah Industri Rumah Potong Hewan (RPH), TSS umumnya berasal dari sisa jaringan, darah yang menggumpal, kotoran ternak, serta partikel organik hasil kegiatan pencucian lantai, peralatan, dan karkas. Partikel-partikel ini berukuran relatif kecil sehingga tidak dapat langsung mengendap dan menjadi penyebab utama meningkatnya kekeruhan air limbah (Nasution, 2008).

Kandungan TSS yang tinggi dalam air limbah RPH dapat menurunkan kualitas perairan penerima karena menghambat penetrasi cahaya, memengaruhi kadar oksigen terlarut, serta mengganggu kehidupan dan proses perkembangbiakan organisme akuatik, terutama organisme yang hidup di dasar perairan (Alaerth dan Santika, 1987; Tarigan & Edward, 2023). Oleh karena itu, TSS digunakan sebagai parameter penting dan bersifat universal dalam penilaian kualitas efluen air limbah (Metcalf dan Eddy, 2004). Untuk mengendalikan dampak lingkungan dari kegiatan

RPH, kadar TSS dalam air limbah harus memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam regulasi lingkungan, sehingga diperlukan sistem pengolahan yang efektif apabila konsentrasi TSS masih berada di atas ambang yang diperbolehkan.

2.1.4 Derajat keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan parameter penting dalam penilaian kualitas air limbah karena menunjukkan kondisi asam atau basa yang berpengaruh langsung terhadap keberlangsungan proses biologis serta efektivitas pengolahan air limbah. Rentang pH yang mendukung kehidupan mikroorganisme relatif sempit, yaitu antara 6–9, dan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kadar oksigen terlarut, aktivitas biologis, serta suhu air (Ramadania *et al.*, 2021). Pada air limbah Industri Rumah Potong Hewan (RPH), kandungan bahan organik yang tinggi menyebabkan terjadinya proses penguraian oleh mikroorganisme, di mana oksigen dikonsumsi dan karbon dioksida dilepaskan, sehingga berpotensi menurunkan nilai pH air limbah dan membuatnya bersifat lebih asam (Pandiangan *et al.*, 2023).

Air limbah dengan pH mendekati netral umumnya lebih mudah diolah secara biologis, sedangkan kondisi pH yang terlalu asam atau basa dapat menghambat kinerja mikroorganisme serta menyulitkan proses penjernihan air limbah. Apabila air limbah dengan pH ekstrem langsung dibuang tanpa penyesuaian, kondisi tersebut dapat mengganggu keseimbangan perairan penerima (Sugiharto, 1987; Metcalf dan Eddy, 2003). Oleh karena itu, untuk mengendalikan dampak lingkungan dari kegiatan RPH, PermenLH Nomor 5 Tahun 2014 menetapkan bahwa nilai pH air limbah yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan harus berada dalam kisaran 6–9.

2.1.5 Minyak dan lemak

Minyak dan lemak merupakan senyawa organik yang tersusun dari ester antara gliserol dan asam lemak, di mana pada suhu normal senyawa yang berwujud cair disebut minyak, sedangkan yang berwujud padat disebut lemak. Dalam air limbah Industri Rumah Potong Hewan (RPH), minyak dan lemak umumnya berasal dari lemak hewani, sisa jaringan, serta proses pencucian karkas dan peralatan.

Apabila tidak dikendalikan, minyak dan lemak dapat membentuk lapisan tipis di permukaan air karena memiliki berat jenis lebih kecil dari air, sehingga menghambat difusi oksigen dari udara ke dalam air dan mengurangi penetrasi cahaya matahari. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan kadar oksigen terlarut, mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, serta menghambat proses pengolahan biologis karena minyak dan lemak tergolong bahan organik yang relatif sukar terurai (Hermawan, 2024).

Dalam air limbah, minyak dan lemak atau fats, oils, and grease (FOG) umumnya terdapat dalam beberapa bentuk, yaitu sebagai minyak bebas yang mengapung di permukaan, minyak terdispersi, serta minyak dalam bentuk emulsi dengan ukuran partikel sangat kecil. Minyak bebas relatif mudah dipisahkan melalui proses fisik berbasis gravitasi karena perbedaan densitas dengan air, sedangkan minyak yang teremulsi bersifat lebih stabil dan sulit dipisahkan tanpa perlakuan tambahan seperti koagulasi, flotasi, atau proses kimia lainnya. Bentuk FOG yang stabil ini berpotensi mengganggu sistem pengolahan air limbah karena dapat lolos dari unit pemisahan awal dan menurunkan efisiensi proses biologis. Oleh karena itu, keberadaan minyak dan lemak menjadi parameter penting dalam perancangan sistem pengolahan air limbah, termasuk pada Rumah Potong Hewan (RPH), sehingga diperlukan unit pengolahan khusus apabila konsentrasinya melebihi baku mutu yang ditetapkan (Ahmed *et al.*, 2026). Oleh karena itu, keberadaan minyak dan lemak menjadi perhatian penting dalam perancangan sistem pengolahan air limbah RPH. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, kadar minyak dan lemak maksimum yang diperbolehkan dalam air limbah RPH adalah 15 mg/L, sehingga apabila konsentrasinya melebihi baku mutu tersebut, diperlukan unit pengolahan khusus untuk menurunkan kadar minyak dan lemak sebelum air limbah dibuang ke lingkungan.

2.1.6 Ammonia (NH₃-N)

Kandungan amonia dalam perairan berpotensi menimbulkan efek toksik bagi organisme akuatik. Amonia di dalam air berada dalam dua bentuk, yaitu amonia bebas (NH₃) dan ion amonium (NH₄⁺), di mana NH₃ merupakan bentuk yang paling toksik. Tingkat toksisitas amonia dipengaruhi oleh pH, suhu, dan kadar oksigen terlarut. Peningkatan pH dan suhu akan memperbesar fraksi NH₃ bebas, sedangkan penurunan oksigen terlarut dapat meningkatkan efek racunnya, sehingga berisiko tinggi terhadap kehidupan biota perairan.

Amonia di perairan terutama berasal dari proses dekomposisi bahan organik yang mengandung nitrogen melalui aktivitas mikroorganisme, yang dikenal sebagai proses amonifikasi. Dalam sistem pengolahan air limbah, penyisihan nitrogen umumnya dilakukan melalui kombinasi proses aerob dan anoksik. Pada kondisi aerob, amonia dioksidasi menjadi nitrat melalui proses nitrifikasi, sedangkan pada kondisi anoksik, nitrat direduksi menjadi gas nitrogen melalui proses denitrifikasi. Rangkaian proses ini tidak hanya efektif menurunkan kadar nitrogen, tetapi juga mampu menyisihkan senyawa organik dan fosfor, yang tercermin dari penurunan nilai BOD, COD, dan fosfat terlarut.

Berdasarkan PermenLH Nomor 5 Tahun 2014, baku mutu kandungan amonia (NH₃-N) untuk limbah cair Rumah Pematangan Hewan ditetapkan sebesar 25 mg/L. Namun, konsentrasi amonia pada air limbah RPH umumnya masih tinggi, yaitu sekitar 185 mg/L, sehingga diperlukan sistem pengolahan yang efektif untuk memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

2.1.7 Total coliform

Air di lingkungan alami umumnya mengandung berbagai jenis mikroorganisme, termasuk bakteri, dengan jumlah dan komposisi yang dipengaruhi oleh kondisi fisik, kimia, serta aktivitas di sekitarnya. Air yang dimanfaatkan untuk kebutuhan domestik harus memenuhi persyaratan kesehatan, terutama terbebas dari mikroorganisme patogen. Dalam praktik pemantauan kualitas air, kelompok bakteri

koliform sering digunakan sebagai indikator biologis untuk menilai tingkat pencemaran dan potensi keberadaan patogen di dalam air (Metcalf & Eddy, 2014).

Total coliform merupakan kelompok bakteri gram negatif yang bersifat aerob dan fakultatif anaerob, serta mampu berkembang biak di lingkungan perairan dan tanah. Keberadaan total coliform dapat berasal dari kontaminasi tinja manusia dan hewan, maupun secara alami terdapat di lingkungan. Dalam sistem distribusi air, bakteri ini juga dapat bertahan dan berkembang apabila kondisi mendukung. Oleh karena itu, total coliform digunakan sebagai parameter indikator untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya mikroorganisme patogen berbahaya, seperti *Escherichia coli*, *Giardia*, dan *Cryptosporidium* (Tchobanoglous et al., 2014).

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

2.2.1 Saluran pembawa

Saluran pembawa digunakan untuk mengalirkan air limbah menuju unit pengolahan selanjutnya. Perencanaan saluran pembawa memperhatikan beda ketinggian atau elevasi dari daerah perencanaan. Jika daerah perencanaan datar maka perlu untuk membuat kemiringan / *slope*. Kemudian, saluran pembawa harus mampu menampung debit maksimal yang dihasilkan pada *effluent* limbah dan tidak timbul endapan saat debit minimum. Oleh karena itu untuk memastikan tidak terjadi penyumbatan maka setiap 10 m dibuat bak kontrol.

Saluran pembawa terdiri dari saluran terbuka dan tertutup (pipa). Saluran tertutup (**Gambar 2.1**) digunakan untuk air limbah atau air kotor yang membahayakan kesehatan dan mengganggu keindahan. Air Limbah yang melalui saluran tertutup tidak dipengaruhi oleh udara luar atau kontak langsung dengan udara. Saluran tertutup dapat menggunakan pipa dengan memperhatikan bahan yang digunakan dengan karakter limbah yang dihasilkan (Wesli, 2008).



Gambar 2. 1 Saluran Tertutup

2.2.2 *Bar screen*



Gambar 2. 2 *Coarse Screen*

Unit pertama yang digunakan dalam pengolahan air limbah adalah *screening* atau penyaringan. Unit *screening* berfungsi untuk menghilangkan padatan yang berukuran besar pada air limbah. *Screen* dipasang melintang arah aliran air agar padatan kasar dapat tersaring dengan kecepatan yang digunakan lebih dari 3 m/s. Saat air limbah dilewatkan unit penyaring, padatan akan tertinggal atau tersaring tidak terjepit (Metcalf & Eddy, 2003).

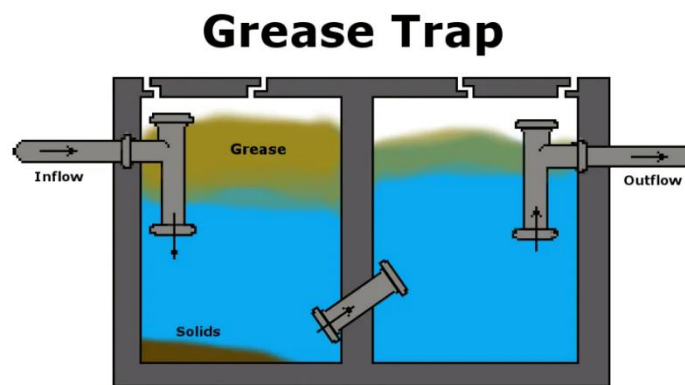
Apabila padatan kasar lolos sebelum pengolahan limbah, akan menyebabkan kerusakan pada alat pengolah limbah sehingga dapat menyebabkan berkurangnya efektivitas pengolahan. Secara umum, *screen* dibedakan berdasarkan jenis saringannya yaitu saringan kasar dan halus (Metcalf & Eddy, 2003):

Coarse Screen berbentuk seperti batangan paralel, umumnya dikenal sebagai "*bar screen*" digunakan untuk menyaring padatan kasar yang berukuran antara 6 mm – 150 mm seperti ranting kayu, kain dan kotoran lainnya. *Coarse*

Screen berfungsi untuk melindungi pompa, *valve*, pipa dan peralatan lainnya terhadap kerusakan atau tersumbat oleh benda-benda tersebut. Metode pembersihan *bar screen* terbagi menjadi dua yaitu manual dan mekanik.

Pembersihan manual biasanya dilakukan di industri kecil atau menengah. Prinsip yang digunakan adalah material padat yang kasar dihilangkan dengan rangkaian material baja yang ditempatkan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0,3 - 0,6 m/s sehingga padatan tidak tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan penampang batang berbentuk persegi panjang. *Bar Screen* dibersihkan secara manual, biasanya layar dimiringkan 30° hingga 45° ke arah horizontal.

2.2.3 Grease Trap



Gambar 2. 3 Grease Trap

Permasalahan minyak dan lemak dalam air limbah perlu ditangani melalui pengolahan pendahuluan, yaitu dengan memisahkan minyak dan lemak sebelum limbah diproses lebih lanjut atau dibuang ke badan air. Hal ini penting karena keberadaan minyak dan lemak dalam konsentrasi tinggi dapat menurunkan kinerja unit pengolahan berikutnya serta menimbulkan gangguan operasional. Menurut Astuti (2019), meskipun pengolahan limbah minyak dan lemak dapat dilakukan pada skala rumah tangga, penerapan teknologi yang sederhana, ekonomis, dan mudah dioperasikan masih menjadi tantangan utama.

Salah satu metode paling sederhana dan umum digunakan untuk pengolahan awal limbah berminyak adalah *grease trap*. *Grease trap* merupakan alat yang dirancang untuk memisahkan minyak dan lemak dari air limbah dengan memanfaatkan perbedaan densitas, sehingga fraksi minyak dapat tertahan dan tidak ikut mengalir ke sistem pembuangan. Penggunaan *grease trap* bertujuan mencegah penggumpalan dan pembekuan minyak di dalam pipa yang berpotensi menyebabkan penyumbatan, serta mengurangi beban pencemar pada unit pengolahan lanjutan. Alat ini umumnya terbuat dari pasangan bata, beton, *fiberglass*, atau *stainless steel* sehingga relatif tahan terhadap kondisi korosif dan sesuai digunakan baik pada rumah tangga maupun restoran.

Grease trap juga dikenal sebagai pencegat lemak (*grease interceptor*) atau perangkat pemulihan minyak, yang berfungsi menahan sebagian besar minyak, lemak, dan padatan sebelum air limbah memasuki sistem pengolahan. Dalam sistem pengolahan limbah, minyak dan lemak cenderung membentuk lapisan buih mengapung yang sangat lambat terurai oleh mikroorganisme, khususnya pada proses pencernaan anaerobik. Apabila jumlah minyak yang masuk terlalu besar, seperti pada aktivitas dapur dan restoran, kondisi ini dapat membebani tangki septik atau instalasi pengolahan limbah dan berisiko menyebabkan pelepasan limbah yang belum terolah ke lingkungan.

Selain itu, sifat viskositas minyak dan lemak yang tinggi, terutama minyak goreng menyebabkan fraksi tersebut mudah memadat saat temperatur menurun. Dalam jangka panjang, minyak yang memadat dapat berikatan dengan padatan lain dan membentuk endapan yang menyumbat saluran perpipaan. Oleh karena itu, akumulasi minyak dan lemak di dalam *grease trap* harus dikendalikan melalui kegiatan pemeliharaan rutin. Seiring waktu, lapisan minyak dan lemak di dalam *grease trap* akan semakin menebal sehingga diperlukan pembersihan berkala, umumnya dilakukan dengan penghisapan melalui *manhole*.

Secara umum, *grease trap* diklasifikasikan menjadi tiga jenis. Jenis pertama adalah *grease trap* pasif, yaitu perangkat sederhana yang biasanya dipasang di bawah bak cuci dapur dan mampu menyisihkan sekitar 85–90% minyak dan lemak yang masuk. Jenis kedua adalah *grease interceptor* gravitasi berukuran besar (in-

ground) dengan kapasitas sekitar 500–2000 galon, yang umumnya digunakan pada fasilitas dengan debit limbah tinggi seperti restoran dan rumah sakit. Unit ini memerlukan waktu retensi sekitar 30 menit untuk memungkinkan pemisahan minyak, lemak, dan padatan secara efektif. Jenis ketiga adalah *Grease Recovery Device* (GRD), yaitu sistem mekanis yang mampu mengambil minyak permukaan secara otomatis setelah terperangkap di dalam unit.

Efektivitas metode fisik menggunakan grease trap telah dibuktikan melalui penelitian oleh Akbar dan Silmi (2021) pada limbah restoran Padang, yang menunjukkan efisiensi penyisihan minyak dan lemak lebih dari 70%. Hasil tersebut menegaskan bahwa grease trap merupakan teknologi pengolahan pendahuluan yang efektif, sederhana, dan layak diterapkan pada skala rumah tangga maupun komersial.

2.2.4 Bak penampung

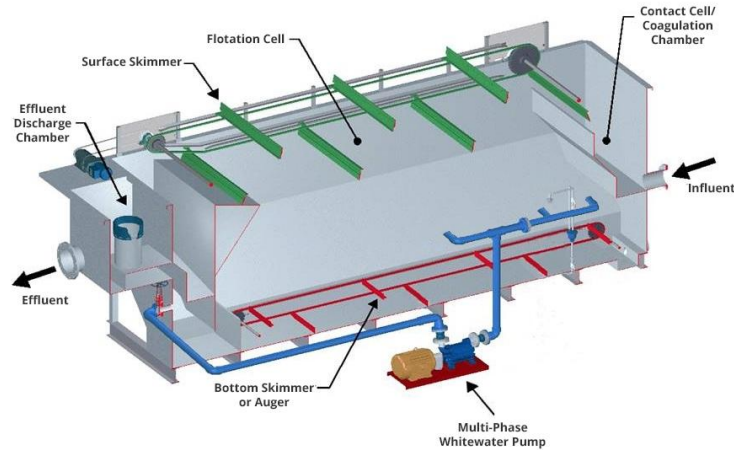
Bak penampung berfungsi sebagai kolam penyeimbang yang bertujuan untuk menstabilkan aliran debit serta karakteristik kualitas air limbah sebelum diteruskan ke unit pengolahan berikutnya. Adanya unit ini memungkinkan variasi debit dan konsentrasi pencemar akibat perubahan aktivitas operasional dapat diminimalkan, sehingga proses pengolahan lanjutan dapat dilakukan dengan lebih efisien dan teratur (Metcalf & Eddy *et al.*, 2013).

Selain itu, bak penampung berfungsi sebagai wadah penampungan sementara air limbah dalam jangka waktu tertentu, kemudian mengalirkannya secara bertahap ke instalasi pengolahan limbah lainnya. Fungsi ini memiliki peranan penting dalam menghindari terjadinya *shock loading* yang dapat mengganggu performa unit pengolahan biologis maupun fisik-kimia (WEF, 1998).

Bak penampung juga digunakan sebagai unit pendukung operasional, terutama ketika dilakukan perawatan, perbaikan, atau pembersihan unit pengolahan yang memerlukan penghentian sementara proses pengolahan limbah. Dengan adanya wadah penampung, air limbah dapat disimpan dengan aman tanpa langsung dibuang ke lingkungan (Metcalf & Eddy *et al.*, 2013). Secara geometris, wadah penampung dalam sistem ini dirancang berbentuk persegi panjang guna

memudahkan proses konstruksi, pengaturan aliran, serta aktivitas operasional dan perawatan.

2.2.5 *Dissolved Air Flotation (DAF)*



Gambar 2. 4 *Dissolved Air Flotation (DAF)*

Flotasi merupakan salah satu proses unit operasi yang digunakan untuk memisahkan partikel padat atau cair dari dalam fase cair. Prinsip kerja flotasi melibatkan injeksi gelembung gas halus, umumnya berupa udara, ke dalam cairan. Gelembung-gelembung tersebut akan melekat pada permukaan partikel, sehingga kombinasi antara partikel dan gelembung udara menghasilkan gaya apung yang cukup besar untuk mengangkat partikel menuju permukaan. Dengan mekanisme ini, partikel yang memiliki densitas lebih tinggi dibandingkan cairan tetap dapat terangkat dan dipisahkan secara efektif.

Salah satu metode flotasi yang paling umum digunakan dalam pengolahan air limbah adalah *Dissolved Air Flotation (DAF)*. Proses ini terbukti efektif dalam memisahkan partikel tersuspensi dan senyawa minyak dari air. Prinsip dasar DAF adalah melarutkan udara ke dalam air pada tekanan tinggi, sehingga terbentuk gelembung udara mikro berukuran sangat kecil, umumnya berkisar antara 10–100 μm . Gelembung-gelembung mikro ini akan berikatan dengan padatan tersuspensi dan minyak, membentuk agregat yang memiliki densitas lebih rendah, sehingga mudah terangkat ke permukaan dan dapat dipisahkan secara mekanis (Andrian *et al.*, 2020).

Dalam sistem DAF, udara dilarutkan ke dalam aliran air limbah dengan tekanan beberapa atmosfer, kemudian tekanan tersebut diturunkan hingga mendekati tekanan atmosfer. Pada kondisi ini, udara terlarut akan terlepas dalam bentuk gelembung-gelembung sangat halus. Proses pelarutan udara dilakukan melalui pemompaan air hingga tekanan sekitar 275–350 kPa, disertai injeksi udara terkompresi. Campuran air dan udara tersebut ditahan dalam tangki retensi bertekanan selama beberapa menit untuk memastikan udara terlarut secara optimal. Selanjutnya, aliran masuk ke dalam tangki flotasi, di mana udara dilepaskan dalam bentuk mikrobelembung yang berperan dalam mengangkat partikel tersuspensi ke permukaan (Metcalf & Eddy, 2004).

Secara umum, unit pengolahan DAF mengombinasikan dua mekanisme utama, yaitu flotasi dan koagulasi-flokulasi. Proses flotasi berfungsi sebagai unit pemisahan fase padat atau cair dari fase cair berdasarkan perbedaan berat jenis dengan bantuan gelembung udara. Berdasarkan mekanisme pembentukan gelembung, proses flotasi dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *air flotation*, *dissolved air flotation* (DAF), dan *vacuum flotation*. Pada sistem *air flotation*, udara dicampurkan ke dalam fluida menggunakan rotor-disperser sehingga terbentuk gelembung yang mengangkat partikel ke permukaan. Sistem ini memiliki keunggulan berupa kebutuhan area yang relatif kecil serta efektivitas yang tinggi dalam menyisahkan minyak. Pada metode DAF, udara dilarutkan dalam fluida pada tekanan tinggi kemudian dilepaskan pada tekanan atmosfer, menghasilkan mikrobelembung yang meningkatkan daya apung partikel. Sementara itu, *vacuum flotation* dilakukan dengan mengaerasi air limbah hingga jenuh, kemudian menurunkan tekanan sehingga gelembung udara terbentuk dan membawa partikel ke permukaan.

Proses koagulasi-flokulasi merupakan tahapan pendukung yang bertujuan untuk meningkatkan efektivitas pemisahan dalam unit DAF. Koagulasi adalah proses destabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi melalui penambahan bahan kimia yang disebut koagulan, sehingga terbentuk partikel-partikel agregat berukuran lebih besar atau flok. Dalam kondisi stabil, partikel koloid memiliki muatan listrik sejenis yang menyebabkan gaya tolak-menolak, sehingga sulit

mengendap. Penambahan koagulan akan menetralkan muatan tersebut, memungkinkan partikel bergabung membentuk flok yang lebih besar dan mudah dipisahkan pada tahap selanjutnya.

Zat koagulan yang umum digunakan meliputi *poly aluminium chloride* (PAC), aluminium sulfat, feri sulfat, dan fero sulfat. Selain koagulan, sering ditambahkan zat alkali dan bahan pembantu flokulasi untuk mempercepat pembentukan flok serta menjaga kestabilan pH air limbah agar kondisi reaksi berlangsung optimal (Said, 2017; Syaiful et al., 2014). Proses koagulasi biasanya diawali dengan pengadukan cepat (*flash mixing*) untuk mempercepat penyebaran koagulan, kemudian dilanjutkan dengan pengadukan lambat (*slow mixing*) guna membentuk flok yang stabil dan berukuran besar.

2.2.6 Bak netralisasi

Proses dalam bak netralisasi bertujuan untuk menstabilkan aliran limbah yang akan diolah pada unit selanjutnya. Hal ini agar IPAL tetap stabil dan tidak terjadi over loading yang dapat mengganggu proses kimia dan biologi (Setiyono & Yudo, 2014). Proses netralisasi bertujuan untuk menetralkan kadar pH limbah menjadi netral. Hal ini bermaksud agar proses pengolahan limbah secara biologis tidak terganggu dan berjalan dengan baik. Bahan kimia yang banyak digunakan untuk menaikkan kadar pH antara lain soda abu (NaHCO_3), kapur tohor (CaO), Ca(OH)_2 , CaCO_3 , natrium hidroksida (NaOH). Proses netralisasi secara umum dilakukan di dalam bak dilanjutkan pengadukan dengan waktu tinggal 5-30 menit (Said, 2017)

2.2.7 Activated sludge

Proses lumpur aktif (*activated sludge*) konvensional merupakan salah satu metode pengolahan biologis aerobik yang paling luas digunakan dalam pengolahan air limbah. Sistem ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme aerobik tersuspensi di dalam tangki aerasi untuk menguraikan senyawa organik terlarut dan koloid. Energi yang dibutuhkan mikroorganisme diperoleh melalui proses oksidasi bahan organik karbon, yang umumnya dinyatakan dalam parameter *Biochemical Oxygen*

Demand (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Senyawa organik tersebut selanjutnya dimetabolisme menjadi karbon dioksida (CO_2), air (H_2O), amonia (NH_4^+), serta biomassa baru yang membentuk lumpur aktif (Metcalf & Eddy, 2014; Sperling, 2007).

Secara prinsip, proses ini merupakan sistem pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi senyawa anorganik yang lebih stabil. Suplai oksigen ke dalam tangki aerasi dilakukan menggunakan blower dengan sistem difuser atau melalui aerasi mekanik, sehingga konsentrasi oksigen terlarut dapat dipertahankan pada kondisi optimum bagi pertumbuhan mikroorganisme. Sel-sel mikroba membentuk flok biologis yang selanjutnya dipisahkan melalui proses sedimentasi di dalam *secondary clarifier*, di mana sebagian lumpur dikembalikan ke tangki aerasi sebagai *return activated sludge* (RAS) dan sisanya dibuang sebagai lumpur lebih (*waste activated sludge*) (Qasim, 1999; Tchobanoglous *et al.*, 2014).

Dalam konfigurasi *conventional plug flow*, air limbah mengalir secara searah sepanjang reaktor aerasi, membentuk gradien konsentrasi substrat dari inlet menuju outlet. Pola aliran ini memungkinkan berlangsungnya proses nitrifikasi yang lebih efektif, dengan efisiensi penghilangan amonia mencapai 85–95%, sehingga lebih unggul dibandingkan sistem *complete mix*. Selain itu, sistem *plug flow* memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap variasi beban organik dan kondisi operasi. Namun demikian, desain dan pengoperasian sistem ini relatif lebih kompleks, khususnya dalam pengaturan distribusi oksigen terlarut. Pada zona awal reaktor, kebutuhan oksigen sangat tinggi akibat konsentrasi substrat yang besar, sehingga sering menimbulkan kesulitan dalam pemenuhan suplai oksigen yang merata (Metcalf & Eddy, 2014; Reynolds & Richards, 1996).

Keunggulan utama sistem lumpur aktif konvensional terletak pada kemudahan pengendalian massa mikroorganisme, karena biomassa berada dalam kondisi tersuspensi dan dapat dipantau melalui parameter laboratorium seperti *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS) dan *Sludge Volume Index* (SVI). Meskipun demikian, dibandingkan dengan sistem biologis lainnya, pengoperasian lumpur

aktif memerlukan pengendalian proses yang lebih ketat, terutama pada pengolahan limbah industri dengan karakteristik khusus (Sperling, 2007).

Tujuan utama penerapan proses *activated sludge* konvensional adalah untuk mengonversi senyawa organik menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil, di mana fraksi organik terlarut dimetabolisme menjadi CO₂ dan H₂O, sedangkan sebagian besar diubah menjadi biomassa yang dapat dipisahkan melalui sedimentasi. Dengan proses ini, kualitas efluen dapat memenuhi baku mutu lingkungan dan memungkinkan pemanfaatan kembali air hasil olahan untuk keperluan non-potabel (Metcalf & Eddy, 2014).

Kinerja sistem lumpur aktif sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor utama, meliputi oksigen terlarut, nutrisi, pH, dan temperatur. Kondisi pH optimum bagi pertumbuhan bakteri aerobik berada pada rentang 6,5–7,5, sedangkan temperatur optimum berkisar antara 32–36°C. Mikroorganisme juga membutuhkan unsur nutrisi mikro seperti Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni dalam konsentrasi rendah untuk menunjang aktivitas metabolisme sel. Ketidakseimbangan kondisi lingkungan ini dapat menurunkan efisiensi proses biologis secara signifikan.

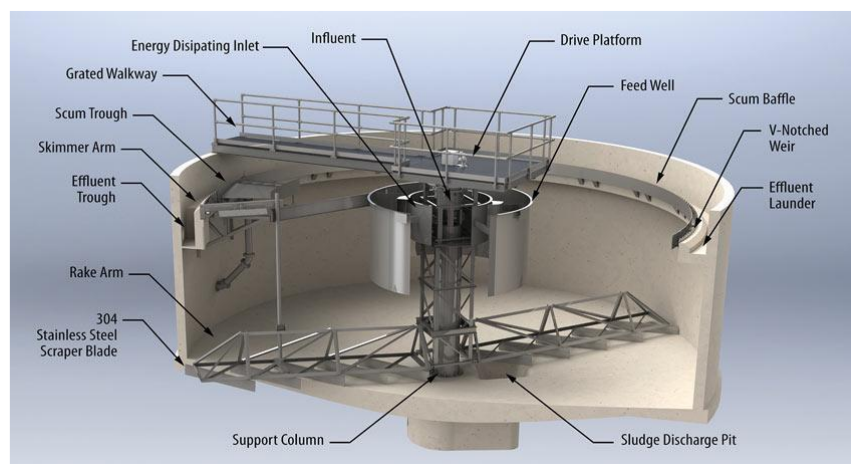
Dalam perancangan sistem *activated sludge* konvensional, parameter desain utama yang perlu diperhatikan meliputi rasio F/M (*Food to Microorganism*), rasio resirkulasi lumpur (R), konsentrasi BOD influen (Co), waktu detensi hidraulik (td), serta volume tangki aerasi (V). Pengaturan parameter-parameter tersebut bertujuan untuk menjaga stabilitas proses, mempertahankan populasi mikroorganisme yang optimum, serta menghasilkan efluen dengan kualitas yang memenuhi persyaratan lingkungan (Metcalf & Eddy, 2014; Sperling, 2007).

2.2.8 Clarifier

Pengolahan tersier merupakan tahap lanjutan dari proses pengolahan air limbah sebelumnya. Oleh karena itu, jenis pengolahan ini diterapkan apabila pada tahap pengolahan primer dan sekunder masih terdapat kandungan zat tertentu yang berpotensi membahayakan lingkungan. Pengolahan tersier bersifat spesifik dan disesuaikan dengan karakteristik dominan zat pencemar dalam air limbah. Umumnya, tahap ini diterapkan pada industri yang menghasilkan limbah dengan

kandungan khusus, seperti fenol, nitrogen, fosfat, serta mikroorganisme patogen (Metcalf & Eddy, 2014; Tchobanoglous *et al.*, 2014). Salah satu unit yang digunakan dalam pengolahan tersier adalah *clarifier*, yang berfungsi sebagai bak pengendap lanjutan setelah proses biologis.

Secara prinsip, *clarifier* memiliki fungsi yang serupa dengan bak pengendap primer, namun digunakan sebagai unit pengendapan sekunder setelah proses pengolahan biologis, seperti lumpur aktif. Bangunan ini berperan dalam mengendapkan lumpur hasil proses sebelumnya. Di dalam *clarifier* terdapat sepasang *scraper blade* berbentuk huruf V (vee), yang berfungsi mengeruk dan mengumpulkan lumpur menuju bagian tengah dasar tangki. Lumpur yang terkumpul kemudian dialirkan melalui pipa menuju sumur pengumpul lumpur di bagian bawah *clarifier*. Selanjutnya, lumpur dikeluarkan dari sumur pengumpul secara gravitasi.



Gambar 2. 5 *Clarifier*

Waktu tinggal hidraulik pada *clarifier* umumnya berkisar antara 1 hingga 2 jam berdasarkan debit aliran rata-rata harian. Kedalaman tangki *clarifier* umumnya berada pada rentang 3 hingga 4,6 meter, sedangkan kedalaman lapisan lumpur (*sludge blanket*) biasanya kurang dari 0,6 meter. Pada tahap ini, air limbah yang telah melalui proses pengolahan sebelumnya akan mengalami pengendapan

lanjutan untuk menurunkan kadar padatan tersuspensi, sehingga kualitas efluen dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Air hasil olahan dari *secondary clarifier* umumnya telah memenuhi standar baku mutu air limbah dan dapat dibuang ke badan air penerima atau dimanfaatkan kembali untuk keperluan non-potabel, seperti penyiraman tanaman. Kinerja *secondary clarifier* sangat dipengaruhi oleh kedalaman tangki dan waktu detensi. Waktu pengendapan yang terlalu lama dapat menyebabkan flok yang telah terbentuk mengalami disintegrasi kembali, sehingga menurunkan efisiensi proses pemisahan padatan.

2.2.9 Desinfeksi

Salah satu aspek penting dalam pengolahan air limbah adalah pengendalian kualitas mikrobiologis, khususnya dalam menurunkan jumlah mikroorganisme patogen sebelum efluen dibuang ke badan air penerima atau dimanfaatkan kembali. Untuk mencapai tujuan tersebut, diterapkan proses desinfeksi, yaitu tahapan pengolahan yang bertujuan untuk menonaktifkan atau membunuh mikroorganisme patogen yang masih tersisa setelah proses pengolahan fisika, kimia, dan biologi (Metcalf & Eddy, 2014; Sperling, 2007).

Secara umum, metode desinfeksi dalam pengolahan air limbah dapat diklasifikasikan menjadi desinfeksi fisik dan desinfeksi kimia. Desinfeksi fisik dilakukan melalui perlakuan seperti pemanasan dan radiasi sinar ultraviolet (UV) yang mampu merusak struktur sel mikroorganisme sehingga menyebabkan inaktivasi. Sementara itu, desinfeksi kimia dilakukan dengan penambahan senyawa kimia tertentu yang bersifat oksidator kuat sehingga mampu menghancurkan membran sel mikroorganisme. Bahan kimia yang umum digunakan dalam sistem IPAL meliputi klorin, kaporit (kalsium hipoklorit), ozon, bromin klorida, iodin, serta kalium permanganat (Qasim, 1999; Metcalf & Eddy, 2014).

Dalam praktik pengolahan air limbah, klorinasi merupakan metode desinfeksi yang paling luas diterapkan karena efektif, relatif ekonomis, dan mudah dioperasikan. Klorin berperan sebagai oksidator yang merusak sistem enzim dan dinding sel mikroorganisme, sehingga menyebabkan kematian sel. Selain

menurunkan jumlah mikroorganisme patogen, proses desinfeksi juga memberikan manfaat tambahan, antara lain mengurangi bau, menghambat pertumbuhan alga, mengoksidasi fenol menjadi bentuk yang lebih stabil, serta mengubah nitrit menjadi nitrat dan amonia menjadi senyawa amin (Said, 2017; Metcalf & Eddy, 2014).

Efektivitas proses desinfeksi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, meliputi waktu kontak antara desinfektan dan mikroorganisme, konsentrasi desinfektan, jumlah mikroorganisme dalam efluen, suhu air, nilai pH, serta keberadaan senyawa lain yang dapat bereaksi dengan desinfektan. Kandungan bahan organik yang tinggi dapat meningkatkan kebutuhan klorin, sedangkan nilai pH yang tinggi dapat menurunkan efektivitas oksidasi klorin terhadap mikroorganisme (Tchobanoglous *et al.*, 2014; Qasim, 1999).

Berdasarkan mekanisme kerjanya, metode desinfeksi dalam pengolahan air limbah dapat dibedakan menjadi desinfeksi kimiawi, seperti penggunaan klorin, kaporit, dan ozon, serta desinfeksi fisik, seperti radiasi sinar ultraviolet (UV). Pemilihan metode desinfeksi umumnya mempertimbangkan karakteristik efluen, tingkat reduksi mikroorganisme yang diinginkan, aspek operasional, serta efisiensi teknis dan ekonomis, sehingga kualitas efluen memenuhi baku mutu yang ditetapkan sebelum dilepas ke lingkungan (Sperling, 2007; Metcalf & Eddy, 2014).

2.2.10 Bak Kontrol

Bak kontrol merupakan unit pendukung pada sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang ditempatkan pada bagian akhir sebelum efluen dialirkan ke badan air penerima. Unit ini tidak berfungsi sebagai unit pengolahan, melainkan sebagai sarana pengendalian dan pemantauan kualitas air limbah hasil olahan. Menurut Metcalf & Eddy (2013), fasilitas pada bagian akhir sistem pengolahan diperlukan untuk memastikan bahwa efluen yang dilepaskan telah memenuhi persyaratan kualitas yang ditetapkan serta berada dalam kondisi aliran yang stabil. Bak kontrol berfungsi sebagai titik observasi dan pengambilan sampel efluen untuk mengevaluasi kinerja keseluruhan unit IPAL. Keberadaan titik sampling pada saluran akhir sangat penting untuk memperoleh data kualitas air limbah yang representatif, terutama untuk parameter utama seperti pH, TSS, BOD, COD, dan

minyak serta lemak sebelum dibuang ke badan air. Hal ini sejalan dengan pedoman perencanaan instalasi pengolahan air limbah yang menyatakan bahwa sistem pembuangan akhir harus dilengkapi dengan fasilitas inspeksi dan pengambilan sampel.

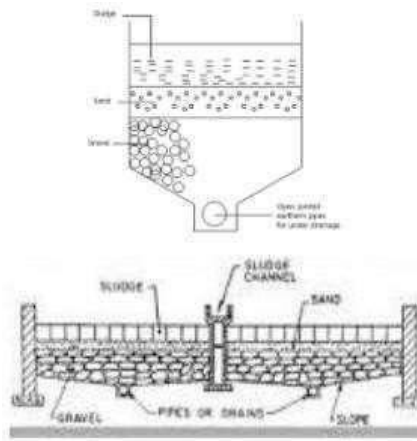
Selain fungsi pemantauan, bak kontrol juga berperan sebagai penyangga hidraulis jangka pendek (*hydraulic buffer*). Dalam kondisi fluktuasi debit atau gangguan operasional pada unit pengolahan, bak kontrol dapat menahan aliran sementara sehingga mencegah pelepasan efluen yang tidak memenuhi standar ke lingkungan. Dari aspek regulasi, keberadaan bak kontrol sebelum titik pembuangan juga mendukung pemenuhan ketentuan pengawasan kualitas air limbah sebagaimana diatur dalam peraturan lingkungan di Indonesia, yang mewajibkan air limbah yang dibuang ke badan air memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Oleh karena itu, bak kontrol menjadi elemen penting dalam sistem IPAL sebagai titik verifikasi akhir sebelum efluen dilepas ke lingkungan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan).

Secara desain, bak kontrol umumnya direncanakan dengan waktu tinggal yang singkat, konstruksi sederhana, serta dilengkapi manhole untuk memudahkan inspeksi dan pengambilan sampel. Desain tersebut bertujuan untuk menjamin kemudahan operasi dan pemeliharaan tanpa mengganggu kontinuitas aliran efluen menuju badan air penerima.

2.2.11 Pengolahan lumpur

Sludge Drying Bed (SDB) merupakan unit pengolahan lumpur yang umumnya digunakan untuk mengumpulkan dan mengeringkan lumpur dengan ukuran partikel kecil hingga sedang. Dalam operasinya, lumpur dialirkan dan diratakan di atas kolam pengering dengan ketebalan lapisan lumpur sekitar 200–300 mm. Proses penurunan kadar air pada *sludge drying bed* berlangsung melalui dua mekanisme utama, yaitu pengaliran air melalui sistem drainase di dasar kolam serta proses penguapan alami. Namun, sebagian besar pengurangan kadar air terjadi akibat pengurasan melalui saluran drainase yang dirancang khusus di bagian bawah kolam (Metcalf & Eddy *et al.*, 2007).

Sistem drainase pada *sludge drying bed* umumnya dilengkapi dengan saluran lateral, berupa pipa PVC berpori atau pipa dengan sambungan terbuka yang diletakkan di dasar kolam. Saluran ini dirancang dengan kemiringan minimum sekitar 1% (0,01 m/m) dan jarak antar saluran berkisar antara 2,5–6 m pada setiap partisi. Untuk mencegah masuknya lumpur secara langsung ke dalam pipa drainase, diperlukan lapisan media penyangga yang terdiri atas kerikil dan pecahan batu dengan ketebalan 230–300 mm. Susunan media ini berfungsi memperlambat laju aliran air sekaligus menyaring partikel lumpur agar tidak menyumbat saluran drainase. Selain itu, lapisan pasir sebagai media pendukung harus memiliki koefisien keseragaman tidak lebih dari 4 dan ukuran efektif antara 0,3–0,75 mm. Area pengeringan umumnya dirancang dengan lebar maksimal 6 m, panjang berkisar 6–30 m, serta kedalaman total antara 380–460 mm. Untuk menjamin kekuatan struktur dan ketahanan terhadap lingkungan, material beton direkomendasikan sebagai bahan konstruksi utama *sludge drying bed* (Metcalf & Eddy *et al.*, 2007).



Gambar 2. 6 *Sludge Drying Bed*

Pipa inlet pada unit *sludge drying bed* dirancang dengan kecepatan alir minimum sebesar 0,75 m/s untuk mencegah terjadinya sedimentasi di dalam pipa serta memungkinkan proses pengurasan berlangsung dengan baik. Material pipa yang umum digunakan adalah besi dan PVC. Sistem distribusi *sludge* diatur sedemikian rupa sehingga aliran masuk tegak lurus terhadap arah panjang *sludge*

drying bed, bertujuan untuk menurunkan kecepatan alir dan memastikan penyebaran lumpur yang merata di permukaan kolam. Lumpur yang telah dikeringkan baru dapat dikeluarkan dari unit setelah mencapai kadar air sekitar 60%, yang umumnya dicapai dalam waktu 10–15 hari. Proses pengosongan dilakukan dengan pengerukan menggunakan scraper mekanik atau secara manual, kemudian lumpur kering diangkut keluar lokasi pengolahan menggunakan truk (Metcalf & Eddy *et al.*, 2007).

Selama proses pengeringan berlangsung, unit *sludge drying bed* sebaiknya dilengkapi dengan penutup untuk mengurangi potensi penyebaran bau yang dapat mengganggu lingkungan sekitar. Namun, apabila dirancang sebagai unit terbuka, lokasi pembangunan *sludge drying bed* harus berada pada jarak minimal 100 m dari kawasan permukiman, guna meminimalkan risiko pencemaran udara akibat bau yang ditimbulkan. Kapasitas tampung *sludge drying bed* dihitung berdasarkan rasio luas area terhadap beban lumpur kering, dengan satuan kg lumpur kering per meter persegi per tahun ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{tahun}$) (Metcalf & Eddy *et al.*, 2007).

2.3 Persen Removal

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, diperoleh ringkasan persentase penyisihan pada masing-masing unit pengolahan terhadap berbagai parameter kualitas air limbah. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam perencanaan dan evaluasi kinerja sistem pengolahan air limbah yang dirancang, sehingga efluen yang dihasilkan dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Rangkuman persentase penyisihan untuk setiap parameter beserta sumber rujukannya disajikan sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Persen Removal

Unit Pengolahan	Parameter	% Removal	Sumber
<i>Grease Trap</i>	Minyak dan Lemak	~70%	Morel & Diener. (2006) "Greywater Management in Low and Middle-Income Countries", Page 22
DAF	TSS	50 - 85%	Casaveno, V. (1987). Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering. Page 14.
	Minyak dan Lemak	65 – 98%	Qasim. (1999). Wastewater Treatment Plants Design and Operation. Page 159
Netralisasi	pH	-	Metcalf & Eddy Inc. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition). Page 527
<i>Activated Sludge</i>	BOD	80 – 99%	Casaveno, V. (1987). Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering. Page 15.
	COD	50 – 95%	
	TSS	60 – 85%	
	Ammonia (NH ₃ -N)	33 – 99%	
<i>Clarifier</i>	TSS	60 - 80%	Metcalf & Eddy Inc. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition). Page 527
Desinfeksi	Total Coliform	99%	Qasim. (1999). Wastewater Treatment Plants Design and Operation. Page 222

Sumber: Data Literatur, 2026

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis dalam perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) merupakan representasi grafis yang menggambarkan perubahan elevasi muka air sepanjang rangkaian unit pengolahan, mulai dari inlet hingga ke titik keluaran akhir. Profil ini disusun untuk memastikan bahwa aliran limbah dapat berlangsung secara kontinu dan stabil, baik dengan sistem aliran gravitasi maupun kombinasi dengan pompa, dengan mempertimbangkan kehilangan energi (*head loss*) pada setiap unit proses (Metcalf & Eddy, 2014; Qasim, 1999).

Secara teknis, profil hidrolis memperlihatkan hubungan antara ketinggian muka air, posisi unit pengolahan, serta besarnya kehilangan energi yang terjadi selama aliran berlangsung. Analisis ini mencakup perhitungan kehilangan tinggi tekan akibat gesekan dalam pipa, perubahan kecepatan aliran, serta gangguan hidrolis pada elemen sistem seperti pintu air, saluran terbuka, bak pengendap, dan peralatan mekanikal lainnya. Dengan penyusunan profil hidrolis yang tepat, perencana dapat memastikan bahwa seluruh unit pengolahan beroperasi dalam kondisi hidraulik yang optimal, sekaligus meminimalkan risiko terjadinya limpasan, *backflow*, maupun gangguan operasional lainnya (Metcalf & Eddy, 2014).